Bulletin de la Commission des cadrans Solaires

Mai 2007 N° 15

Cadran Info

www.saf.fr

Au sommaire :

- **Présentations:**
  des cadrans de Birlinghoven,
  d'Aschaffenburg, de cadrans canoniaux,
  du cosmographe de Sorèze,
  d'une boussole solaire universelle.
  de la gnomonique d'A. Kircher

- **Les cadrans bifilaires, l'inventaire des cadrans du monde**

- **Etudes d'un cadran analemmatique polaire à astroïde, d'unc adran "sans style" , d'un bifilaire, de la restauration d'un cadran il y a 2000ans, de la technique de Zarbula**

- **Faites les vous-mêmes: cadran à fresque, en grès**

- **Informations diverses: nouvelles réalisations, sociétés étrangères, un cadran de 4000ans?**

et "L'ENIGME DES CADRANS DE JAÏPUR *enfin* RESOLUE"

Société Astronomique de France

Cadrans de Jaïpur (Inde) Photo D. Savoie

Sommaire du N°15

Cadran solaire de Birlinghoven		Ansel JM	4
Le Cosmographe de Sorèze		Benoît D	8
Cadrans bifilaires et autres	💻	Collin D/*Ph. Sauvageot*	16
Analemmatique plan polaire à astroïde		Dallet P J – Baillet G	20
Cadran sans style! où lire l'heure?		Dallet P J	29
Premières restaurations gnomoniques		Del Favero E/*Gotteland A*	32
Boussole solaire universelle		Massé Y	35
Gnomonique d'Athanasius Kircher		Severino N/*Falcone V*	39
Cadrans d'Allemagne		Opizzo Y	47
Gnomonique bifilaire		Sawyer F/*Collin D*	49
Inventaire des cadrans du monde		Sauvageot Ph	63
Cadrans écliptiques de Jaïpur	~~💻~~	Savoie D - Baillet G	65
Cadrans canoniaux		Scheiner D	81
Faites-les vous-mêmes		Theubet J	87
Les styles de Zarbula	💻	Ugon M	91
Informations diverses: dernières réalisations, étiquettes gnomoniques, Les sociétés du monde, livres et revues…			105

Version sur CDrom:
Cliquer sur le titre (souligné) de l'article pour ouvrir celui-ci (lien hypertexte)

💻 Indique que l'étude détaillée ou le logiciel est inclus dans le dossier "annexe" de la version sur CDRom:

Couverture de "Cadran Info"

Cadran solaire de la SAF ornant l'entrée de l'observatoire de Camille Flammarion à Juvisy (Essonne)
Caractéristique du cadran: vertical méridional déclinant (6°57'), latitude 48°41'37" N, longitude 4°22'15" E.
Date de construction: 1910, restauration en 1998.

Photo P. Gojat

CADRAN-INFO

est un moyen de diffusion d'articles gnomoniques rédigés principalement par les membres de la "commission des cadrans solaires" de la SAF.

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

CADRAN-INFO est une formule simple et flexible qui regroupe la majorité des présentations faites lors de nos 2 réunions annuelles ainsi que des articles reçus en cours d'année.

CADRAN-INFO est devenu au cours des années UNE référence d'études, de techniques, de méthodes pour certaines totalement inédites. La liste de l'ensemble des items traités et classés par ordre alphabétique est disponible sur demande.

CADRAN-INFO 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 (les N°1 à 5 sont des scannes des tirages papier).

A partir de **CI** N°11, les logiciels ou certains documents numériques sont mis à disposition dans la version CDRom.

Dans un souci d'échanges de connaissances et d'informations, ***CADRAN-INFO*** est offert aux autres associations gnomoniques (Allemagne, Angleterre, Belgique, Canada, Espagne, Italie, USA, Suisse).

Ph. Sauvageot
Vice-Président de la Commission des cadrans Solaires

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[1] 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 leur envoi.
◆ 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.

Pour tout renseignement:
Ph. SAUVAGEOT 7, rue de Gloriette 91640 Vaugrigneuse: sauvageotph@wanadoo.fr
Ou au secrétariat de la SAF, 3 rue Beethoven 75016 PARIS

Aucun caractère publicitaire dans les informations données dans le bulletin

[1] Police: Times New Roman, taille: 12, marges: 2,5

Le Cadran solaire de Birlinghoven

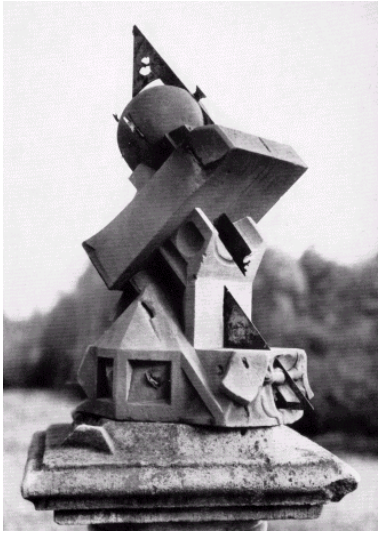
Par Jean-Michel Ansel

Voici une synthèse de "l'histoire sans fin" du cadran solaire de Birlinghoven en Allemagne par Kmaus Eichholz. Elle a été traduite et présentée par JM. Ansel lors de la réunion d'octobre de notre commission.

Tableau chronologique du cadran:

1939 Zinner: photographies du cadran
1972 Wetzlar 2. Réunion de la commission: Présentation de Mr Elsner: Lichtgestalten der Kugel
1973 Traduction du texte en français de Mr Janin
1974 Présentation en colloque
1975 proposition de texte descriptif
1985 Plans et dessins de construction par A. Schmitz
1987 Inauguration de la copie à Wenningsen
1997 Knopp: avis pour la protection du monument
2000 Mise en place de la copie à Birlinghoven
2003 Présentation de la copie à Hannnovre
2005 34e Séssion la commission à Bonn
2006 Présentation + publication dans l'annuaire DGC

Le cadran en photos:



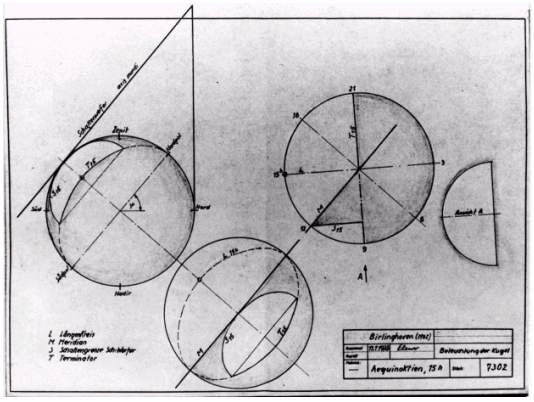
Emplacement depuis 1920
(photo de 1973)

◂ Cadran multiple en pierre du Chateau de Bierlinghofen (1939)

Photo prise en 1972 ▸

Les acteurs de l'étude et de la réalisation de 2 copies du cadran:

Walter Elsner (né le 23.12.1908 à Dresde, + 6.6.1990 à Essen) Dipl. Ingenieur en fabrication de machines outils. En 1971 il est l'un des 6 fondateurs de la commission d'Allemagne. Il étudira durant plus de 20 années la stèle aux cadrans de Birlinghoven.

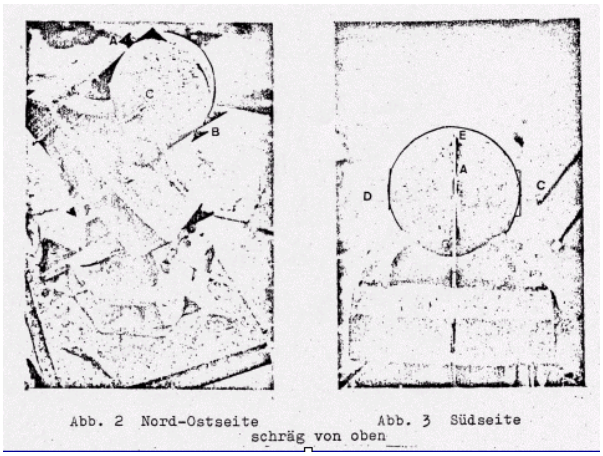


Etude de W.Elsner

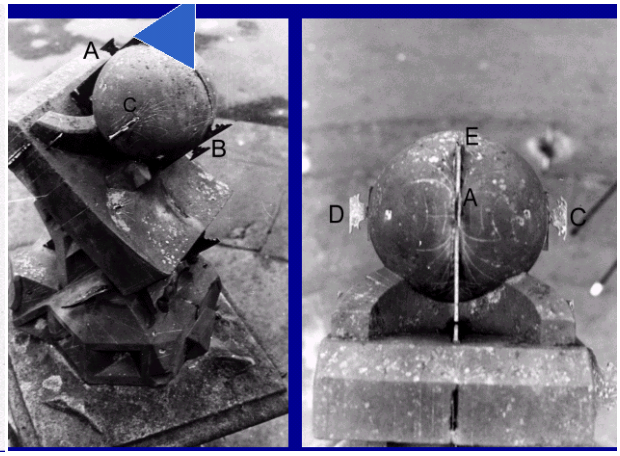
Par courrier daté du 17 juin 1974, H Schumacher (Prof. Dipl.-Ing. Heinz Schumacher né le 7. September 1909, + le 13. Juni 1998, Directeur de l'école supérieure pour sulpteurs et tailleurs de pierre de Fribourg/Brisgau, Président de la commission de 1976-1985) écrit à M. Elsner: << Il serait trés profitable de diffuser, comme vous me l'écrivez, le fruit de vos recherches>>, il également la méthode globale pour faire une copie de la stèle gnomonique.

M. Louis Janin (né le 17. Oktober 1897 à Bourg en Bresse, + le 29. Dezember 1978, docteur en droit et directeur de banque à Paris, il s'ntéresse à la Gnomonique à l'age de 68 ans et adhère à la DGC. En 1974, il rédige un ouvrage sur l'histoire et le développement des cadrans solaires analemmatiques, traduit en allemand par R. Rohr. Il a également écrit 24 textes de gnomonique sur les cadrans arabes, les astrolabes et les cadrans multiples.

En 1973, non difusé, le projet d'un descriptif de la stèle gnomonique de Birlinghoven de W. Elsner Ubersetzt.



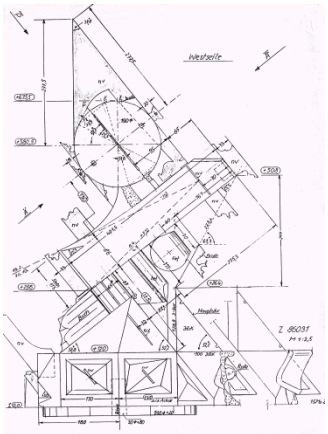
Tracé sur photographies anciennes



Tracés sur des phographies de W. Elsner

Erich Pollähne (né le 18.7.1915 à Eisleben, + le 20.1.2005 à Hannover Stift-Eilenriede), maître en mecanique de précision à Wenningsen, membre de la DGC depuis 1975.

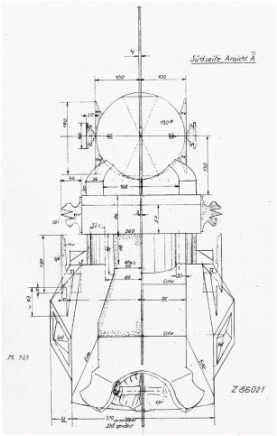
Anton Schmitz (né le 31.8.1925), maître sculpteur à Bonn réalisateur des deux copies de la stèle de Birlinhoven.



Plans destinés à Erich Pollähne et Anton Schmitz, dessinés par W. Elsner pour la re-création de la Stèle.

◂ Vue de côté

Vue Sud ▸



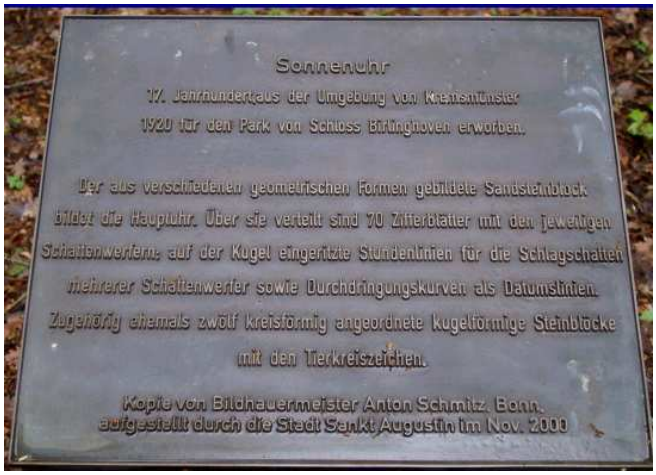
A partir des plans ci-dessus, deux copies sont réalisées:

Une destinée à E. Pollähne, elle se trouve à Hannovre et porte la date A.D. MCMLXXVII = 1987.

Ci-dessous les inscriptions gravées sur un style et qui ne figuraient pas, bien sûr, sur l'original.

L'autre a remplacé l'original. Il a été mis en place le 19 octobre 2000. Le 23.04.2003 un article du journal local mentionne le fait que les promeneurs qui découvrent la stèle à la croisée des chemins de la forêt de Birlinghoven, restent stupéfaits devant l'œuvre. Au travers d'une protection en acier et matière plastique, l'érudit y reconnaît un ensemble de cadrans solaires, bien que ceux-ci soient assez différents de ceux qu'il connaît déjà. Par contre, le néophyte repartira sans la moindre idée de ce qu'il vient de découvrir ! Le journaliste pose alors la question : ne pourrait-ont pas réaliser une plaque descriptive de l'essentiel ? A la suite de cet article, une demande à été faite auprès des autorités compétentes par M Gerhard Richter pour la création d'une telle plaque.

Ce sont les responsables des bâtiments historiques de la commune de Saint Augustin, le professeur Knopp et Monsieur Simon qui en projettent le texte.

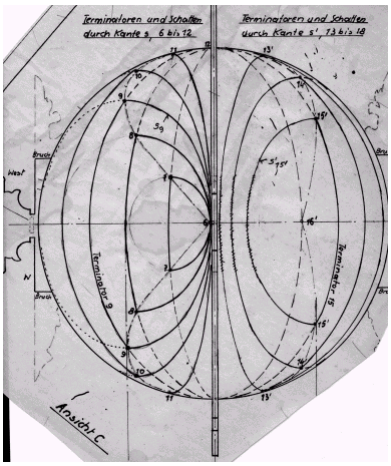


La plaque mentionne: << Le Cadran solaire du XVIIème siècle? proviendrait des environs de Krensmünster. Il a été installé en 1920 dans le parc du château de Birlinhoven.

Le cadran original restauré:

Le cadran original a été pour sa part restauré. Il se trouve depuis le 2 mars 1999 à la maison Communale de Lauterbach. Il est en prêt durable par la propriétaire Madame Anna Jonas Haus Sonnenuhr 1, 53757 Sankt Augustin.

Intersection et assemblage des volumes:

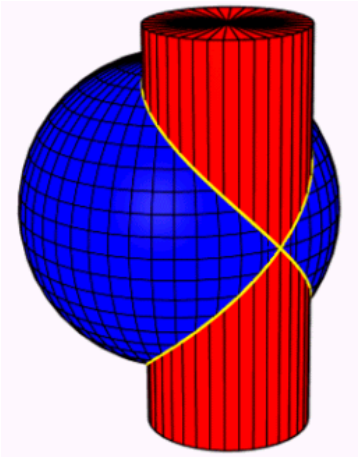


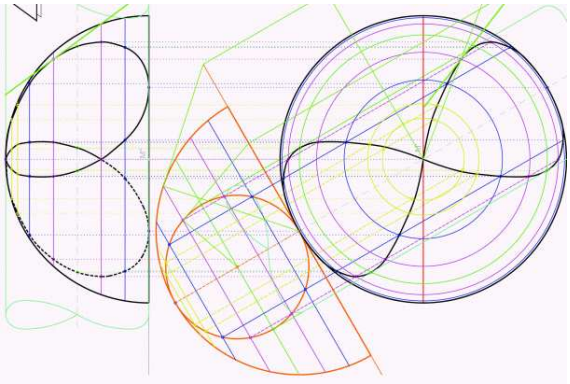
◀ Tracé des lignes sur la sphère

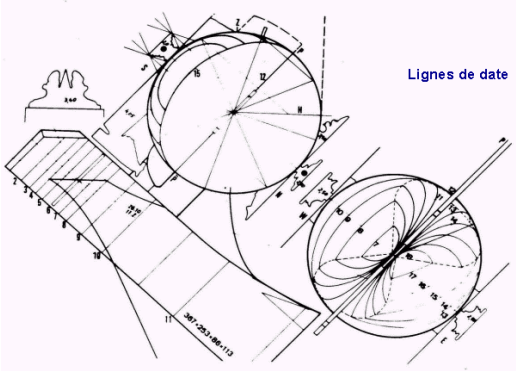
Intersection Cylindre/sphère ▶

Pénétration d'une sphère par un cylindre ▼

Points de coupe des bords d'ombre avec leur propre limite ▼







La présentation « l'histoire sans fin du cadran de Birlinghoven » a été réalisée par M Eichholz traduction presque fidèle de Jean Michel.

****

Le Cosmographe de Sorèze

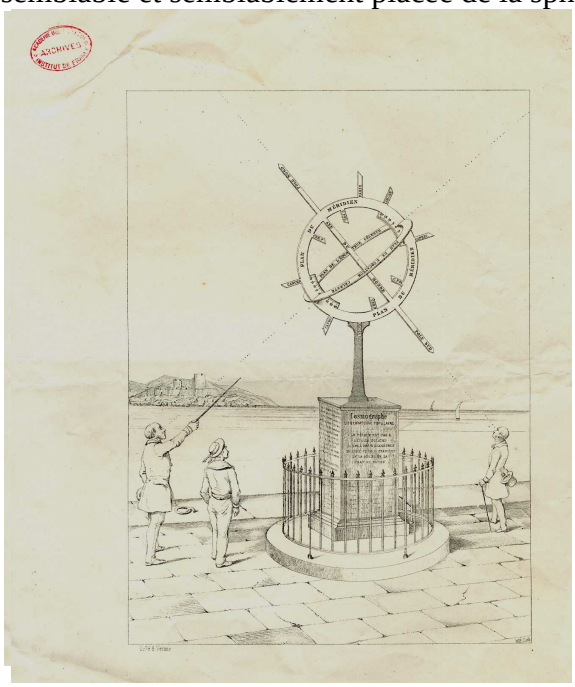
Par didier Benoit

François Ouvière est l'inventeur du Cosmographe de l'abbaye de Sorèze dans le Tarn que l'on peut encore admirer de nos jours. Le 31 juillet 1861, Monsieur Ouvière adresse un courrier au Président de l'Académie des sciences, afin de mettre son œuvre sous la protection de l'Institut Impérial. La requête sera examinée en séance du 5 août de cette même année sous le numéro 357 par messieurs les commissaires, Babinet, Faye et Delaunay.

Académie des Sciences à L'Institut Impérial de France le 5 août 1861

Monsieur le Président.

Le cosmographe dont je suis l'inventeur est un observatoire populaire, Observatoire des places publiques. Après de longues années d'études, d'applications et d'essais, mon œuvre est aujourd'hui compète de tous points. « Cet appareil se compose de tiges et de plans qui portent des inscriptions, et le rayon visuel de l'observateur prolongé et dirigé par ces tiges et ces plans, arrive dans le ciel même aux points, aux lignes et aux plans de la sphère céleste qui sont indiqués par ces même inscriptions et qui constituent toute la sphère. C'est la figure semblable et semblablement placée de la sphère céleste.



Le cosmographe en situation
Probablement affiche commerciale; le dessin met en scène trois personnages deux adultes et un enfant, l'un d'entre eux situe avec sa canne pour l'enfant l'axe du plan de l'équateur céleste, l'autre est positionné dans l'axe des pôles. Le cosmographe situe la verticale à Paris bien que le paysage soit celui d'un bord de mer, avec en fond ce qui semble être le château d'If. N'oublions pas que l'auteur est Marseillais.

De telle sorte, qu'à l'aide de cet instrument la connaissance de la sphère, dans le ciel même, n'est plus une difficulté. Il devient extrêmement facile au savant comme à l'homme du monde de faire à la simple vue, une observation astronomique quelconque et à toute heure du jour et de la nuit.

Les plans ou plaques du méridien et de l'équateur sont à claire voie et parfaitement gradués à l'intérieur et à l'extérieur, ainsi que l'obliquité de l'écliptique, il est donc facile d'observer, d'un seul trait, la série des étoiles ou des points qui constituent l'équateur céleste. Tous les plans horaires ou tous les méridiens, par les projections, dans le ciel, de la longue tige centrale de l'axe du monde ; Les déclinaisons nord ou sud d'un astre donné ; Un passage au méridien ; les retours successifs au méridien et, de là, les temps solaires et le temps sidéral ; les solstices ; les équinoxes ; les saisons ; le calendrier, enfin qu'il est fâcheux, pour l'intelligence générale, que les gens du monde n'aient jamais pu percevoir autrement que sur le carton des cabinets.

Depuis quelques minutes avant jusqu'à quelques minutes après le passage du soleil au méridien, on peut faire une observation bien intéressante : l'ombre portée de la petite tige dorée qui est au centre de l'appareil se projette sur la graduation des déclinaisons

comprises entre les deux solstices, le cancer et la capricorne, et cette projection donne exactement le chiffre de l'angle de la déclinaison pour le jour de l'observation. C'est le principe visible de l'opération qui en navigation s'appelle prendre hauteur pour déterminer la latitude du lieu et que nos marins ne peuvent faire qu'au moyen du sextant ou de l'octant.

Cet instrument est aussi un cadran solaire et sidéral. Le cosmographe, monument architectural et de forme élégante est une œuvre incontestablement utile aux populations intelligentes, indispensable aux populations qui prennent au sérieux l'étude de la sphère et de la navigation.

Tout bronzé et doré, sur piédestal en pierre avec des inscriptions instructives en lettres en relief sur plaques métalliques, entouré d'une grille de défense, il embellit le milieu d'une place publique, n'a nul besoin d'entretien ni de gardien. Déjà, sur le rapport de Monsieur le recteur de l'Académie et sur le rapport de M.M. les professeurs de la Faculté des Sciences, la ville de Montpellier a placé ce petit monument au milieu de la grande et belle place de l'Esplanade ; Marseille en a élevé un semblable sur la grande place saint Michel ; la Faculté des sciences et la presse de Bordeaux sollicite, en ce moment, l'installation de ce monument sur une des places publiques de la ville de Bordeaux ; Plusieurs Lycées impériaux, plusieurs Facultés des Sciences, plusieurs établissements d'instructions, etc, ont adopté le cosmographe.

Tous les Bulletins Scientifiques de Paris ont fait l'éloge de cet instrument d'utilité et d'instruction publique bien constatée. Quelques écrivains ont examiné le cosmographe aux points de vue de moralisation publique, de progrès social.

Je mets mon œuvre sous la protection de l'Institut Impérial de France et j'ose vous demander, Monsieur le Président, l'autorisation d'installer un Cosmographe perfectionné, au milieu de la grande cour intérieure du Palais de l'Institut. Une surface de terrain d'environ deux mètres me suffit. Après cette haute sanction, cette consécration qui me ferait le plus grand honneur et qui imprimerait une grande impulsion à mon œuvre, je pourrais espérer la voir se propager et se répandre ainsi que je crois qu'elle le mérite dans l'intérêt des populations.

Il va sans dire que j'accepte toutes les conditions qui me seront faites à cet égard et que l'exhibition de ce petit monument scientifique cesserait à la première réquisition qui m'en serait faite.

J'ai l'honneur d'être, avec respect, Monsieur le Présiden, votre très humble et obéissant serviteur.

Marseille le 31 juillet 1861; signé : François Ouvière, ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées, Chemin de fer d'Espagne, 26 rue Dieudé à Marseille.

Le cosmographe de l'Abbaye Ecole de Sorèze

'Abbaye école de Sorèze, (ancienne école royale militaire 1776), possède dans son parc un très beau, et certainement le dernier exemplaire complet dans sa version la plus perfectionnée du Cosmographe inventé au milieu du XIX siècle par François Ouvière, ingénieur civil et entrepreneur de travaux public, né le 29 juin 1807 à Livourne (Toscane puis Italie), mort le 16 mai 1867 à Marseille, après avoir fait toute sa carrière en France. Le document ci-dessus est en quelque sorte son acte de naissance. Daté de 1864, cet instrument fait partie des dernières réalisations de l'auteur. Si on le compare au cosmographe du Lycée Henri IV, 23 rue Clovis à Paris qui est son aîné d'une dizaine d'année (et certainement du même auteur), on se rend vite compte qu'on a une pièce beaucoup moins esthétique et moins complète que celui de Sorèze.

Le cosmographe du lycée Henri IV porte peu d'inscriptions, ce n'est pas le cas de celui de Sorèze.

Sur le dessin de la première page, quant on agrandit l'image, la face Est qui nous est présentée a pour inscription : « Le pôle n'est pas à l'équateur, il est à trois diamètres ----- vers la première de la queue de la Grande Ourse ». La version de Soréze nous donne : « Le pôle n'est pas à l'équateur, il est à un degré et demi, vers la première étoile de la queue de la Grande Ourse ». Avons-nous à faire à une version qui a été modifiée sur les derniers exemplaires du cosmographe ? .

La technique de la fonte blanche coulée employée pour la réalisation de chaque cosmographe avec le calcul de sa verticale nommé, fait de chaque instrument une pièce unique. Le coût devait être en conséquence. De plus comme il est dit plus haut l'appareil était livré complet (piédestal en pierre de tailles et rampe en fer forgée).

Instrument pédagogique de cosmographie : Il permet l'enseignement de quelques éléments immédiatement accessibles d'astronomie.

Le cosmographe de Sorèze, n'a pas la terre pour référence, mais la sphère céleste, celle qui semble tourner autour de nous, autour de l'axe du monde.

Ni observatoire, ni astrolabe, ni sphère armillaire, ni cadran solaire mais tenant un peu de tout cela, il est un outil pédagogique destiné à donner une idée assez précise de la sphère céleste.

- Le « plan du Méridien » (le grand cercle vertical), se situe dans le plan du méridien de Sorèze. Il est orienté Nord-Sud et contient l'axe du monde.
- Le « plan de l'Equateur céleste » (le grand cercle incliné), est confondu avec l'équateur de la sphère céleste. Son centre est le centre du monde car, vu de Sirius, la Terre, Sorèze et son cosmographe ne forme qu'un tout petit point, unique et sans dimensions.
- La longue tige droite qui traverse tout le cosmographe en passant par son centre, est sur l'axe du monde. La sphère céleste tourne autour de cet axe.

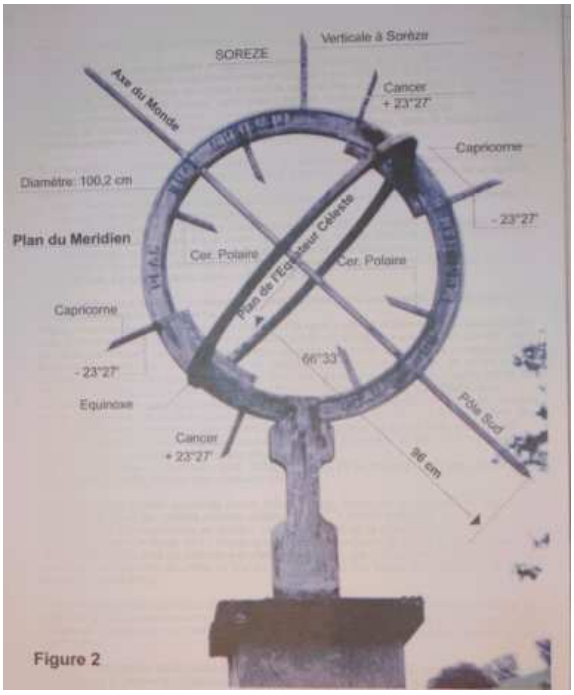


Figure 2

Ces trois éléments constituent la charpente de l'enseignement du cosmographe. Ils s'accompagnent de nombreux éléments complémentaires.

Presque tous les corps célestes semblent cloués sur la sphère céleste et tournent avec elle autour de l'axe du monde sans modifier leurs positions relatives. (On sait aujourd'hui que ce n'est pas vrai, mais ce n'était pas évident). Néanmoins, depuis très longtemps on s'était aperçu que quelques astres échappaient à cette règle, comme la lune, les planètes, et surtout le soleil qui en un an fait le tour complet de la sphère céleste en cheminant régulièrement le long d'un de ses grand cercle incliné de 23°27' sur son équateur. Ce chemin circulaire du soleil sur la sphère céleste, c'est l'écliptique.

Le soleil se promène donc au cours du temps dans un bandeau de la sphère céleste limité au nord par le tropique du Cancer et au sud par celui du Capricorne. Il ne va jamais ailleurs (Du moins tant que l'inclinaison de la terre sur son orbite reste constante, ce qui est à peu près le cas).

Les petites flèches extérieures du cosmographe permettent de repérer la trace des tropiques qui limitent le domaine du soleil sur la sphère céleste.

Sur la terre les tropiques ont un autre sens : Entre les deux, il y a au moins un jour dans l'année ou le soleil passe au zénith. Ailleurs, cela n'arrive jamais.

Figure 3

Le cosmographe dispose encore de quatre petites flèches, intérieures au « cercle du méridien » permettant de situer les cercles polaires célestes. Il permet même de voir une des deux zones du ciel correspondantes en mettant l'œil à l'extrémité de la tige de l'axe du monde et en regardant à travers le cercle de l'«Equateur céleste». La longueur de la tige a été calculée pour cela. Pourtant cette zone ne présente pas d'intérêt particulier, elle n'en présente que sur terre en délimitant une région ou, au moins une fois par an la nuit et le jour durent 24 heures (l'un et l'autre durent six mois au pôle).

Le cosmographe situe aussi deux points particuliers : Les deux intersections, sur la sphère céleste, du cercle de l'écliptique avec celui de l'équateur. Ce sont les deux points d'Equinoxes, deux jours dans l'année où la déclinaison du soleil est nulle et où sur terre, en dehors des cercles polaires, la nuit égale le jour en durée.

Enfin le cosmographe permet de repérer la déclinaison du soleil, c'est-à-dire la distance angulaire qui le sépare de l'équateur céleste. Il le fait par la projection, à midi, de l'ombre d'une petite tige centrale horizontale située sur l'axe du monde, sur la graduation portée par le méridien sur sa face intérieure et entre les deux tropiques. Cette petite barre absente pendant très longtemps, est aujourd'hui à nouveau en place, grâce à Monsieur Jeanpierre Daniel.

En résumé, le cosmographe, situe sur la sphère céleste :
- son axe incliné de 43°27' sur l'horizontale de Sorèze (latitude de Sorèze)
- son Equateur, perpendiculaire à l'axe

- ses deux tropiques situés respectivement à +23°27’ et -23°27’ de l’équateur (la couronne extérieure du plan du méridien est graduée en degrés ainsi que celle du plan de l’équateur)
- ses deux cercles polaires situés à + et – 66°33’ de l’équateur
- les deux équinoxes (20 mars et 21 septembre)
- il indique indirectement les solstices, quand le soleil atteint ses déclinaisons maximale et minimale (21 juin et 21 décembre)
- la déclinaison du soleil par la projection de l’ombre de la petite tige à midi, sur la petite graduation du plan méridien
- l’heure solaire par la projection de l’ombre de l’axe du monde sur le cercle de l’équateur céleste. Chiffres romains sur 360° : I II III IIII V VI VII VIII IX X XI (XII masqué par le méridien en partie basse) I II III IIII V VI VII VIII IX X XI (XII masqué par le méridien en partie haute).

Inscriptions et mesures portées sur la fonte du cosmographe

° Sur le cercle représentant l’équateur céleste.

a) Des deux côtés du méridien, sur les faces nord et sud, un bandeau en retrait de l’épaisseur de l’anneau, porte d’écrit en lettres majuscules saillantes : PLAN DE L’EQUATEUR CELESTE.

Sur ces mêmes faces, 23 segments de droites de 15mm environ, situés sur le périmètre intérieur et ayant pour origine le centre du cosmographe, sont gravés pour chaque heure (où fuseau) et pour chaque demi-heure (où demi fuseau). Le cercle du plan du méridien masque deux mesures. Le périmètre extérieur porte l’échelle des degrés allant de 0 à 360. Le cercle du plan du méridien masque six graduations. Ces segments de droites représentant les degrés et ayant pour origine le centre du cosmographe sont de trois longueurs différentes : Grande pour marquer les dizaines (15mm environ), moyenne pour marquer la progression quinquennale (10mm environ), et petite pour les degrés intermédiaires (5mm environ).

b) La tranche intérieure formée par l’épaisseur de l’anneau, porte en saillie les chiffres romains des heures (où fuseaux), espacés chacun d’un segment de droite des demi-heures (où demi-fuseaux). En partant du haut et dans le sens contraire d’une montre : (XII) masqué, I ‘ II ‘ III ‘ IIII ‘V ‘ VI ‘ VII ‘ VIII ‘ IX ‘ X ‘ XI ‘ (XII) masqué ‘ I ‘ II ‘ III ‘ IIII ‘ V ‘ VI ‘ VII ‘ VIII ‘ IX ‘ X ‘ XI ‘.

c) La tranche extérieure possède au niveau des jonctions avec le cercle du plan du méridien, deux plaques en acier boulonnées portant en lettres majuscules en saillies : EQUINOXES.

Les plaques assurent la jonction au montage des demi-cercles constituant le plan de l’équateur avec le plan du méridien.

° Sur le cercle représentant le plan du méridien

a) Des deux côtés de l’équateur et sur les faces est et ouest, un bandeau en retrait de l’épaisseur de l’anneau porte d’écrit en lettres majuscules saillantes : PLAN DU MERIDIEN.

Sur ces mêmes faces, le périmètre intérieur qui délimite l’anneau porte une échelle de degrés gravés de cinq en cinq faite de segments de droite ayant pour origine le centre du cosmographe : Des petits segments pour la progression quinquennale et des segments plus grand pour la progression décimale. Le périmètre extérieur porte l’échelle des degrés de 0 à 360, comme pour le plan de l’équateur céleste.

Tout autour de l’anneau, à des endroits choisis, des entailles de type « queue d’aronde » ont été réalisées. Dans ces espaces viennent se loger les tenons en forme de « queue d’hirondelle » ; - des deux pièces portant les graduations des déclinaisons sud et nord - et les diverses droites qui hérissent le cosmographe. Toutes ces pièces portent en saillies, sur

deux faces, dans un bandeau en retrait de leur épaisseur, des inscriptions en lettres majuscules ou des degrés et minutes de degrés en chiffres arabes.

1- La longue tige droite qui traverse tout le cosmographe, en passant par son centre compte quatre pièces. Trois d'entre elles constituent l'axe du monde avec d'inscrit sur la première : POLE NORD. La seconde : 90(°) AXE DU MONDE 90(°). La troisième : POLE SUD. La quatrième pièce, situé au centre de la plus grande tige de l'axe du monde est la petite barre qui donne par son ombre portée sur des graduations dans le plan du méridien, la déclinaison du soleil (elle n'a pas d'inscription).

2- Quatre droites dirigées vers l'intérieur du cercle du méridien, et ayant pour origine le centre du cosmographe, situent de part et d'autre de l'axe du monde, les cercles polaires célestes. Elles portent toutes 66°33'.

3- Quatre droites dirigées vers l'extérieur, ayant pour origine le centre du cosmographe, situent les tropiques qui limitent la zone du soleil sur la sphère céleste. Ils portent respectivement et suivant la place qu'ils occupent de part et d'autre le plan de l'équateur céleste, à une distance de plus ou moins 23°27' le nom de Cancer ou Capricorne.

4- Une dernière droite dirigé vers le zénith et ayant pour origine le centre du cosmographe, situe la verticale du lieu d'implantation du cosmographe. Elle porte ici le nom de la ville de : SOREZE

5- Deux pièces en arc de cercle, épousant parfaitement la courbe du périmètre intérieur du cercle du plan du méridien, viennent occuper l'espace entre deux tropiques, situé de par et d'autre du plan de l'équateur céleste. Les faces parallèles au plan du méridien de ces pièces, portent l'échelle des degrés qui limite la zone d'action du soleil sur la sphère céleste. Sur ces faces, un bandeau en retrait de l'épaisseur de chaque pièce, occupe la moitié de l'espace, il a d'inscrit dessus en saillie, les chiffres arabes des degrés : 20 15 10 5 0 5 10 15 20. Sur l'autre moitié de la face, au-dessus des chiffres, les degrés sont représentés par des segments de droites gravés qui ont tous pour origine le centre du cadran. Des segments longs pour représenter les chiffres ci dessus, des segments courts pour les degrés intermédiaires.

Sur la tranche, formée par l'épaisseur de chaque pièce, il y a d'inscrit en lettres majuscules et en saillie : DECLINAISON SUD[1] DECLINAISON NORD

[1] Déclinaison sud se lit à partir du côté gauche du cosmographe, il est pour cela écrit inversé.

Chaque côté du socle en pierre de grés, porte un panneau explicatif.

° Sur la face Ouest :

Le millésime 1864, et le caractère pédagogique du cosmographe. DEDIE A LA JEUNESSE STUDIEUSE

° Sur la face Est

Le premier paragraphe indique comment le cosmographe a été orienté et dirigé. Il existe plusieurs méthodes pour cela. La méthode de l'étoile polaire présente certains avantages. Elle ne fait intervenir aucun calcul. Elle est directe. Elle est relativement commode car l'étoile polaire bouge peu et lentement. La précision obtenue est assez bonne et bien suffisante dans ce cas.

Le second paragraphe donne la façon d'apercevoir le cercle polaire.

COSMOGRAPHE

OBSERVATOIRE POPULAIRE

LE POLE N EST PAS A – L ETOILE POLAIRE – IL EST A UN DEGRE ET DEMI-VERS LA PREMIERE ETOILE – DE LA QUEUE DE LA – GRANDE OURSE.

(Dessin)

L ŒIL ETANT A L EXTREMITE – DE LA TIGE DE L AXE, - L INTERIEUR DE LA PLAQUE – DE L EQUATEUR SE PROJETTE – SUR LA CIRCONFERENCE DU – CERCLE POLAIRE OU EST – LE POLE DE L ECLIPTIQUE

Face Ouest

Face Est

° Sur la face Nord :

Des indications exactes sont portées : Les points d'équinoxe, chacun à un bout du même diamètre sur la sphère céleste faisant un tour en 24 heures, passent à 12 heures d'intervalle devant n'importe quel repère fixe. Ensuite, comme le soleil sur son écliptique parcourt 360°

En 360 jours (environ), il parcourt 1° par jour. Ce degré, la sphère céleste le parcourt en quatre minutes de temps. Le second alinéa est évident, les quatre points cités étant sur des méridiens perpendiculaires entre eux. Le dernier alinéa est également évident.

LES DEUX EQUINOXES – SONT DANS L EQUATEUR – ILS PASSENT AU MERIDIEN – A 12 HEURES D INTERVALLE, - CELUI DU PRINGTEMPS, PASSE – AU MERIDIEN A AUTANT DE – FOIS 4 MINUTES AVANT MIDI – QU IL S4EST ECOULE DE - JOURS DEPUIS LE 20 MARS.

LES SOLSTICES, SITUES – A 23 DEG.27MIN DE DECL – PASSENT AU MERIDIEN – A 12 HEURES D'INTERVALLE, - ET 6 HEURES APRES LE PASSAGE DES EQUINOXES.
LE POLE DE L ECLIPTIQUE – PASSE AU MERIDIEN – AU MEME INSTANT – QUE LES SOLSTICES

° Sur la face Sud :

Dans son premier paragraphe confirme le rôle d'horloge confié au cercle de l'Equateur céleste. Dans le second alinéa, il confirme que l'absence de la petite tige du centre correspond à une disparition ultérieure.
TOUTES LES PROJECTIONS – DE L AXE DU MONDE – SONT DES MERIDIENS – OU DES PLANS HORAIRES – DETERMINES PAR LES GRADUATIONS – DE L EQUATEUR.
L ANGLE DE LA DECLINAISON – SOLAIRE – EST INDIQUE CHAQUE JOUR – VERS MIDI, - PAR L OMBRE PORTEE – DE LA PETITE TIGE DU CENTRE – SUR LA GRADUATION – DU MERIDIEN – AU N. OU AU S. DE L EQUATEUR .
En bas de la façade on peu lire le nom de l'inventeur : « F(rançois) OUVIERE , de MARSEILLE- invent.

Face Nord

Face Sud

Le cosmographe de Sorèze est classé aujourd'hui, Monument Historique, il fait partit de cet extraordinaire patrimoine départemental que possède notre pays. Bien qu'au premier abord, il semble dans un bon état de conservation, le cosmographe de Sorèze a grand besoin d'une restauration : il faut se soucier de lui redonner son aspect d'origine, restaurer les dégâts occasionnés par de nombreuses soudures de consolidations de mauvaises factures, empêcher la rouille de faire son action de sape, faire en sorte que les générations à venir puissent encore pendant longtemps admirer ce chef d'œuvre.

Document réalisé d'après les écrits sur le cosmographe de Sorézè de Monsieur Jeanpierre Daniel et des recherches auprès de L'Académie des Sciences de France et les Archives de la ville de Marseille.

Carmaux le 01 01 2006

****

Analemmatique plan polaire à astroïde

Par PJ. Dallet et G. Baillet

Cadran à graphismes des heures par points sur une ligne droite. Il s'agit d'un cadran plan, obligatoirement polaire. Trois cas particuliers de cette position sont bien connus mais la généralisation l'est moins. L'article est complété par une présentation des cycloïdes utilisables pour un type de cadran polaire.

1- Cadran présentant ses graphismes horaires sur une droite

(ou analemmatique sur plan polaire à astroïde) PJ. Dallet

Ce cadran n'est pas évident à réaliser, son plan doit être polaire, c'est à dire parallèle à l'axe des pôles de la Terre. Trois cas particuliers de cette position d'un plan sont bien connus : le vertical plein EST, dit « oriental », le vertical plein OUEST, dit « occidental » et le vertical plein SUD dont l'inclinaison est égale à la latitude.

En réalité un plan polaire peut tourner autour d'un axe parallèle à l'axe de la Terre, tout en lui restant parallèle. Rappelons que la position d'une droite parallèle à l'axe de la Terre est toujours dite « Axe du monde ». Ce cadran peut se réaliser sur le plan sommital polaire d'un cylindre en pierre dont la base est un plan horizontal. Seconde difficulté il comporte un style en forme de deux quarts d'astroïde (courbe ressemblant à des quarts de cercles) se joignant au centre du cadran.

Intérêt de ce cadran.

Ce cadran est un véritable exercice de gnomonique théorique pure ; c'est une occasion d'écrire un rappel de gnomonique pour tous les cadrans polaires.

Nous devrons comprendre et connaître :

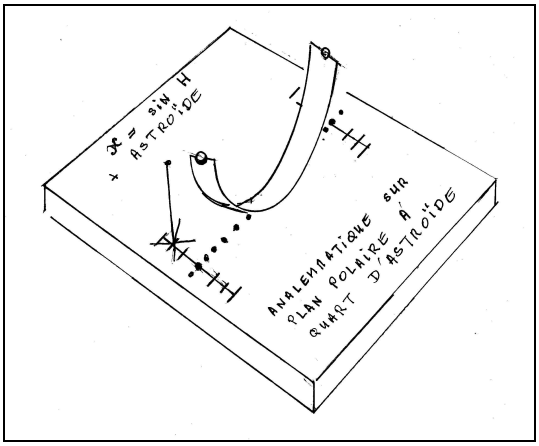


Figure 1

° Le calcul du CHE (Cadran horizontal équivalent à face vers le ciel) et l'utilisation de ses coordonnées.

Pour que le plan soit polaire nous devrons savoir calculer :

° Son inclinaison en choisissant sa déclinaison gnomonique.

° Sa déclinaison en choisissant son inclinaison (Il y a des cas impossibles)

° Son inclinaison et sa déclinaison en choisissant un angle horaire pointé par la normale à son plan.

° Savoir tracer un quart d'astroïde et connaître son rôle en gnomonique.

Nous remarquerons aussi un point très intéressant de ce cadran : L'emplacement des styles mobiles de type analemmatique est donné par le sommet des quarts d'astroïde. Ce cadran est donc apte à donner la date sous la forme « date du calendrier zodiacal »

Points remarquables de ce cadran.

Le point remarquable est que les coordonnées des points horaires sont obtenus par une seule formule très simple: X =sin H, comme pour un analemmatique ordinaire à la latitude zéro.

H étant l'angle horaire. L'angle horaire se mesure en degrés (ou en « heure », angle valant 15°) à partir du méridien de la sphère céleste SUD en France. Ce méridien est une ligne partant du pôle céleste Nord (près de l'étoile Polaire) et allant jusqu'au pôle céleste SUD. H est positif dans le sens du déplacement apparent du Soleil.

Dans le cas de notre cadran nous devrons substituer à H l'angle H2, mesuré sur l'équateur céleste à partir du point visé par la normale du plan du cadran : H2 = Sigma-H.

Ici nous nommons Sigma « l'angle horaire à la sous-stylaire » nommé par certains auteurs S et par d'autres DL (différence de longitude). Sigma est l'angle horaire pointé par la normale du plan du cadran.

Pour être utilisable l'angle H2 doit être compté entre –180° et + 180° .La formule est donc, pour un cadran dont le demi-axe est égal à 1 : X =sin H2

En traçant le cadran par la méthode « Tracé sur CHE » par les azimuts du Soleil à partir de points de l'échelle des dates, les formules se simplifient et l'on retrouve la formule ci-dessus.

Le CHE, cadran horizontal équivalent à face vers le ciel.

CHE est l'abréviation de « cadran horizontal équivalent ». Ce cadran se comprend en faisant glisser le plan d'un cadran, tout en le gardant parallèle à lui-même, le long d'un grand cercle sur la sphère terrestre, jusqu'à qu'il soit horizontal, face vers le ciel. Il possède des applications pour, à peu près, tous les types de cadrans, de toutes formes géométriques, de toutes familles.

Connaissant latitude (Psi) du CHE et la longitude (Sigma) du CHE par rapport au cadran construit, beaucoup de calculs sont faciles. Les tracés sont facilités. Tous les calculs se font comme pour un cadran horizontal : tracés des lignes, levers et couchers, etc. Le problème est de redresser l'image et de décaler les heures pour la différence de longitude.

Soient pour le cadran origine :

- Phi : la latitude du cadran.

- Z : l'inclinaison, distance zénithale de la normale au plan ou arc de grand cercle de la Terre séparant le cadran de son CHE. Pour un cadran vertical nous avons Z = 90°.

- D : la déclinaison gnomonique du cadran, égale à l'azimut de la normale à son plan (Plein SUD : 0, SUD-OUEST 45°, OUEST 90°, etc.)

Pour le cadran horizontal équivalent :

- Psi: la latitude du CHE. Pour les cadrans polaires Psi est égal à zéro.

- Sigma : La « longitude du CHE par rapport au cadran construit ». Angle dit aussi « Angle horaire à la sous-stylaire » pour les cadrans à style polaire ou à style ponctuel.

- Ro dit rotation de la ligne sous-stylaire d'un cadran à style ponctuel ou azimut orthodromique du cadran origine à partir du CHE.

La latitude (Psi) du CHE se calcule par:

Sin(Psi) = sin(Phi) cos (Z) – cos(Phi) sin(Z) cos(D)

Sa différence de longitude (sigma) se calcule par :

Tan(Sigma) = Sin(Z) Sin(D) / [Cos(Z) Cos(Phi) + Sin(Z) Sin(Phi) Cos(D)]

L'angle Ro rotation de la ligne sous-stylaire peur être obtenu par la formule :

Tan (Ro) = [cos (Phi) sin (D)] / [sin (Phi) sin (Z) + cos (Phi) cos (Z) cos (D)]

Si Psi est négatif il faut inverser le signe du numérateur et aussi celui du dénominateur de cette fraction avant de la traiter. Il faut utiliser la fonction arc-tangente à deux arguments pour obtenir l'angle dans le bon quadrant ; l'angle a le même signe que le numérateur. Il est positif dans le sens anti-horloge.

Certains cadrans se calculent à l'aide de ces formules : notamment le bifilaire équiangulaire, incliné et déclinant.

Inclinaison Z en choisissant sa déclinaison gnomonique.

La formule est :

Tan Z = tan(Phi) * Signe(Phi) / cos(D) * Signe(Phi)

Signe : la fonction signe, elle donne –1 si phi, la latitude, est négative.

Déclinaison en choisissant son inclinaison (il y a des cas impossibles)

Nous calculons en premier une valeur intermédiaire

C = tan(Phi) / tan(Z)

Si la valeur absolue de C est supérieure à 1 cette inclinaison est inutilisable.

Dans le cas contraire nous calculons la déclinaison gnomonique D du cadran

Cos(D) = tan(Phi) / tan(Z)

Inclinaison et sa déclinaison choisissant un angle horaire pointé par la normale de son plan.

La déclinaison du Soleil étant De = 0, l'angle H étant choisi arbitrairement :

Nous calculons l'azimut du Soleil, (Zéro au SUD)

Tan (A) = cos(De) * sin(H)/ sin(Phi) * cos(De) * cos(H) - cos(Phi) * sin(De)

(Formule adaptée pour l'utilisation de la fonction arc-tangente à deux arguments)

La déclinaison D du cadran est égale à A, l'azimut.

Nous calculons l'inclinaison Z

Tan Z = tan(Phi) * Signe(Phi) / cos(D) * Signe(Phi)

Signe : la fonction signe, elle donne –1 si phi, la latitude, est négative.

Savoir tracer un quart d'astroïde et connaître son rôle en gnomonique.

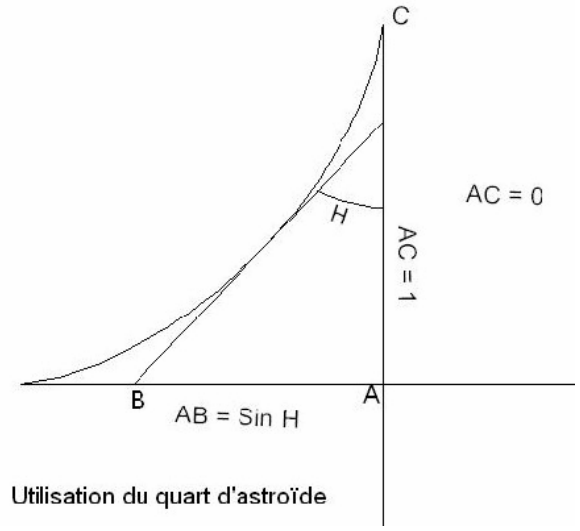


Figure 2

Ici nous avons le schéma de l'obtention du sinus de l'angle H.

L'algorithme de l'astroïde, pour un rayon R=1, demi grand axe de l'analemmatique est :

For i = 0 To 1000

Y = i / 100

$X = [R^{(2/3)} - Y^{2/3}]^{(3/2)}$

Next i .

En gnomonique la courbe « Quart d'astroïde » est souvent utilisée pour procurer le sinus ou le cosinus d'un angle.

Le style astroïde procure l'heure lorsque la déclinaison du Soleil est nulle. Dans ce cas les styles mobiles des analemmatiques ne peuvent pas la procurer car leur ombre couvre plusieurs points. C'est pour cette raison qu'il est ajouté.

Il existe deux cadrans lui ressemblant nous les rappelons ci-après.

Rappel de ce qu'est le "Cadran de Parent".

Notre cadran découle du « cadran de Parent ». Voici donc un bref rappel du principe de ce cadran. Il s'agit d'une combinaison de deux cadrans : un analemmatique et un cadran à style polaire. Le plan du cadran est polaire. Le style de l'équatorial auxiliaire de l'analemmatique est conservé. Le style mobile de l'analemmatique passe par ce style. Aux équinoxes l'heure reste lisible, mais seulement à l'aide du style polaire.

Exemple :

Nous sommes à l'équateur, en Afrique. Construisons un analemmatique ordinaire. Son échelle de dates est une droite horizontale NORD-SUD. Sa droite portant les points horaires est une ligne EST-OUEST. C'est une ellipse aplatie. A la déclinaison zéro, (21 mars, 21 septembre) le Soleil se lève à l'EST, passe au zénith et se couche à l'OUEST. L'ombre du style couvre tout le jour plusieurs points horaires. L'heure est illisible.

Si nous ajoutons un style polaire, horizontal, NORD-SUD, au-dessus de l'échelle de dates de l'analemmatique nous obtenons le Cadran de Parent. Ce style est donc dédié à des lignes horaires qui lui sont propres.

Rappel de ce qu'est le « Cadran à style polaire à coupe en cycloïde, à lignes d'heures équidistantes. »

Ce cadran est aussi un cadran polaire proche de notre cadran par son style. Pour ce cadran, la coupe droite du style est en forme de cycloïde, les intervalles entre les droites d'heures sont égaux. La cycloïde ressemble à une demi-ellipse, tangente au cadran, à l'extrémité de son petit axe, à la sous-stylaire.

Formulaire :

X = 2 Pi H/ 180

Equation de la cycloïde :

Pour i croissant de = 0 à 360°

A = i Pi / 180

X = A - Sin(A) - Pi

Y = 1 - Cos(A) - Pi / 2

Ce cadran est dû à Monsieur Baillet. Se reporter à la partie explicative "géométrie de la cycloïde présenté par G.Baillet en fin de cet article.

Rappel de ce qu'est le « Cadran à style polaire » à style ponctuel.

C'est le cadran polaire le plus connu. Classiquement nous savons que les distances sur la ligne équatoriale à partir du style droit se calculent par x = tan(H)

S'il possède un style polaire ce dernier est parallèle au plan du cadran.

Si le style est ponctuel : Son style est un œilleton ou simplement une bille sur un style polaire ou encore un minuscule disque au sommet d'une tige dite style droit si elle est perpendiculaire au plan du cadran.

Les coordonnées de l'ombre de ce style sont obtenues en calculant successivement :

- La déclinaison De et l'angle horaire H du Soleil.
- La hauteur au-dessus de l'horizon h et l'azimut A du Soleil, à partir du SUD.
- La hauteur au-dessus du cadran GKS et l'azimut sur cadran A du Soleil, à partir de la PGPD.
- Les coordonnée x et y du point d'ombre en prenant pour origine du pied du style droit.

Des formules simplifiées pour études d'amateurs suffisent pour comprendre. Les formules complètes ne sont pas de l'ordre de ce document. Les formules présentées ici sont suffisantes pour un cadran programmé sur une petite calculette. Pour des formules complètes des ouvrages importants sont nécessaires.

Soient :

° Le signe "*" (multiplier) ce qui évite des confusions lorsque des variable à plusieurs lettres sont utilisées.
° La longitude géographique "Lg" (Négative vers l'Est, –2°20' à Paris)
° Epsi : L'obliquité de l'écliptique (23° 24')

Epsi = 23.439 –0.013 * (AN –2000) / 100

° La longitude du périhélie "PE" :

PE = 282.937 + 1.724 * (AN –2000) / 100

° Le numéro du jour dans l'année :

Avec: k =2 les années communes, 1 les années bissextiles, m le mois, j le jour:

N = INT(275 * m / 9) – k * INT((m + 9) / 12) + j –30 .

° La longitude écliptique moyenne :

Lm = N * 360 / 365 + 279.9

° L'anomalie moyenne :

Mm = Lm –PE

° L'angle longitude écliptique vraie du Soleil "Lv3 (360° d'un équinoxe de printemps à l'autre). (Simplification de l'équation de Képler)

Lv = Lm + 1.9146 * sin(Mm) + 0.02 * sin(2 * Mm).

° L'anomalie vraie "Mv" :

Mv = Lv –PE .

°L'équation du temps (début 21e siècle), Eq en heure :

Eq = -0.15758 * sin(2* Lv) / cos(De)+ 0.1276 * sin(Mv)-0.00013*sin(2*mv)

Ou bien :

Eq = -0,157587 * sin(2* Lm) + 0,127624 * sin(Mm)

° La déclinaison "DE" d'un astre. Angle ayant pour sommet un observateur terrestre, mesuré depuis l'équateur céleste jusqu'à l'astre de 0° à 90° vers le pôle céleste NORD, inversement vers le pôle céleste SUD.

sin (De) = sin(Lv) * sin(Epsi)

° Le temps de passage "TP" du Soleil au méridien supérieur, SUD en France :

En heure vraie: TP = 12 ;

En temps universel : TP = 12 + Lg / 15 + Eq

° L'angle horaire "H" :

H = (Heure –TP) * 15

° La hauteur, symbolisée par "h", est un angle qui a pour sommet l'observateur, et qui se mesure à partir de l'horizon local jusqu'à l'astre, de 0° à 90° vers le zénith ou de 0° à – 90° vers le nadir.

Sin h = sin phi * sin De + cos phi * cos De * cos H

° L'azimut, symbolisé "A", en astronomie, est un angle qui a pour sommet l'observateur, et qui se mesure sur l'horizon local, à partir d'un arc de méridien terrestre allant de l'observateur au pôle SUD, jusqu'au pied d'une verticale contenant l'astre. Il se mesure de 0° à 360° positivement du SUD vers l'OUEST.

Tan A = [cos De * sin H] / [sin phi * cos De * cos H – cos Phi * sin De]

Cette formule est adaptée pour la fonction arc-tangente à deux arguments.

° La "hauteur sur cadran" désignée "GKS", angle entre le Soleil et la surface du cadran : « hauteur sur cadran ». Cet angle a pour sommet le point K, sommet de l'ombre du style droit.

Sin GKS = cos Z * sin h + sin Z * cos h * cos(A –D)

° L'Angle "azimut sur cadran" désignée "YGK", angle entre la plus grande pente descendante (PGPD) du cadran et l'ombre d'un style droit, mesuré dans le sens « anti-horloge ». Cet angle a pour sommet le pied du style droit. Voici la formule adaptée à la fonction arc-tangente à deux arguments :

Tan YGK = [cos h * sin(A – D)] / [sin Z * sin h – cos Z * cos h * sin(A –D)]

° Enfin x et y se calculent par (GK étant l'ombre du style droit) :

Gk = 1 / tan(GKS)

X = sin(Ygk) * Gk

Y = cosD(Ygk) * Gk

° La fonction « arc tangente à deux arguments : Atan2 (x,y) », en degrés, s'écrit :

Soient :

Nf la variable du numérateur de la fraction ;

Df la variable du dénominateur de la fraction.

Si notre calculateur ne la propose pas, nous devons la créer ainsi :

Nous écrirons B = Atan2 (Nf, Df).

Soit B la variable à laquelle la valeur de l'angle est affectée :

Ligne 1 : Si Df = 0, Faire B = 90° : Sauter la ligne 2 et poursuivre.

Ligne 2 : Calculer la valeur de l'angle B : B = Arc-tan (Nf / Df)

Ligne 3 : si Df < 0 Faire B = 180° + B

Ligne 4 : si B < 0 Faire B = 360° + B

Ligne 5 : affecter la valeur de B à la variable « Atan2 »

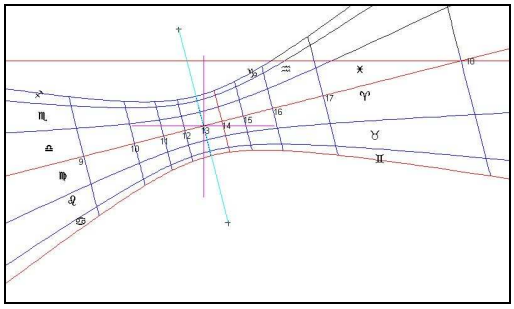


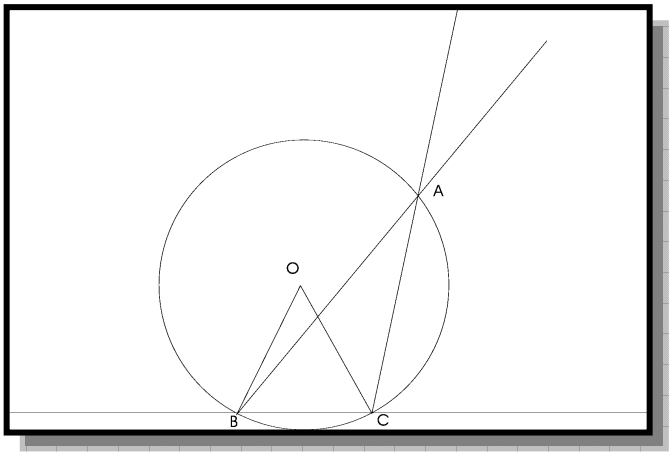
Figure 1 Polaire pointant 13 heures vraies.

2- Eléments de géométrie de la cycloïde appliqués au cadran Gérard Baillet

Le problème consiste à trouver une courbe qui donne des ombres espacées de manière proportionnelle à l'heure (dans ce qui va suivre tous les angles sont en radian).

Pour trouver un point de cette courbe (voir image 1) je prend deux rayon de soleil AB et AC séparé d'un angle horaire BÂC, chaque rayon donne une ombre AB en B et AC en C.

La distance BC telle que : BC = k x BÂC ***formule 1***



▲ Image 1

Avec k une constante définissant la taille du cadran.

Pour trouver un point A de la courbe il faut faire tendre l'angle BÂC vers zéro.

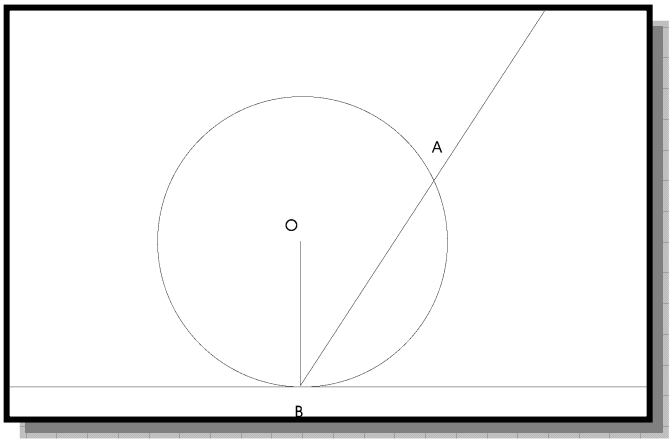
Soit un cercle de centre O et de rayon r qui passe par A, B, C.

Dans le cercle O on a entre les angles la relation

BÔC = 2 x BÂC.

Si l'angle BÂC tend vers zéro (Voir l'image 1 & 2) on peut écrire :

BC = k x BÂC = r x 2 x BÂC



Ce qui donne :

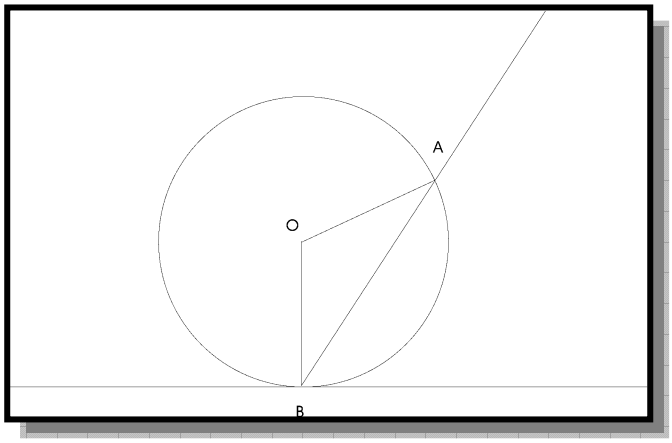
r = k / 2 . ***formule 2***

Il faut alors noter trois points importants (Voir l'image 2)

L'angle horaire est OBA,
Le rayon du cercle est indépendant de l'angle horaire
Le point A est sur la courbe.

◀ Image 2

Calcul de l'angle AOB en fonction de l'angle horaire OBA = H. (Voir image 3)

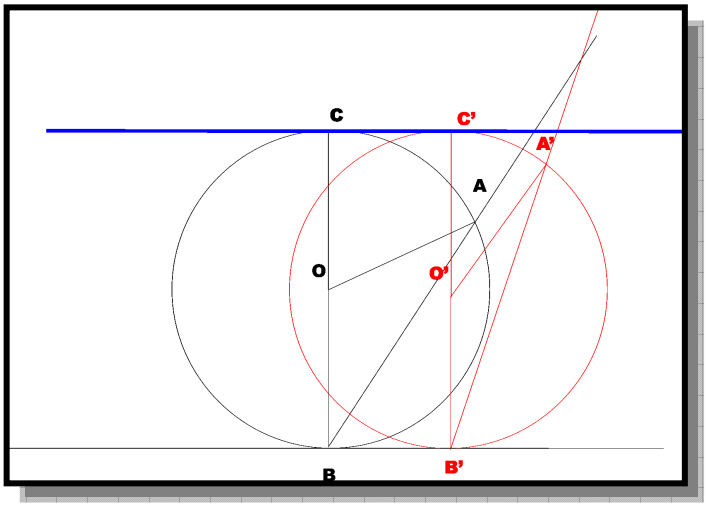


Le triangle AOB est isocèle et
OA = OB = r,
les angles OAB et OBA sont égaux à H.

AOB = pi – (2 x H) ***formule 3***

◀ Image 3

Portons sur une même image deux angles horaires H1 et H2 avec deux cercle O et O'. (Voir image 4)

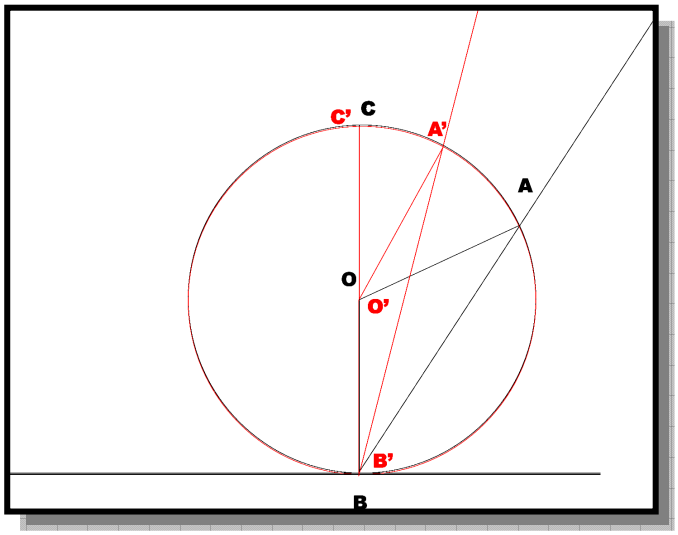


Soit H1 l'angle horaire du rayon **AB** et H2 l'angle horaire du rayon **A'B'**
Soit dH = H2 – H1
A partir de la formule 1 on a donc :
BB' = CC' = k x dH ***formule 4***

◀ Image 4

Superposons les deux cercles O et O' (voir l'image 5)
Calculons la longueur de l'arc AA' (à partir de la formule 3)

AA' = [(pi - (2 x H1)) – (pi - (2 x H2))] x r
AA' = 2 x dH x r



En remplaçant r par sa valeur (formule 2)
AA' = 2 x dH x K / 2
AA' = k x dH ***formule 5***

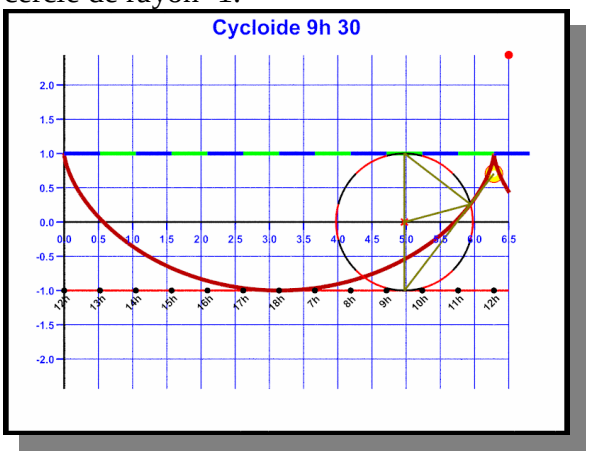
◀ Image 5

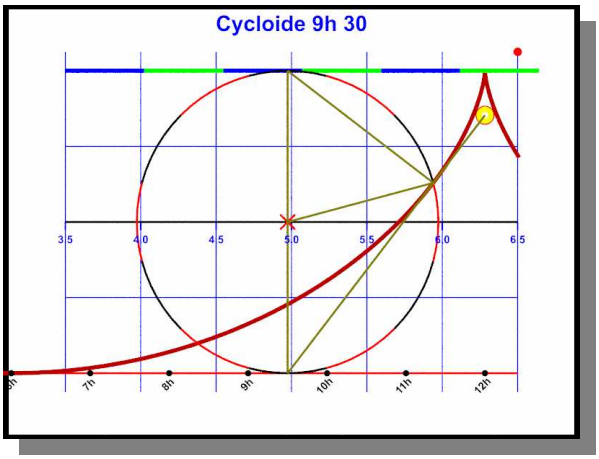
Conclusion

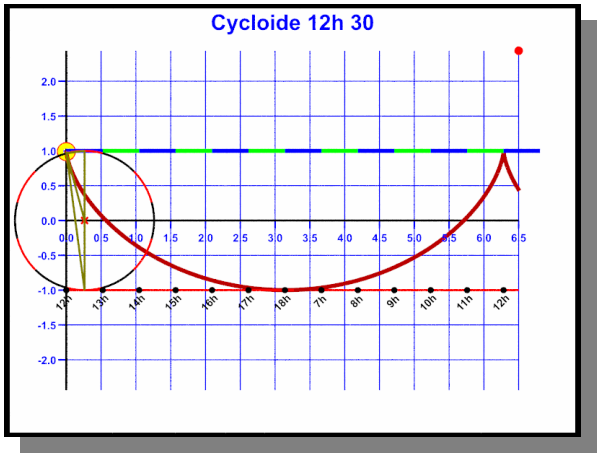
On voit que la longueur de l'arc AA' (formule 5) est égale à la longueur du segment CC' (formule 4)

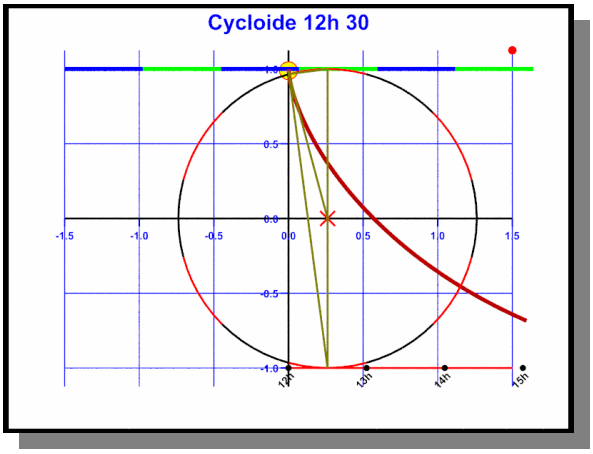
Tous se passe donc comme si le cercle O roulait sans glissement sur la droite CC' (en bleu sur l'image 4) et que le point A (fixe sur le cercle O) décrivait la courbe recherchée, il s'agit donc bien d'une cycloïde engendrée par un cercle de rayon r déterminé par la formule 2.

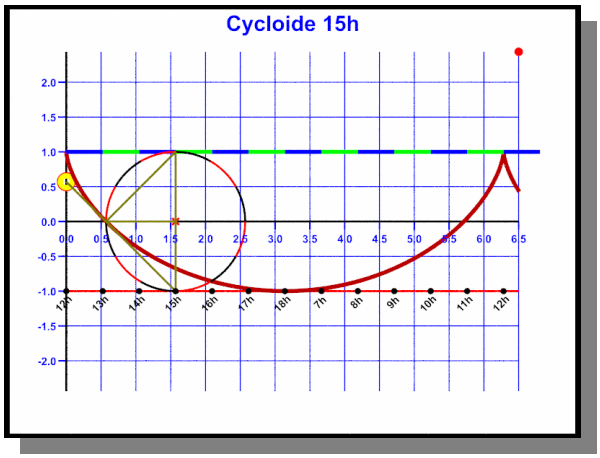
Voir quelques vues de principe du cadran cycloïde sur les pages suivantes, avec un cercle de rayon=1.

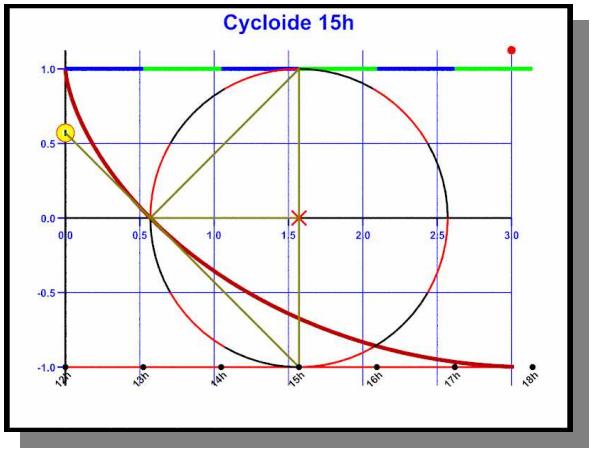


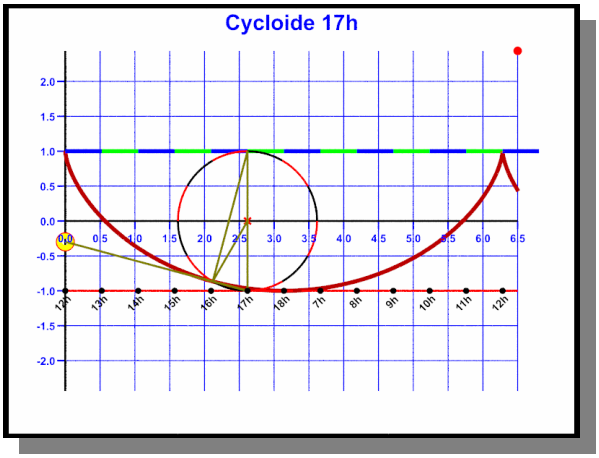


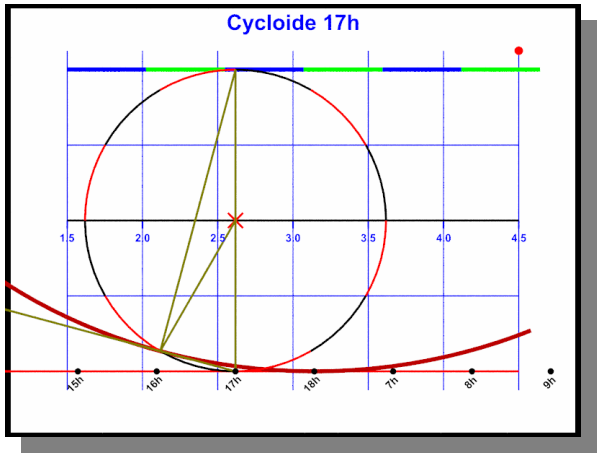






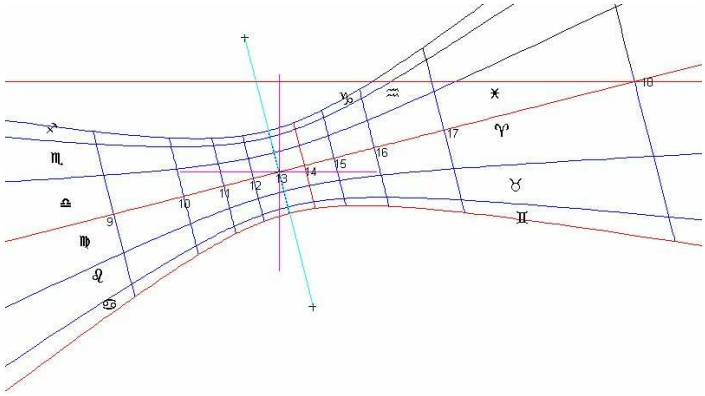






****

Cadran polaire à style ponctuel par M. Dallet



Le cadran sur pierre et l'épure réalisée avec le logiciel Solarium

****

Cadrans bifilaires et autres

Par D. Collin/*Ph. Sauvageot pour le résumé*

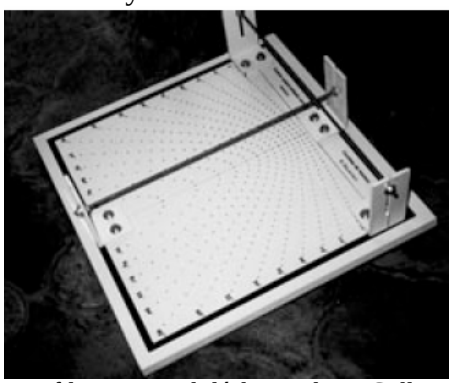
Durant des années D.Collin a étudié les cadrans bifilaires et traduit de nombreux articles gnomoniques étrangers dont certains ont été publiés dans Cadran Info. Il a eu la bonne idée de regrouper l'ensemble de ce travail et la gentillesse de mettre celui-ci à la disposition de note commission.

Le document regroupant les travaux de D. Collin se divise en 3 parties: Les cadrans solaires bifilaires, des articles divers et la traduction d'articles étrangers.

1 - Les cadrans solaires bifilaires, auteur D. Collin

Ce document qui contient pas moins de 150 pages comprend:

° **La théorie des cadrans solaires bifilaires** publiée dans JOURNAL de juin 2000 (revue de la société royale d'Astronomie du Canada):

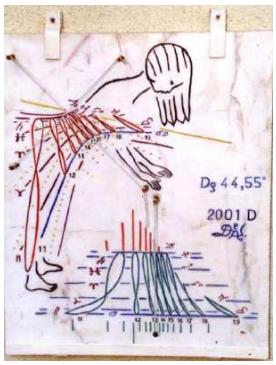

Bifilaire vertical déclinant de D. Collin

Présentation de quelques aspects fondamentaux des cadrans bifilaires verticaux déclinant, à partir d'une référence géométrique basée sur une astronomie locale. Définition des courbes de hauteur, des droites d'azimut, des lignes horaires et arcs diurnes. L'étude de ces relations dégage les caractéristiques des cadrans bifilaires: courbes de hauteurs indépendantes de la latitude et de l'orientation du plan vertical, équivalence entre cadran vertical ordinaire et bifilaire, cadrans à lignes horaires homogène, cadrans à lignes horaires parallèles.

° **La théorie sur le cadran solaire bifilaire vertical déclinant** de juin 2000:

Même article que celui publié dans JOURNAL, présenté sous forme d'étude.

° **Les cadrans solaires bifilaires à gnomons rectilignes quelconques** de novembre 2002:



Etude du "système bifilaire généralisé". Les fils sont parallèles au plan du cadran et font entre eux un angle quelconque.

Cette approche met en évidence une multitude de propriétés curieuses et originales jamais envisagées dans la gnomonique classique. Les courbes de hauteurs peuvent devenir des paraboles ou des ellipses (l'arc de cercle est un cas impossible). L'inclinaison de l'équinoxiale sur la ligne d'horizon est réglable par le système bifilaire. Le bifilaire généralisé permet de tracer des lignes horaires homogènes. Que le plan du cadran soit dans le plan du méridien, déclinant, incliné et déclinant ou horizontal, on peut toujours construire un bifilaire équiangulaire par

un ajustement simultané des l'angle entre les 2 fils et leur écartement.

La photo de la page précédente est celle d'un cadran bifilaire avec courbe de temps moyen tracée pour chaque heure. Il a été réalisé par PJ. Dallet.

° **Le cadran solaire vertical à système bifilaire orthogonal incliné**. "L'Info du mois", avril 2000**.**

Formules permettant de calculer les coordonnées du point d'intersection des ombres de deux fils perpendiculaires entre eux, l'ensemble étant incliné sur l'horizontale.

° **Le système bifilaire généralisé.** "L'Info du mois", juin 2000**.**

Traitement d'un cadran vertical déclinant à deux gnomons rectilignes disposés comme l'on veut dans des plans distincts et parallèles au plan du cadran.

° **Des lignes horaires homogènes dans les cadrans solaires bifilaires généralisés à plan vertical.** "L'Info du mois", octobre 2000**.**

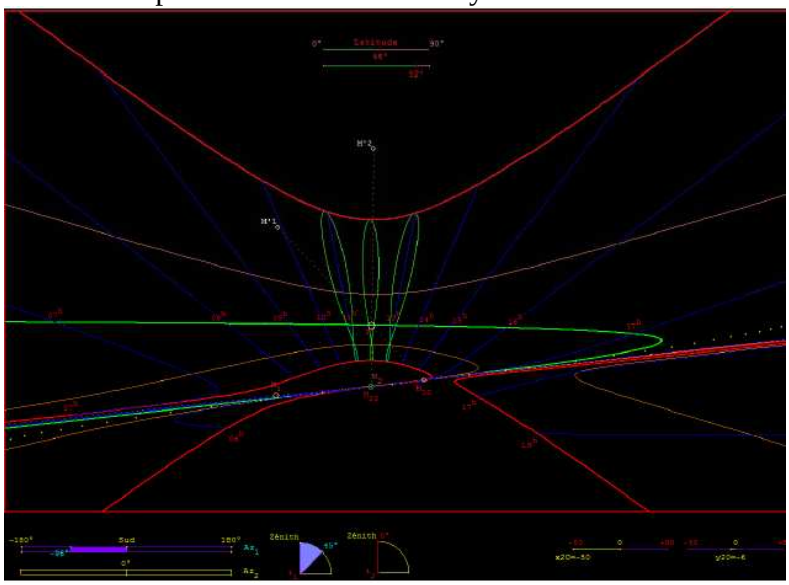
Formules pour une solution la plus générale possible.

° **Un cadran solaire plan, horizontal, à système bifilaire généralisé.** Note technique de Mai 2001:

Sachant qu'avec un cadran horizontal on peut déduire la construction de tout autre cadran avec l'aide seulement de la latitude et de la longitude "équivalente", est appliqué ici la théorie du bifilaire généralisé au plan horizontal. Sont données dans l'article les coordonnées horizontales locales et le formulaire propre à une programmation.

° **Vers une finalisation des cadrans bifilaires à fils rectilignes**, novembre 2000.

Il s'agit de trouver la trajectoire du point d'intersection de deux droites glissant l'une sur l'autre et chacune tournant à vitesse constante autour de leur point fixe respectif: le pivot. La solution est présentée dans les deux systèmes de coordonnées astronomiques locales:



les coordonnées horizontales et les coordonnées horaires. Des tracés sont présentés pour des points les plus remarquables.

Dans cette étude, on s'affranchit de la contrainte des plans parallèles au plan du cadran pour considérer 2 "gnomons" rectilignes installés dans des plans azimutaux quelconques. Ce n'est plus un cadran bifilaire au sens de Michnick, ni même au sens du bifilaire généralisé. C'est une nouvelle espèce de bifilaire.

L'objectif du document est d'expliciter la géométrie de ce type de cadran, de proposer des équations paramétriques du point d'intersection des ombres en vu d'une programmation informatique, d'étudier quelques lieus géométriques du point d'ombre lorsqu'une variable est fixée (déclinaison, angle horaire par exemple…), de fournir le source Géoplan, permettant une visualisation dynamique du tracé du

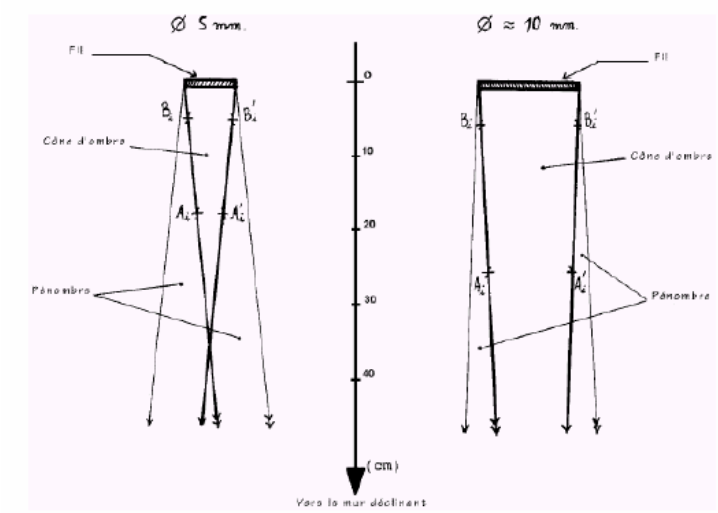
bifilaire, résolvant complètement la détermination des lieux géométriques du point d'ombre pour n'importe quel paramètre intervenant dans ce bifilaire.

2 - **Etudes diverses**, auteur D. Collin

° **"Construction d'un cadran solaire horizontal".**

Description d'un cadran horizontal, puis étapes de construction des lignes horaires. La méthode présentée est valable quelque soit la taille du cadran. Un rapide aperçu est donné sur le logiciel de calcul de cadran "CadSol 4.0". Un exemple de calcul finalise l'étude.

° **"Sur une méthode de détermination de la déclinaison gnomonique"**:



Influence de l'épaisseur du fil à plomb sur la "qualité" de l'ombre projetée.

L'application de la méthode dite "de la Planchette" pour mesurer la déclinaison d'un plan vertical y est décrite et commentée. Tous les détails du matériel nécessaire à l'opération sont explicités, ainsi que le mode opératoire et un exemple numérique. L'incertitude des mesures réalisées est présentée.

L'article est complété par un essai sur l'analyse des erreurs de mesures en faisant appel aux statistiques qui montrent que la précision peut être de l'ordre de 5'. Des conseils en sont déduits concernant l'épaisseur du fil à plomb à utiliser (>8mm) et qu'il ne faut pas dépasser une longueur d'ombre de 40cm pour marquer les points.

3 - **Traductions d'articles sur la gnomonique,** par D. Collin

Le Tome I concerne des articles allemands, anglais et hollandais:

° **Construction d'un cadran sidéral** par H. Michnik dans ATRONOMISCHE NACHRICHTEN Volume 216, N° 5184, pages 441-450, avril 1992.

° **Théorie d'un cadran solaire bifilaire** par H. Michnik dans ATRONOMISCHE NACHRICHTEN Volume 217, N° 5184, pages 81-90, octobre 1995.

° **Les cadrans solaires à projection équatoriale** par B. Ernst dans J. Brit.Assoc, vol 97, N° 1, pages 39-45, 1986.

° **Un cadran solaire indépendant de la latitude** par J.G.Freeman dans J.Roy. Astrom. Soc.Can, vol 72, N° 2, pages 69-80, 1978.

° **Un cadran solaire polaire à arcs diurnes parallèles**, conception J de Vries, Prinsenbeek, Hollande, janvier 2003.

° **Un cadran solaire bifilaire à fils cylindriques** par J de Vries dans De Zonnewijzerking, N° 3, pages 32-33, 1997.

° **Les cadrans solaires à miroir et les cadrans solaires à ombre** par A. Vend del Beld dans De Zonnewijzerking, N° 1, pages 22-23, 1998.

° **Le cadran solaire bifilaire à fils droit et courbe** par Th de Vries dans De Zonnewijzerking, N° 3, pages 55-70, 1997.

Le Tome II concerne des articles espagnols:

° **Cadrans solaires bifilaires horizontaux avec un fil circulaire et un autre rectiligne** par J. Moreno Bores dans Analema N° 16.

° **Généralisation du principe des cadrans solaires bifilaires aux cadrans solaires à deux faces: "cadrans bisurfaces"** par J. Moreno Bores dans Cadran Info N° 10.

° **Application de la méthode analytique aux cadrans solaires bifilaires** par Rafael Soler Gaya dans Analema N° 32.

° **Erreurs commises dans le calcul des cadrans solaires** par M.M. Valdés dans Analema N° 33.

° **Cadrans solaires orthoméridionaux à réfraction bifilaires** par Rafael Soler Gaya dans Analema N° 33.

° **Cadrans solaires à diffraction** par Mario Catamo et Cesare Lucarini dans Analema N° 33.

° **Construction d'un cadran solaire horizontal ou vertical d'une manière rapide et précise** par Luis Hidalgo dans Analema N° 37.

° **Gnomomique vectorielle** par Antonio de Vitente Candeira, tiré à part du bulletin Analema, 70 pages, 2005.

L'ensemble des études réalisées par D. Collin offre une exploration des possibilités offertes par les cadrans solaires bifilaires, étayé par les formules mathématiques associées et des représentations graphiques.

Il s'agit d'études pouvant servir à la réalisation concrète de cadrans particulièrement originaux par le concept et la représentation peu commune des courbes.

⇨ **Dans la version CDrom de Cadran Info vous trouverez en annexe:**

L'ensemble des études réalisées par D. Collin à savoir:
"Les cadrans solaires bifilaires" et **"Etudes diverses"**.

Cadran sans style! où lire l'heure?

Par Piere Joseph Dallet/ cadrans J. Robic

Où lire l'heure sur un cadran ne possédant pas de style, cadran où l'heure est donnée par la limite entre la zone ombrée et la zone ensoleilée. Où lire l'heure sur ce cadran cylindrique à axe vertical crée par M. Robic en septemebre 2006?
Bonne question, comme disent les candidats aux élections politiques. Eux disent que la question est bonne et n'y répondent pas… Moi, Dallet, pour ces cadrans je peux répondre. Je dois vous dire que s'il est très facile de montrer à la règle où se lit l'heure il est très difficile de l'expliquer. Voici donc à partir de cadrans crées par J. Robic quelques explications.

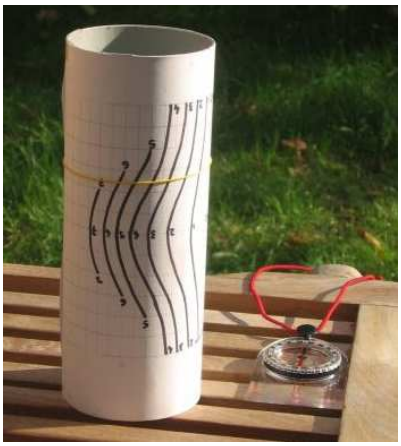
Les cadrans concernés:

Ce sont des cadrans "cylindres polaires", en hélice, sur un œuf (qui ont déjà été présentés dans Cadran Info) et même sur une surface quelconques comme un galet, réalisé par J. Robic.

Toujours crée par J. Robic, ce peut être également un cylindre vertical ou horizontal, la surface la plus simple.

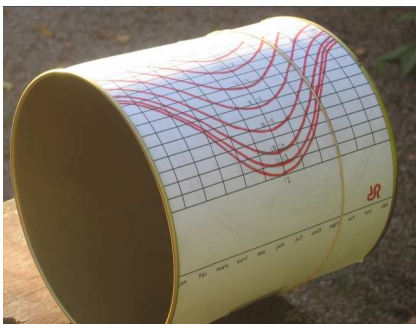
- Le cadran à axe vertical: Solution similaire à l'araignée d'azimut avec un décalage de 90°. A la place de l'heure solaire, comme pour les araignées d'azimut, on peut choisir l'heure locale moyenne ou l'heure légale (avec changement d'heure été hiver). Ce type de cadran pourrait être reproduit en grand sur un château d'eau par exemple ou même sur une tour de refroidissement de centrale nucléaire (non vérifié, mais cela marche peut-être sur des surfaces de révolution autres que des cylindres) !

- Le cadran à axe horizontal: C'est un cadran de hauteur, auto-orientable et donc plus utilisable comme cadran de berger que le cadran d'azimut. Comme il n'a pas de style, il est beaucoup moins fragile. Pour lire l'heure, on doit tenir le cylindre horizontalement et le positionner perpendiculairement à la direction du soleil, un peu comme le cadran de berger classique. On remarque comme pour les autres cadrans de hauteur que la précision est moins grande aux alentours de midi.



Cadran cylindrique vertical J.Robic
Sur le prototype, on peut lire 4h à la limite ombre lumière en face de l'élastique (date du jour).

Cadran sur un galet J.Robic



Cadran cylindrique horizontal
L'élastique est à la date du jour, on peut lire 17h. J.Robic

La lecture de l'heure

Autour du cylindre, à la trace de l'intersection de sa surface et de plans horizontaux. Nous traçons des lignes de dates. Nous plaçons d'abord la ligne des équinoxes puis arbitrairement les lignes des autres dates. Le calendrier zodiacal semble être préférable aux dates grégoriennes car elles correspondent à des déclinaisons variant très lentement. L'intervalle séparant ces lignes se choisit arbitrairement, seule l'esthétique compte.

Ensuite pour chaque heure (Vraie, UT ou dite "Du Soleil" par les média), pour toutes les lignes de dates que nous avons choisies (en fait de 10 en 10 degrés de longitude écliptique) nous calculons l'azimut du Soleil. Données : Latitude, angle horaire, date zodiacale. Puis nous optons pour une lecture à la limite EST ou OUEST d'ensoleillement du cylindre. Exemple actuellement au lever du Soleil, à 6 h Vraie le Soleil se lève à l'EST. Nous plaçons un premier point 6h exactement au NORD du cylindre, et un second exactement au SUD (sur un second graphisme).

Sur le 1er graphisme nous repérons la ligne de date « équinoxes» et nous lisons l'heure à gauche. Sur le second nous lisons l'heure à droite.

Il est nécessaire de bien organiser les cadrans faute de quoi personne ne sait où lire l'heure. C'est le problème de tous les cadrans de hauteur et d'azimut (au sens de Bedos de Celles, c'est à dire tracé par tables d'azimut et de hauteur de 10 en 10 degrés de longitude écliptique, heure par heure, pour une latitude donnée)

J'ai appris avec le livre de cet auteur et je sais que des auteurs modernes disent « cadran de hauteur » et « cadran d'azimut » dans un autre sens.

Ce cadran est de la famille des « cadrans sans style, à lecture de l'heure à la ligne limite « zone ensoleillée / zone à l'ombre » . Pour que la lecture soit facile le ciel doit être sans nuages. En plus sa surface ne doit pas être éclairée par un entourage réflectorisant : mur ou sol blanc ou clair. Sa surface doit être mate. Le choix d'une peinture spéciale (bille de verre, métallisée, finement rainurée) est à rechercher.

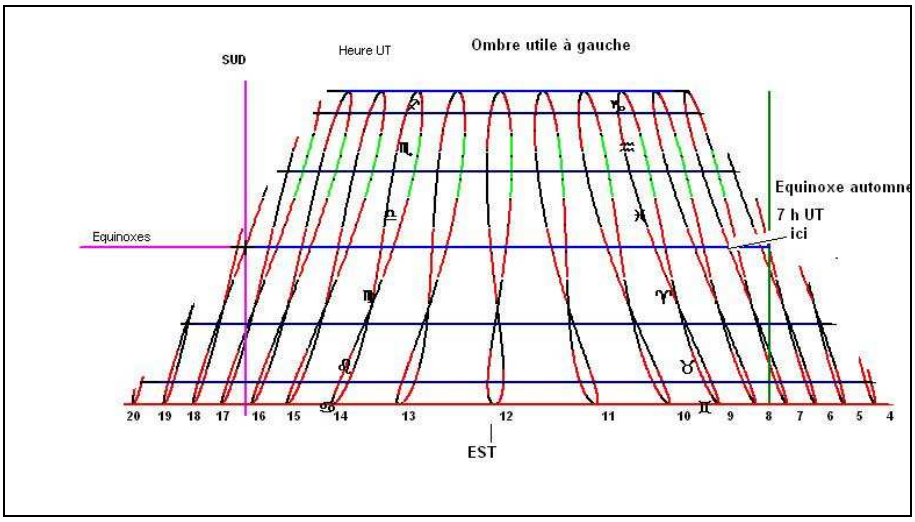


Figure 1

Lecture de 7h UT à un équinoxe d'automne.

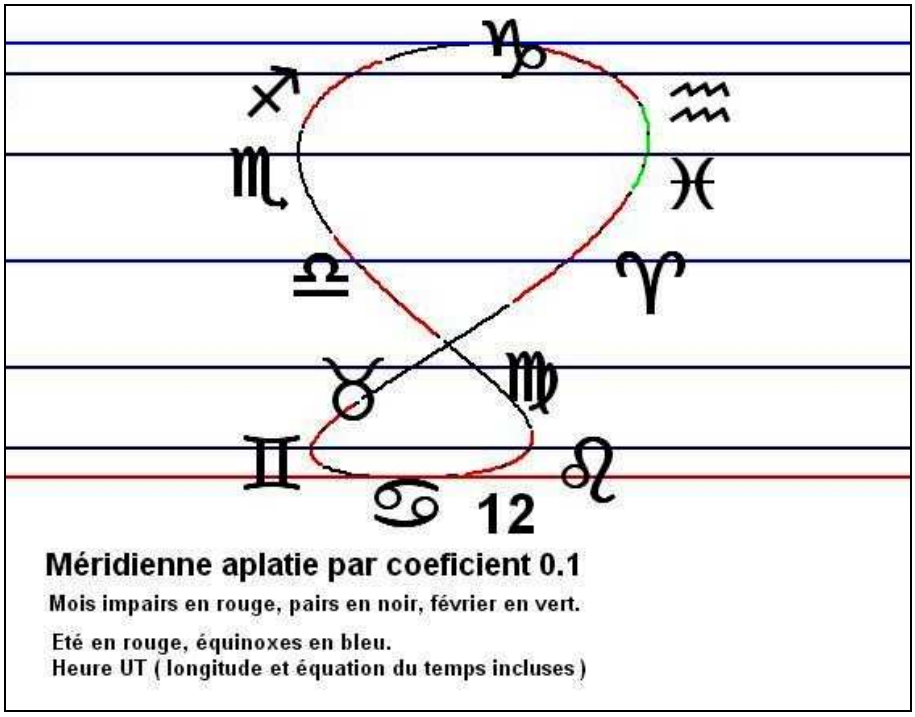


Figure 2 Une méridienne, plein EST ou plein OUEST.

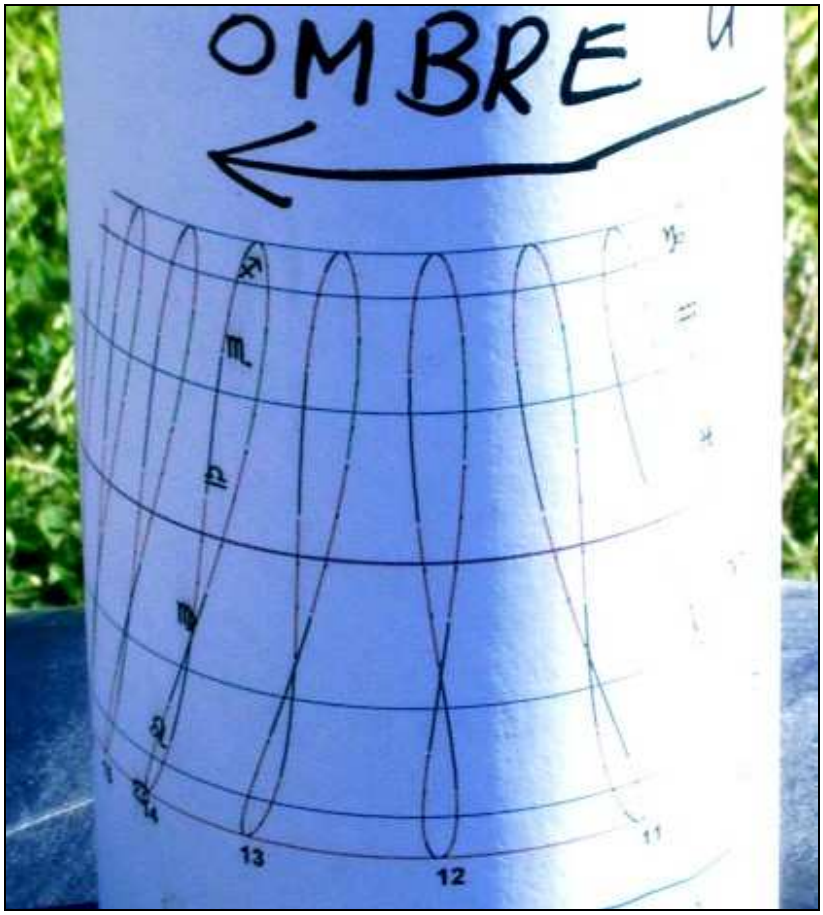


Figure 3

Essai sur papier sorti de l'imprimante. (11h 30 UT le 21 septembre 2006)

****

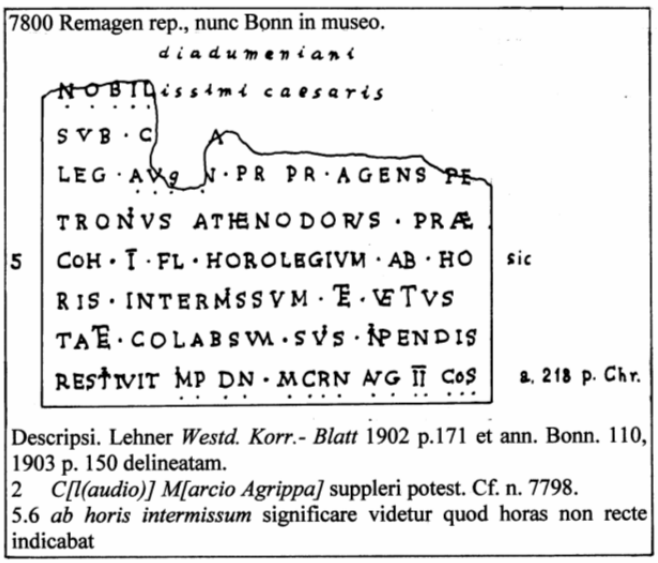
Premières restaurations gnomoniques

Par Enrico Del Favero, traduction d'A.Gotteland

Cet article traitant des premières restaurations gnomoniques de l'histoire, a été publié dans la revue "Gnomonica Italiana" n°.10 de Mars 2006.

J'ai eu l'occasion de m'occuper, dans le passé, des pierres de l'époque romaine, concernant les cadrans solaires. Je rappelle, à ce propos, le rapport : « Sponsor gnomoniques dans les Dolomites et alentours d'il y a 2000 ans », présenté au XIe Séminaire national de gnomonique de Verbania, en 2002.

Un des éléments les plus importants pour rappeler ce souvenir avait été la consultation de quelques-uns des 30 volumes d'un rassemblement général de toutes les inscriptions latines connues, le *"Corpus Inscriptionum Latinarum"*, (Récolte des inscriptions latines), appelé brièvement CIL, publié en latin à Berlin, vers la fin de 1800 par l'« *Academiae Litterarum Regiae Borussicae* », (Académie Royale Littéraire de Prusse), grâce à Theodorus Mommsen, mais avec la sortie des différents volumes qui ont paru pendant de très nombreuses années.


7800 Remagen rep., nunc Bonn in museo.

diadumeniani

NOBILissimi caesaris

SVB · C

LEG · AVg · PR PR · AGENS PE

TRONVS ATHENODORVS · PRÆ

5 COH · I · FL · HOROLEGIVM · AB · HO sic

RIS · INTERMISSVM · E · VETVS

TAE · COLABSVM · SVS · IPENDIS

RESTITVIT IMP DN · MCRN AVG II COS a. 218 p. Chr.

Descripsi. Lehner *Westd. Korr.- Blatt* 1902 p.171 et ann. Bonn. 110, 1903 p. 150 delineatam.

2 *C[l(audio)] M[arcio Agrippa]* suppleri potest. Cf. n. 7798.

5.6 *ab horis intermissum* significare videtur quod horas non recte indicabat

Au cours d'un examen, qui remonte à l'année dernière, d'un des dits volumes, le XIIIe, intitulés : *« Inscriptiones trium Galliarum et Germaniarum latinae »* (Inscriptions latines des trois Gaules et Germanie latine), publié en 1943, j'ai trouvé une autre pierre concernant un cadran solaire, pierre qui peut constituer un curieux et insolite point de référence dans l'histoire et la chronique de la mesure du temps.

Il s'agit là, probablement, de la première note écrite d'une restauration ou mieux de la réparation d'une horloge, dans le cas spécifique d'un genre solaire.

C'est une nouvelle méritant peut-être d'être encadrée et exposée dans une belle exposition, auprès d'un laboratoire d'horlogerie qui, au moins une fois, répare nos horloges mécaniques et qui, peut-être aujourd'hui, sont toujours plus rares. Mais, de nos jours peut-être que les horloges qui ne fonctionnent pas ne se réparent plus !

Le texte sur la pierre, traité dans le volume n° 7800[1] et relevé « à main libre » par la même personne, est reporté dans la figure ci-dessus, entouré d'une ligne continue irrégulière, dans la partie supérieure où elle manque. Il est accompagné de brèves annotations, toujours en latin, faites par les personnes qui ont inséré l'inscription dans leur récolte.

La traduction en français, qui peut être donnée de la notice, est la suivante : « Je ne suis pas un expert en épigraphie latine et la pierre est pleine d'abréviations et de sigles difficiles à interpréter ». Sous Marco Claudio Agrippa, parent d'Auguste, agissant au nom du prêteur, Petronio Atenodoro, Préfet de la première cohorte Flavia, restaura à ses frais l'horloge dont

[1] Répertoire de Remagen, actuellement dans un musée de Bonn.

les heures étaient interrompues et dévorées de vétusté et la mit en mémoire de Macrino Augusto, Consul, pour la seconde fois**.

Tracée dans le : « Giornale di Corrispondenza della Germania dell'Ovest », (Journal de Correspondance de la Germanie de l'Ouest) de 1902, p. 171 et dans les « Annali di Bonn » (Annales de Bonn), de la p. 110 à 150, 1903.

La seconde ligne peut être complétée par : Claudio Marco Agrippa. (Voir la pierre n° 7798). Aux cinquième et sixième ligne : "interrompu dans les heures" semble vouloir dire quelle indiquait mal les heures. Ici se termine la note 7800 du volume dans lequel le texte réel de la pierre est celui compris entre les deux doubles astérisques.

D'autres annotations sur la pierre sont :

1) Une reconstruction d'un texte possible qui pouvait précéder la pierre : *« diadumeniani nobilissimi caesaris »*

2) Une allusion à la cinquième ligne fait que, « normalement » dans le cas d'horloges, on utilise le mot latin *« horologium »* et non *« horolegium »* (une possible erreur d'orthographe du sculpteur ou d'un des modes peu fréquents avec lesquels on peut trouver écrite le mot « horloge »). Avec *« sic »* (ainsi), on entend que dans la pierre est écrit justement « horolegium ». A la huitième ligne, une datation de la pierre de l'année 218 ap. J.C., comme on le verra ensuite.

En résumant ce texte, ce Petronio Atenodoro, avec tous ses titres et attributions, s'est engagé à ses frais, à réparer une horloge solaire qui ne fonctionnait plus, étant en morceaux et abîmée par le temps.

Il ne devrait pas y avoir de doute que cette horloge ait été justement de type solaire. Les heures « interrompues » sont presque sûrement les lignes horaires d'une horloge classique romaine, par exemple à hémicycle, qui, pour quelque « événement », a été cassé en deux ou en plusieurs morceaux et présente donc une fracture, avec une séparation entre certaines lignes horaires et d'autres.

Petronio Atenodoro désire que son nom et sa capacité pour réparer l'horloge et la faire à nouveau fonctionner, soient communiqués aux habitants du lieu, desquels probablement il attend de la « reconnaissance », en termes de vote en sa faveur pour les futures élections à une magistrature locale. Il n'oublie pas ensuite de « rappeler » dans le texte de la pierre qui probablement se trouvait sous l'horloge réparée, les dirigeants de l'époque, à partir d'un certain Marco Claudio Agrippa, jusqu'à l'empereur romain du moment, Marco Opellio Macrino (le MCRN de la pierre).

Nous ne devons pas nous étonner que les horloges solaires neuves ou restaurées méritèrent, à l'époque romaine, reconnaissance et dédicace : elles étaient considérées comme de vraies et oeuvres d'utilité publique, soit semblables, soit un peu plus petites, de routes, aqueducs, stades, thermes, etc… et comme tels dignes d'être offerts en don aux habitants du lieu des « financiers généreux ».

Á propos de l'empereur Macrino, on sait qu'il est né en Mauritanie (aux alentours de l'actuelle Algérie), en 164 D.C. et qu'il a fait une rapide carrière dans le camp militaire, devenant Préfet des prétoriens et Commandant de la Garde impériale. Il accompagna, en 213 D. C., son Empereur Caracalla, dans une campagne militaire dans les provinces romaines du Reno en Germanie et, pour ces raisons, il devait avoir été, en quelque sorte, connu de la population locale. Á la mort de Caracalla, en 217 D.C., il fût proclamé Empereur par ses soldats et, après un bref règne, il fût tué en 218 D.C. par les mêmes soldats, dans une ville de la Moésie Inférieure, l'actuelle Bulgarie.

Á la mort violente de Macrino, comme cela est rapporté dans l'inscription du Corpus n°7798, était présent aussi Marco Claudio Agrippa, cité dans la pierre de l'horolegium. La même fin tragique arriva, peu après à son fils Diadumeniano, nommé en italique dans la première partie ajoutée à la pierre, et qui aurait dû lui succéder dans la charge impériale. Et

c'est justement le nom de cet Empereur Macrino et l'époque de son très bref règne, qui permet une datation certaine de la pierre et donc la décision de restaurer l'horloge.

Pour compléter la nouvelle, la pierre a été retrouvée à Remagen, l'antique Rigomanus, une installation romaine sur le Rhin, un peu au Sud de l'actuelle Bonn. Le volume du Corpus, dont on parle, remonte à 1943 avec la pierre située alors, dans un musée de Bonn.

Actuellement à Bonn est présent le « Rheinisches Landesmuseum », « Musée Régional de Reno », fondé en 1820, plusieurs fois agrandi et reconstruit après la dernière guerre, dont une grande partie est dédiée à l'État Romain.

Et c'est là que pourrait se trouver aujourd'hui notre pierre. J'espère seulement que les destructions de la guerre, qui est certainement passée à travers le Rhin, ne l'ont pas touchée et que la mémoire du premier restaurateur des horloges de l'histoire ne soit pas perdue.

Après la conclusion de mes recherches sur la pierre de Remagen, mon ami Mario Arnaldi m'a signalé qu'il a trouvé récemment dans le « Dizionario epigrafico di antichità romane » (« Dictionnaire épigraphique des antiquités romaines » d'Ettore de Ruggero (vol. III, Rome, Pasqualucci ed., 1922, p.967) deux pierres romaines qui pourraient être, dans un certain sens, « concurrente » avec celle de Remagen, comme premiers exemples de restauration de cadrans solaires. Et aussi, en vérité les textes de ces deux pierres font références aux cadrans, qui plus que restaurés, dans le sens moderne du terme, avaient été probablement abîmés de façon irréparable et remplacés par d'autres neufs.

De la première pierre, de quatre lignes seulement, j'ai pu voir directement, dans le volume XII du CIL de 1888, les inscriptions latines de la « Gallia Narbonense » (inscriptions n°1893). Selon celui qui a signalé et révélé cette inscription, du premier siècle après J.C., il est probable qu'elle se trouve à Vienne, une ville voisine de Lyon, en France. Elle a été longtemps située près de la tour de l'église Saint-Pierre, puis transférée dans Le Musée local Cochard. La pierre reporte simplement qu'un certain « Mario Mansueto fit remettre à nouveau, à ses frais une horloge solaire. »

De la seconde pierre, trouvée à Sorrento, près de Naples, selon les « Notizie degli scavi», de l'année 1901 à page 363, je n'ai pas pu retrouver le texte dans CIL qui aurait dû être recensé dans Volume X du CIL, avec les *Inscriptiones Bruttiorum, Lucaniae, Campaniae, Siciliae, Sardiniae Latinae,* édité en 1883.

Dans ce volume et dans ses indices analytiques, très précis et détaillés, existent seulement deux inscriptions avec le mot « *horologium* », une à Pozzuoli et l'autre à Alatri. Le motif de l'absence de la pierre de Sorrento se trouve probablement dans le fait que la même pierre a été découverte, comme cela a été dit ci-dessus, dans des excavations précédant 1901, à l'époque suivante donc, à l'impression du volume X du CIL.

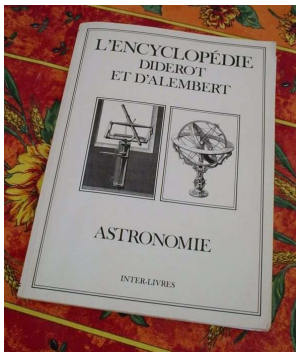
Le texte, plus articulé que celui de la première pierre, rapporte qu'au temps de Tito, empereur romain, fils de Vespasien de la famille des Flavi, qui régna de 79 à 81 DC, un important magistrat local « restaura une horloge solaire avec ses ornements détruits par un tremblement de terre ». Il s'agit probablement du grand tremblement de terre de 62 DC ou d'un de ceux des années successives qui intéressèrent toute l'aire du golfe de Naples, causant de graves dommages aussi à Pompei, avant la désastreuse éruption du Vésuve, en 79 DC, qui la détruisit. D'autres pierres romaine de l'époque rappellent les restaurations et reconstructions après les tremblements de terre touchant les édifices de la zone, comme le théâtre de Nocera, un monument non précisé de Naples et le temple du Génie de la Colonia à Nola.

****

Boussole solaire universelle

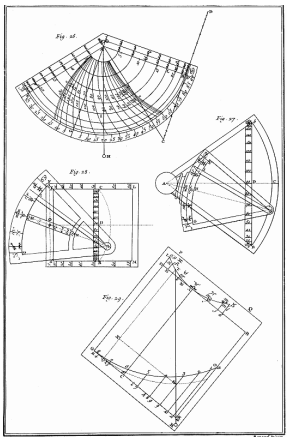
Par Yvon massé

C'est un voyage gnomonique au siècle des lumières que je vous propose. Nous en reviendrons avec un instrument original qui nous permettra de nous orienter au soleil quelque soit notre position sur terre.

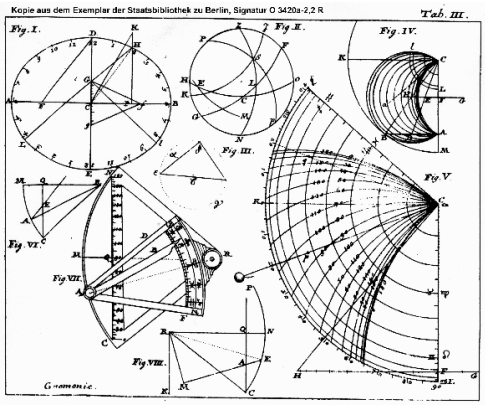


Ouvrons donc cette magnifique reproduction d'un échantillon des planches de l'Encyclopédie Diderot et d'Alembert qui comporte 17 volumes de texte et 11 volumes de planche. Ce prestigieux monument éditorial du siècle des lumières a demandé plus de 20 ans de travail (de 1751 à 1772). Il a été complété quelques années plus tard par le Supplément (4 volumes de texte et 1 volume de planche) publiés de 1776 à 1777.

A la rubrique gnomonique nous pourront admirer ces magnifiques figures d'instruments peu commentés de nos jours et dont J. Parès dit qu'ils n'ont vraisemblablement jamais dépassé le stade du prototype. Les articles correspondant sont signés Jean François de Castillon. Ils font référence ça et là à "M. Lambert de l'accadémie royale des sciences & belles lettres de Berlin".



En effet, leur contenu provient essentiellement d'un ouvrage allemand de J. H. Lambert: Beyträge zum Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung (mémoire pour servir à l'usage et à l'application des mathématiques), volume 2 et 3, publiés à Berlin respectivement en 1770 et 1772.



Le nom de Lambert nous est familier, nous connaissons le cadran de Foster- Lambert et les cercles de Lambert mais que savons-nous de ce personnage?

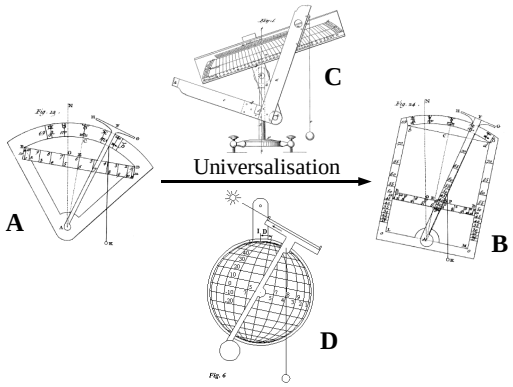
Johann Heinrich (Jean Henri) Lambert est un savant allemand contrairement à ce que pourrait laisser croire son nom qui est bien d'origine française. Ses aïeux ont fait partie des quelques 200 000 à 300 000 personnes qui se sont exilés de France suite à la révocation de l'édit de Nantes par Louis XIV en 1685.J. H. Lambert est né en 1728 à Mulhouse qui faisait alors partie de la Suisse. Il est mort en 1777 vraisemblablement d'une tuberculose.

Il a appris le Français pour publier dans cette langue. En Europe à cette époque, le français était la langue de l'érudition. Les temps changent...

Parfait autodidacte, c'est le savant type du siècle des lumière, il a touché à tout:

- Astronomie: un théorème porte son nom
- Mathématique: démonstration de l'irrationalité de π, une série porte son nom
- Photométrie: on parle de source lambertienne, deux unités de luminance portent son nom
- Cartographie: la projection officielle pour l'établissement des cartes de France métropolitaine depuis 2000 est la projection Lambert93
- Philosophie

Pour la petite histoire, lors de mes recherches, j'ai pu consulter le 3ème volume de Beyträge zum Gebrauche der Mathematik à la bibliothèque de ... l'INED (Institut National des Etudes Démographiques). En effet, J. H. Lambert a été le fondateur de la statistique démographique.

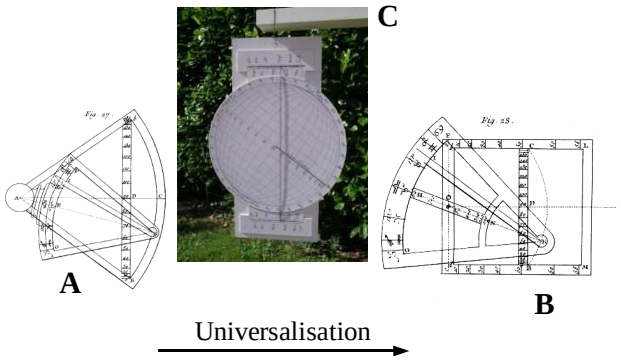


A l'article CADRAN du Supplément on trouve la description de ce cadran de hauteur (A) qui est de l'invention de J. H. Lambert avec une adaptation (B) pour le faire fonctionner sous différentes latitude.

J. H. Lambert n'a toutefois pas imaginé une autre forme possible d'universalisation (C) qui n'a pas échappé à Michael Eble. Ce dernier breveta cette forme en 1863 sous le nom d'Horoscope.

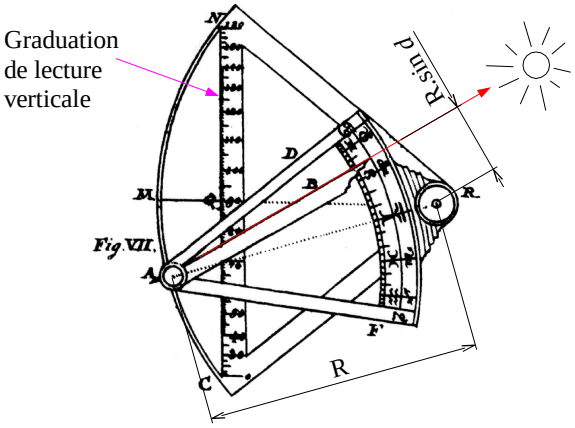
Dans Cadran-Info n° 2 sous le titre "De l'astrolabe de Roias à quatre cadrans universels de hauteur" vous trouverez ce cadran universel (D) de la même famille que l'Horoscope de M. Eble.

A l'article AZIMUT du Supplément on trouve un autre instrument (A) imaginé aussi par J. H. Lambert et qui donne l'azimut du soleil en fonction de sa hauteur. Ici encore, une adaptation (B) pour rendre l'instrument universel est proposée et une place est laissée libre pour une nouvelle variante (C).



En regardant de plus près l'instrument initial, notons qu'il est constitué:

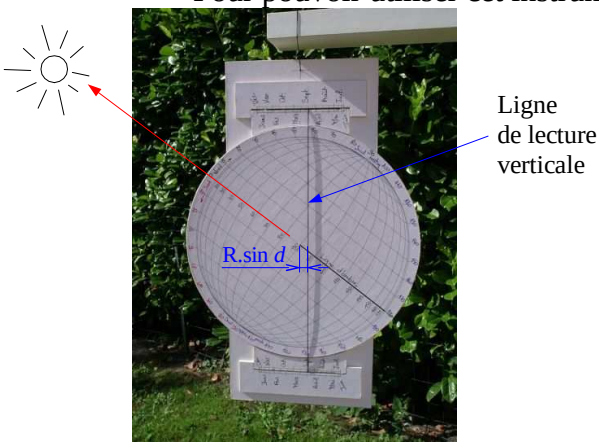
- D'une échelle de lecture verticale et distante du centre de l'instrument de la valeur R.sin ϕ
- D'un système de visée qui doit être réglé en fonction de la déclinaison du soleil de telle façon que sa distance au centre de l'instrument soit de R.sin *d*



La lecture de l'azimut sur l'échelle se fait au niveau de l'axe de visée. La graduation suit une loi en cosinus.

Pour plus de précision sur la justification de cet instrument, je vous renvoie à une série de 3 articles intitulés "De la résolution du triangle sphérique de position par l'analemme à différents cadrans de hauteurs" et qui paraîtront dans les prochains bulletins de la CCSQ.

Pour pouvoir utiliser cet instrument sous toutes les latitudes on peut tracer les différentes échelles d'azimut sur un disque et relier les graduations de même azimut par des ellipses. La nécessité d'obtenir facilement la verticale, la simplification du système de réglage de la déclinaison et le besoin de ne pas masquer la table de lecture ont amené à utiliser les différentes échelles de graduation comme axe de visée et, par conséquent, de régler la déclinaison par une ligne de lecture verticale. L'azimut du soleil se lit à l'intersection de cette ligne et de la latitude du lieu d'observation.



Ensuite on peut mettre l'instrument à l'horizontale (figure 1), l'orienter au soleil et reporter l'azimut trouvé sur la graduation de latitude pour indiquer le sud en tenant compte du moment de la journée: matin ou après-midi.

Cet instrument, à l'image des astrolabes, (figure 2) peut aussi servir à matérialiser certaines configurations, notamment la rétrogradation de l'ombre. Cette singularité se produit à une latitude inférieure et de même signe que la déclinaison du soleil.

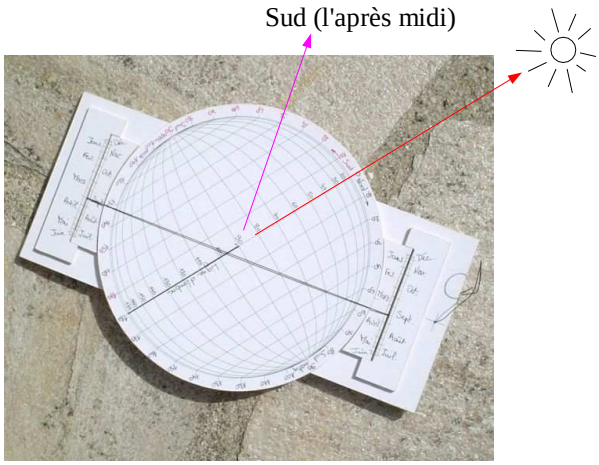


Fig 1

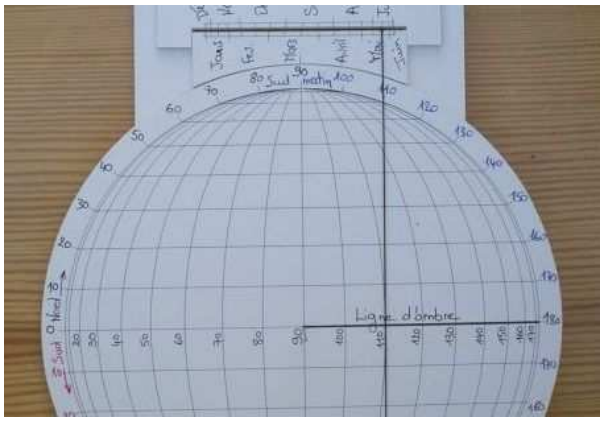
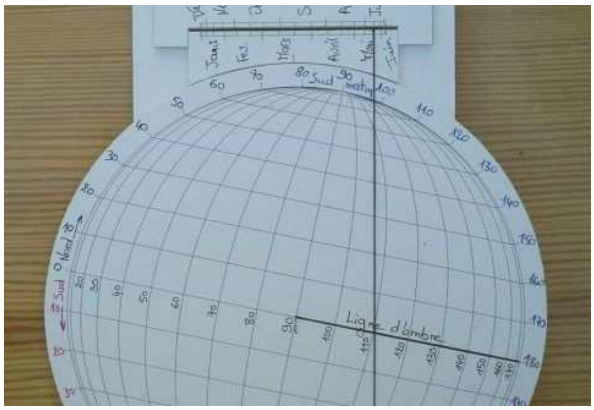
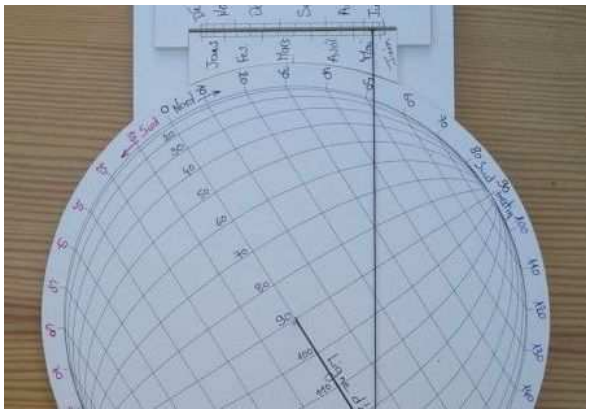


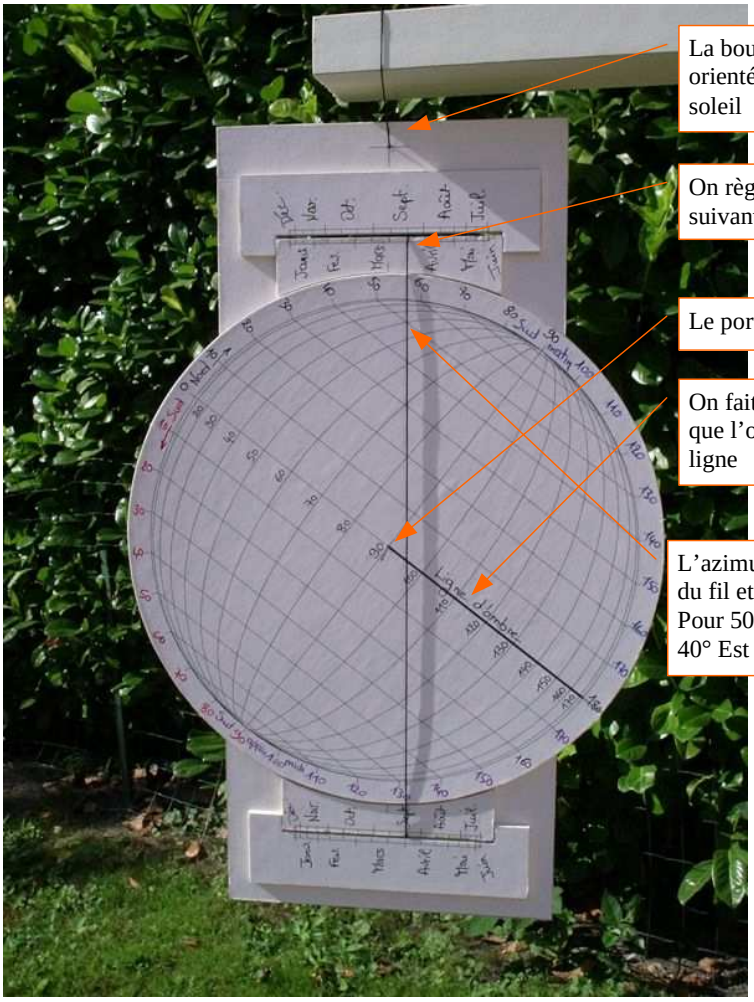
Fig 2

Pour une déclinaison du soleil de 20°, imaginons qu'on se situe sur le 10° parrallèle et que le soleil se lève.

Le soleil monte et se rapproche du sud, son azimut diminue. Mais quand il monte encore il retourne vers le nord, son azimut augmente (figures ci-dessous).







****

Cette "Reverso triptyque" sera éditée à 75 exemplaires et coûtera…450 000 francs suisses

Le premier cadran ex-prime le temps civil. Au dos, le second cadran met en avant le temps sidéral. L'heure devient céleste avec une carte du ciel et un calendrier zodiacal, l'indication du lever et du coucher du soleil et une équation du temps.

Enfin, dans le fond du boîtier de la montre (le brancard), il y a un troisième cadran qui donne le temps perpétuel, les phases de Lune et la date rétrograde…

Gnomonique d'Athanasius Kircher

Par Nicola Severino, traduction de V. Falcone

Entre 1993 et 1994, j'eus la chance de découvrir sur le Musée Astronomique et Copernicien de Monteporzio Catone (Rome). Une visite fugace et fortuite, de passage, au retour d'une promenade aux Castelli Romani. C'était l'été et il faisait très chaud. A l'observatoire il y avait très peu de monde parmi lequel, par chance, le conservateur et curateur de ce même Musée, qui me raconta la brève histoire de deux tables d'ardoise d'intérêt gnomonique qu'il attribuait au jésuite Athanasius Kircher.

Les deux tables portent la date de 1636 et représentent le seul monument historique sur la gnomonique de Kircher qui nous soit parvenu. Après de nombreuses expertises, je trouvais le moyen de lui démontrer qu'il s'agissait d'une expérimentation d'études gnomoniques publiées ensuite dans l'oeuvre monumentale "ARS MAGNA LUCIS ET UMBRAE" dont le contenu gnomonique est resté à demi inconnu et mal divulgué même dans le secteur spécialisé jusqu'à la publication de mon livre "GNOMONIQUE KIRCHERIENNE". L'argument est trop vaste pour être traité dans un espace web[1], mais certains liens pourront aider le lecteur à se faire une idée soit du contenu de la gnomonique kirchérienne, soit des circonstances fortuites grâce auxquelles j'ai pu découvrir et divulguer ce monde fascinant qui reste un chapitre à part, artistiquement et techniquement parlant, de l'histoire de la gnomonique.

LA GNOMONIQUE DE KIRCHER

Introduction à la « Gnomonique kirchérienne »
de Nicola Severino

Brève biographie de A. Kircher

Image issue du site:
www.jesuites.com/histoire/kircher

Il est cité dans n'importe quelle encyclopédie comme érudit allemand né à Geysen, un petit bourg près de Fulda, le 2 mai 1602, et mort à Rome le 27 novembre 1680.

A Würzburg, il enseignait à peu près tout : philosophie, mathématiques et langues orientales. Mais en Allemagne sévissait la guerre des Trente Ans, et à cause des victoires des Suédois il se trouva contraint de demander asile à la France, dans la célèbre Avignon (Avenione), puis à Vienne. Depuis 1618, il avait alors seize ans, il faisait partie de la Compagnie de Jésus où il reçut la charge importante de professeur de mathématiques dans le prestigieux Collège Romain. Cela ne dura pas longtemps, paraît-il, car, passionné de recherches, il obtint la permission de s'y consacrer. Cependant on peut lire ailleurs : *Esprit véritablement encyclopédique sinon*

[1] http://www.nicolaseverino.it/la_gnomonica_di_athanasius_kirch.htm et sur le site WWW.MERIDIANE.BIZ vous pouvez disposer des images les plus belles des TABLES SCIATERIQUES DE KIRCHER conservées à l' OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE ET COPERNICIEN DE MONTEPORZIO CATONE.

universel, puisque, même si à coté de l'ampleur de ses connaissances l'esprit critique et la faculté de synthèse supérieure lui firent défaut, il sut contribuer au progrès des disciplines auxquelles il se consacra…

Les seules reproches ne concernent donc que son esprit critique : chez Kircher, l'ampleur et la finesse de son érudition ne furent pas toujours conjuguées avec la solidité de son esprit critique. C'est probablement la raison pour laquelle Kircher ne fut pas un savant à l'égal de Galilée, au détriment de sa propre popularité. Il est pourtant unanimement reconnu pour avoir contribué au progrès de quasiment toutes les disciplines du savoir humain, et l'une d'entre elles est justement la gnomonique.

Vu sa vaste érudition, il ne faut pas être surpris si la gnomonique kirchérienne est truffée d'éléments astrologiques et ésotériques, fruit de sa tentative de synthèse entre différentes cultures telles que l'égyptienne, la grecque, la latine et l'arabe. Même si sa fantaisie a parfois fait naître des recherches et des conclusions erronées, beaucoup de ses intuitions se sont révélées véritablement géniales.

Ses travaux sur la langue copte : (*Prodromus Coptus*, Roma, (1636*), Lingua aegyptiaca restituta*, Roma (1643*), Rituale ecclesiae Aegyptiaca* (1647*)* et *Oedipus Aegyptiacus*, Roma (1652) ont été fondamentaux pour les études de Champollion dans le déchiffrage des hiéroglyphes.

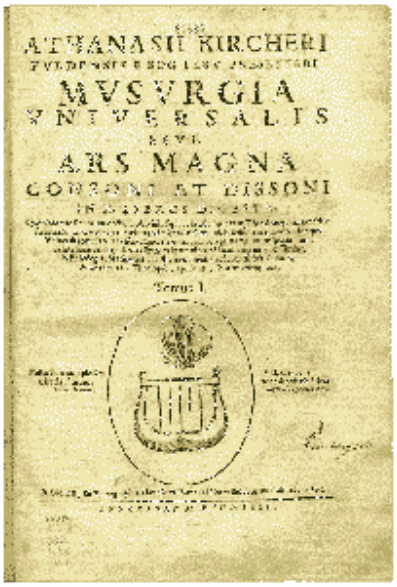
Il a écrit sur la théologie, la philosophie, les mathématiques, la gnomonique, l'astronomie, les sciences naturelles, la médecine, la musique, la linguistique, l'archéologie, la numérologie etc. C'est à lui que revient le mérite d'avoir tracé la première esquisse cartographique des courants marins, d'avoir attiré l'attention sur les phénomènes actuellement appelés *karstiques* et d'avoir donné le jour à des travaux de nature *géographico-historique* très utiles, telle que *Latium* (1671). Son traité sur la civilisation chinoise, publié dans *China monumentis qua sacra qua profanis …illustrata* (Roma 1667*)* est encore de nos jours une source de renseignements indispensables pour les sinologues. Il est à l'origine d'appareils futuristes, dont quelques uns ont été réalisés, comme la machine à écrire. En outre, il organisa à Rome une collection d'antiquités classiques, chrétiennes, américaines, orientales, etc., parmi lesquelles beaucoup de cadrans solaires. Cette collection allait constituer le Musée Kirchérien, aujourd'hui dispersé entre divers instituts.

Parmi les œuvres de Kircher rappelons : *Ars Magnesia* (1631). *Specula Melitensis encyclica* (1638), *Magnes, de arte magnetica* (1641) dans laquelle une grande partie est d'intérêt gnomonique, *Ars magna Lucis et Umbrae* (1646*), Rituale Ecclesiae aegyptiacae* (*1647), Musurgia Universalis* (1650*), Itinerarum Extaticum (*1655*), Iter Extaticum secundum (*1657*), Scrutinium phisico-medicum contagiosae luis* (1658,*) Polygraphia* (1663*), Mundus Subteraneus* (1665*), Magneticum naturae regnum* (1665*), Organum mathematicum* (1668*), Phonurgia nova (*1673*).*

Lieux communs sur l'Ars Magna

Les cadrans solaires ont la dimension du ciel. C'est une des phrases mythiques de mon ami Lucio Maria Morra de Fossano, qui parvient toujours mieux que quiconque à saisir leurs significations cosmiques les plus cachées. Et rien mieux que la gnomonique kirchérienne ne peut démontrer dans la pratique la vérité de cette pensée. En effet, pour moi il est évident que les cadrans solaires habituels fournissent des indications relatives aux heures astronomiques, italiques, babyloniques, temporaires, aux solstices et aux équinoxes. Quelques rares cadrans montrent les heures dites planétaires, qui ne sont autres que les heures temporaires conjuguées avec une table dite des *Régents*, qui indique la prédominance de chaque planète à chaque heure de chaque jour de la semaine.

Celui qui n'a jamais vu les horloges de Kircher ne pourra jamais imaginer les indications qu'elles peuvent offrir grâce à la simple ombre d'un style sur un plan horizontal.
En somme, il me semble que l'une de ses inventions gnomoniques la plus géniale a été justement d'exploiter le plan d'un cadran horizontal avec la simple ombre d'un style, pour en obtenir les informations les plus diverses.



Comme on le sait, la majeure partie des recherches gnomoniques de Kircher furent réunies dans son œuvre monumentale *Ars Magna Lucis et Umbrae* qui, du point de vue gnomonique, n'a peut-être jamais été explorée entièrement jusqu'à nos jours, du moins si l'on s'en réfère aux auteurs modernes. A ce propos, je voudrais citer le cas le plus significatif présenté par le renommé René R.J. Rohr, lequel, dans l'édition italienne de son œuvre majeure : ''*Les Cadrans Solaires*'', traduite et éditée par Ulisse Edizioni en 1988, rapporte quelques informations à mon avis inexactes, qui pourraient prêter à confusion et amoindrir, auprès du lecteur, l'appréciable œuvre du jésuite.

A la page 160 de l'édition italienne, il est littéralement écrit : « Le jésuite allemand Athanase Kircher…(…) fit paraître à Rome un gros volume de quelques 600 pages en latin, dont le titre s'étend sur plusieurs lignes et commence par les mots *Ars Magna Lucis et Umbrae*…(…)… où on y trouve réuni à peu près tout ce qui se rapporte à la gnomonique de l'époque. Il est notamment question d'un cadran monumental de berger, mais à colonne fixe…

De ces quelques lignes, il en résulte clairement que Rohr n'a jamais consulté l'œuvre originale de Kircher, à savoir la première édition à laquelle il fait allusion, celle de 1646, mise sous presse à Rome. En effet, les pages ne sont pas au nombre de 600, mais un peu supérieures à 1000; de plus, le titre ne couvre pas plusieurs lignes : il s'agit bien *Ars Magna Lucis et Umbrae*, mais ce qui suit n'est que le résumé synthétique du contenu. On y trouve pas exposée toute la gnomonique de l'époque, mais presque exclusivement celle inventée et expérimentée par lui-même.

En effet, la gnomonique de l'époque est celle développée par Clavio, Pini, Muzio, Munster et d'autres, dont les publications ont toutes beaucoup de points communs; alors que dans cette œuvre, c'est exactement le contraire. Kircher traite, en outre, de manière particulière le cadran du berger (terme d'ailleurs ignoré par le jésuite !). Il décrit soigneusement le cylindre horaire en trois ou quatre pages, mais ce n'est certainement pas le sujet principal de l'œuvre. Par la suite Rohr affirme que dans *Ars Magna* on trouve l'origine du terme *méridienne à chapeau filtrant.* Ceci aussi apparaît comme une affirmation gratuite et inexacte. Kircher décrit de cette façon le gnomon à chapeau filtrant cité par Rohr : *Stylus in modum pectinis dentatus,*[2] donc, (en excluant qu'on puisse traduire la phrase d'une autre façon), il n'y a pas de chapeaux filtrants.

A la page 193 (toujours de l'édition italienne), on peut lire : ''Tout le long de 68 pages il est question de cadrans solaires à réflexion, qui utilisent le rayon solaire renvoyé par une petit miroir fixe, installé sur le rebord d'une fenêtre faisant face au Sud, pour projeter sur les murs et les plafonds, à l'intérieur, les indications les plus disparates…'' . Il résulte par contre que Kircher parle de cadrans anacampiques (ou catoptriques, c'est à dire à réflexion) sur 90 pages environ, en incluant toute la théorie de la réflexion des rayons lumineux au

[2] Note du traducteur : Style denté à la façon d'un peigne

moyen de miroirs ou de systèmes de miroirs dans toutes les orientations possibles. De ces 90 pages, 35 sont dédiées spécifiquement aux cadrans à réflexion, même portatifs, alors qu'il ne décrit pas ceux tracés sur le plafond des pièces. Il fait uniquement allusion à l'œuvre réalisée par Maignan au Palais Spada de Rome.

Pour conclure, sur des lieux communs concernant *l'Ars Magna*, j'aimerais citer un autre fait curieux : dans toutes les encyclopédies et biographies modernes de Kircher, l'œuvre est décrite considérée comme un '' *livre de physique*'' , sans même nommer la gnomonique, qui occupe pourtant plus de 600 pages!

Ceci étant dit, il va de soi que l'image de Kircher a connu des fortunes diverses quant aux critiques des savants de ces derniers trois siècles, mais aux yeux des gnomonistes cette fausse image devrait, au contraire, démontrer avec quel peu de conscience on s'est exprimé sur l'image d'un homme et de son immense production culturelle. Le but principal de cet article, et mieux encore de celui de mon livre *Gnomonica Kircheriana*, est donc d'orienter le lecteur vers une plus juste réévaluation du majestueux travail gnomonique (du moins au point de vue artistique) auquel Kircher a dédié les meilleures années de sa vie.

Gnomonique kirchérienne

La gnomonique de Kircher exposée dans *Ars Magna* est le résultat de dix ans d'expériences et de recherches effectuées dans la période comprise entre 1635 et 1645. Mais aujourd'hui nous savons que, en 1636, il avait déjà réalisé les tables sciathériques[3], qu'il installa sur la terrasse du Collège Romain; ce qui nous fait donc supposer qu'il avait développé ses théories depuis quelque temps déjà.

Un rapide coup d'œil sur l'*Ars Magna* nous fait vite comprendre qu'il avait une idée précise de la gnomonique et, compte tenu de sa personnalité éclectique, il ne pouvait traiter les cadrans solaires de la même manière que tous les gnomonistes de son temps. Ainsi, il en bouleversa les bases artistiques et même leur signification, sans pour autant perturber aussi peu que ce soit les procédés techniques classiques, en proposant avec une méthode tout aussi simple que géniale une synthèse globale entre gnomonique, géométrie, astronomie, astrologie et astroiatrie[4], non seulement jamais tentée par qui que ce soit, mais pas même imaginée par quiconque en ce monde!

Une grande quantité d'informations était ainsi obtenue en utilisant exclusivement un plan horizontal et un style-gnomon grâce aux célèbres tables sciathériques de Kircher, conservées au Musée Astronomique et Copernicien de l'Observatoire de Monte Porzio Catone. Alors que le cadran solaire est destiné à fournir uniquement l'heure solaire et le calendrier, ces tables représentent une vraie machine '' *sciathérique* '' (le terme dérive du grecque et fait allusion à un véritable mécanisme d'horlogerie qui '' *capture les ombres* '' au moyen d'un style), dans lequel au moyen de l'ombre du style produite par le soleil il est possible d'obtenir beaucoup plus d'informations qu'il n'y parait. En effet, Kircher pensa utiliser l'espace compris entre les deux arcs diurnes, c'est à dire les deux courbes que l'ombre du style suit au cours des solstices) comme calendrier gnomonique, en le divisant en plusieurs secteurs chacun desquels pouvait montrer des données différentes suivant le style en fonction duquel l'horloge avait été prévue.

[3] sciathérique : qui montre l'heure par le moyen d'une ombre, contrairement au style à œilleton.

[4] astroiatrie : branche de l'astrologie qui traite des soins du corps, du point de vu medico-naturiste, soumis à l'influence des phénomènes célestes. La médecine conjointe à l 'astrologie.

Les tables sciathériques de Monteporzio Catone

Dans le Musée Astronomique et Copernicien de l'Observatoire Astronomique de Monteporzio Catone sont conservées quatre tables en ardoise, que j'ai pu regarder de près grâce à la gentillesse du Doct. Giuseppe Monaco, Conservateur du Musée. Ces tables représentent une sorte d'étude expérimentale de tout ce que sera publié ensuite dans le livre VI, c'est-à-dire toute la gnomonique physico-astrologique que nous avons vue, et d' autres choses encore.

On peut dire cela en se basant sur le fait que les tables portent la date à laquelle elles furent construites, en 1636, c'est-à-dire dix ans avant la publications de *Ars Magna*, qu'elles furent probablement utilisées aussi dans un but didactique, pour l' enseignement de l'astronomie, des mathématiques et de la gnomonique ; enseignement que Kircher faisait régulièrement pour les élèves du Collège Romain sur la terrasse duquel ces tables étaient installées.

Chaque table a une surface proche d'un mètre carré et une épaisseur de 3 cm. environ. Malgré le manque de la totalité des gnomons, leurs trous de fixations sont bien visibles et il est possible de calculer leur hauteur, relative à des horloges de différentes dimensions, qui va de 3,5 à 9 cm. En outre, de splendides décorations à l'huile des signes zodiacaux et des figures humaines sont présentes. Les horloges sont celle dont je viens de parler, donc on se limitera à observer quelques différences entre la composition des tables et les dessins originaux publiés dans le livre.

La table intitulée Sciathericon totius motus primi mobilis (fig.1) est semblable au *Sciathericon Hemerologium Ecclesiasticum* et la subdivision du zodiaque gnomonique reproduit 11 espèces, au lieu de 10 comme dans le livre : le nom des mois, la déclinaison du Soleil ; la durée du crépuscule, les éphémérides des Saints, l'heure du coucher du Soleil, les noms des hommes célèbres de la Compagnie de Jésus (*qui est un espace ajouté*) à travers la notation de la ligne diurne correspondante à la déclinaison du Soleil des jours qui leur sont dédiés, la durée de la nuit, les signes du zodiaque et les degrés de 1 à 30 à l'intérieur de chaque signe.

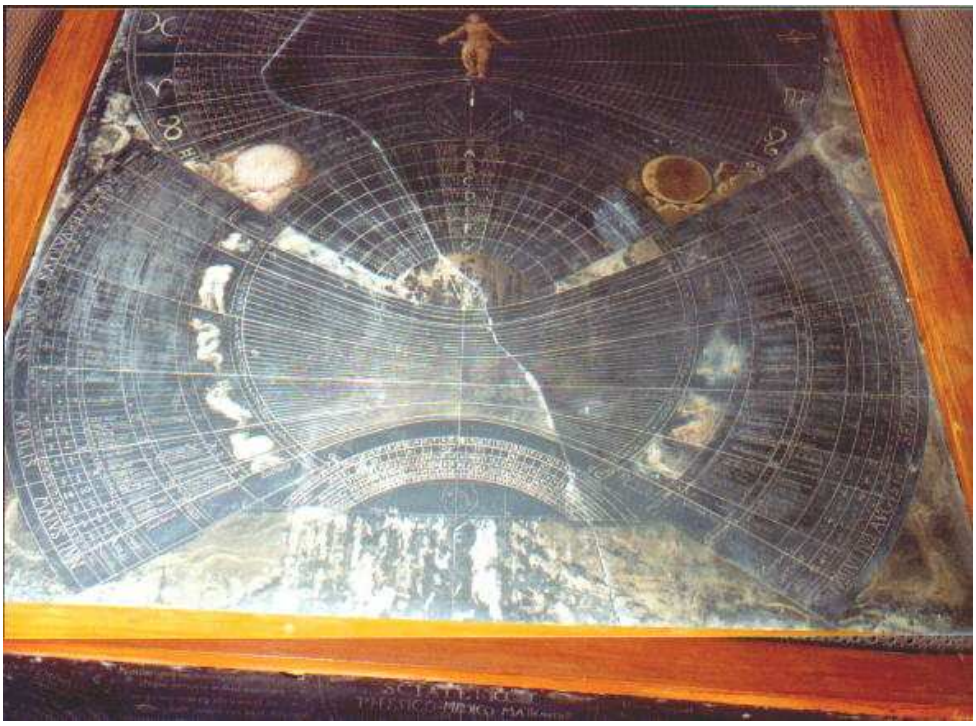


Figure 1

Au-dessus de cette horloge il y en a une autre, basée sur le même fonctionnement, qui rapporte les différents aspects de la Lune et les indications calendaires sur le zodiaque gnomonique, de la conjonction, du sextile, du quartile, du trine, de l'opposition et des épactes courantes de 1 à 29.

A la fin, il y à deux secteurs circulaires qui rapportent les nombres de base du calendrier : la lettre dominicale, le nombre d'or, le cycle solaire et l'indiction.

La deuxième table, intitulée Sciathericon duodecim quavis hora ascendentium et descendentium (fig.2), réunit dans une seule horloge les deux schémas publiés dans le livre.

Figure 2

On note la disposition différente des Cases Célestes qui, dans la table, sont rapportées séparément sous le tracé des Ascendants et des Descendants. Dans la partie supérieure figure le Trigone des Signes, bien connus des astrologues, alors que dans la bande circulaire sont rapportées 24 horloges solaires à heures astronomiques, dont chacune indique l'heure relative à un méridien de la Terre déterminé, dans le but d'obtenir des indications relatives au déphasage horaire entre les différentes nations du monde. Dans les angles inférieurs on y voit des catalogues d'étoiles et de constellations avec leur symbolisme relatif.

La troisième table est la Planetografia Sciaterica (fig.3). Outre les sept horloges solaires relatives aux sept planètes, avec les éphémérides qui vont de 1636 à 1646, et l'horloge pour les éclipses du Soleil et de la Lune, rapporte aussi les horloges solaires à heures temporaires et Planétaires, une pour chaque jour de la semaine ; puis se trouve figuré un schéma des éclipses, le système *ticonique* adopté par les Jésuites, l'excentricité des orbites célestes et un schéma astrologique de la domination des planètes sur les métaux, sur les pierres et sur les animaux.

On peut remarquer que l'horloge relative à Saturne comporte une division du zodiaque égales à 60 espaces au lieu de 30, contrairement à ce qui est écrit dans le livre. Une telle subdivision a été choisie afin de d'obtenir les éphémérides de la planète pour une période qui va de 1636 à 1665.

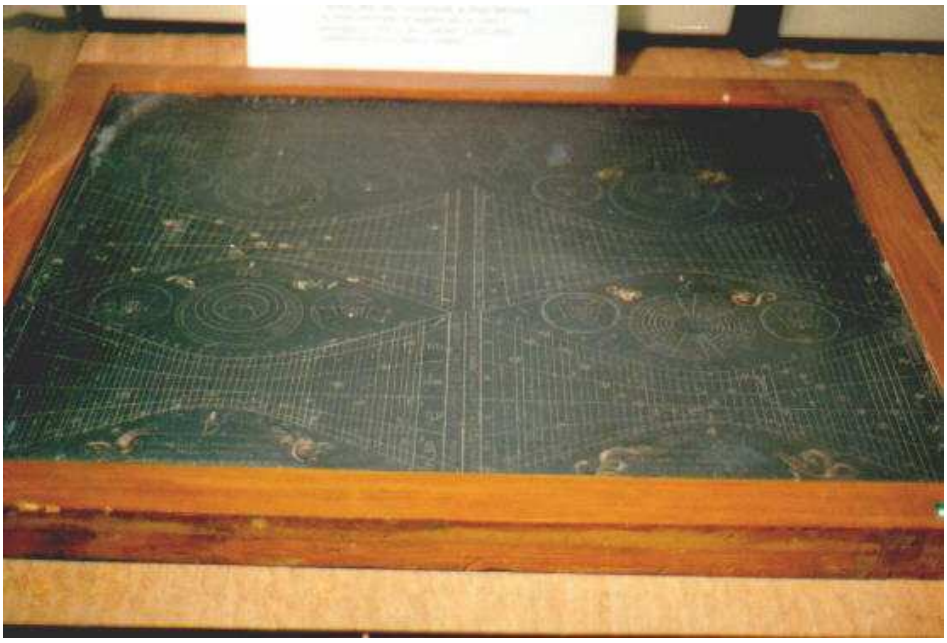


Figure 3

On voit aussi la parfaite correspondance entre la table et le dessin du livre, des symboles zodiacaux dans lesquels est visible la planète. Par exemple, à proximité de l'an 1643 on note dans les deux figures le symbole du Bélier, juste sous la ligne équinoxiale. De la même manière, on voit la correspondance entre les symboles rapportés sur les horloges relatives à Jupiter et à Mars. Cela démontre aussi que les figures du livre ont été réalisées avec beaucoup de soin.

La quatrième table (fig.4) est dédiée à la médecine céleste et elle est intitulée Sciathericon physico-medico-matematico. On y voit une grande horloge constituée du zodiaque gnomonique et du tracé des heures temporaires, au centre desquelles il y a une figure humaine. Et c'est l'horloge, dite Sciathericon Botanologicum, que nous avons déjà vue. Ensuite se trouve rapportée une Sciathericum geometricum qui fait partie de la Cosmométrie Gnomonique. Il s'agit d'un schéma pour les ombres droites et renversées, relatives à différents gnomons, qui sert à savoir l'heure, mais aussi à calculer la hauteur des objets. On y trouve rapportée les cercles verticaux et horizontaux, alors que dans les angles inférieurs il y a deux horloges solaires : une à heures planétaires et l'autre (à gauche) est identique à la Sciathericon Iatro-Georgico-Oecumenicum déjà vue.

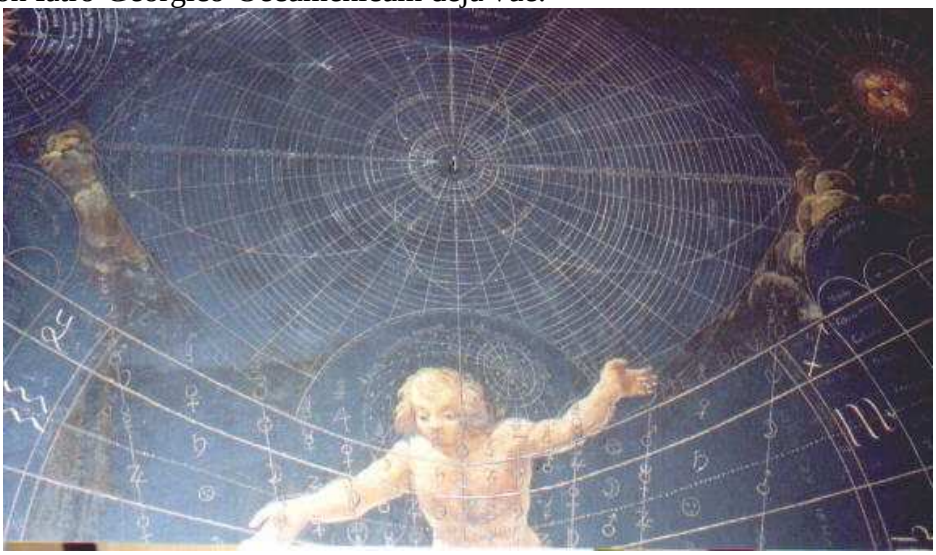
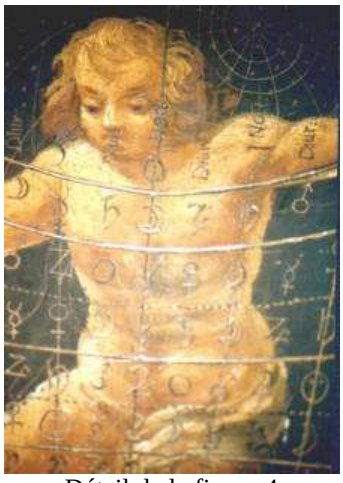


Figure 4



Détail de la figure 4

Comme on le voit, les quatre tables (voir les diverses figures et les détails) du Musée de Porzio Catone contiennent tous les éléments principaux de la gnomonique physico-astrologique de Kircher. Le fait qu'elles eussent été réalisées dix ans avant la publication du livre donne à penser que Kircher eût conçu telles méthodologies gnomoniques vraiment si précieuses bien avant, peut-être pendant la deuxième décennie du XXVII siècle. En outre, les tables, vraiment précieuses et, après tout, uniques au monde, constituent un solide témoignage que, au collège Romain, lorsque Kircher y enseignait, la gnomonique était une discipline florissante.

Je crois que pour les gnomonistes modernes, la fermeture du Musée Kirchérien et la dispersion de ses pièces entre divers autres musées (mais il parait que la plus grande partie du matériel soit actuellement conservé dans des dizaines de caisses dans les souterrains de l'Observatoire de Monte Mario, à Rome), constitue une grande perte pour la gnomonique. En effet, dans le chapitre VII, Kircher décrit une horloge géographique qui montre la différence entre les heures des principaux sièges de la Compagnie de Jésus à travers le monde.

Lui-même écrit qu'une telle horloge, que tout le monde pouvait admirer dans le musée, qui offrait un spectacle visuel jamais vu, puisqu'il atteignait trois mètres de dimensions et qu'il était disposé en forme de croix. Filippo Bonani, dans son introduction au catalogue de 1702, rappelle que le musée kirchérien était riche d'horloges solaires à lumière directe et à réflexion. Sûrement que beaucoup de modèles qu'on a vu dans ce livre y étaient conservés.

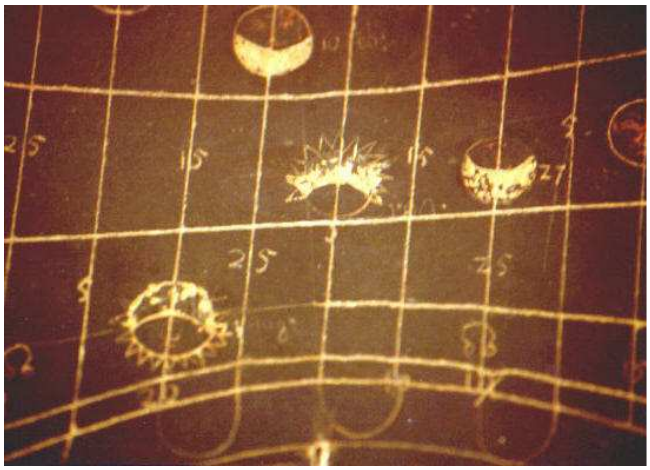
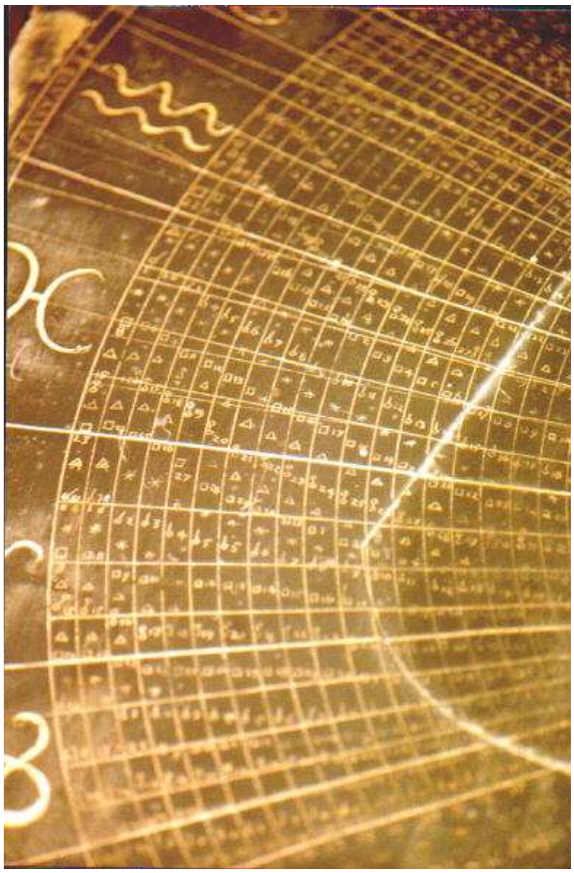


Figure 5: Détail de la Planétographie (table 4)



Détail de la Planétographie (Table 3)

******

Cadrans d'Allemagne

Par Yves Opizzo

Quelques cadrans en cours de réalisation ou déjà en place présentés lors de la commission d'octobre.

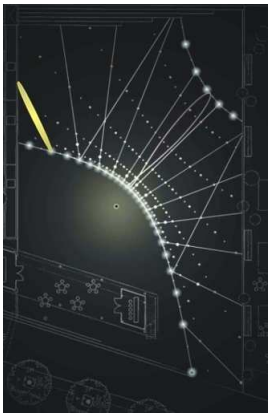
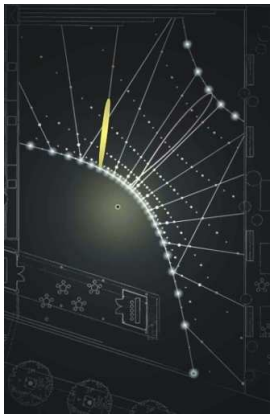
A Aschaffenburg, cadran solaire au sol, place du théâtre:

▲ Style de 6 mètres, avec projecteur et miroir incorporés
Christian Tobin, Sculpteur

La nuit tombe, le soleil disparaît et pourtant le cadran solaire continue à vivre. En effet, la nuit, le gnomon se transforme en projecteur. Il utilise la table graduéenen Temps Vrai Local du cadran pour indiquer le Temps Légal par un trait de lumière, grâce à un miroir piloté par ordinateur. Des spots lumineux inclus dans les deux lignes des solstices permettent de garder l'idée du graphisme, même de nuit.

▲ Ombre du style à oeilleton caché, précision de lecture de l´ordre de 10 secondes

Indications des heures "la nuit":

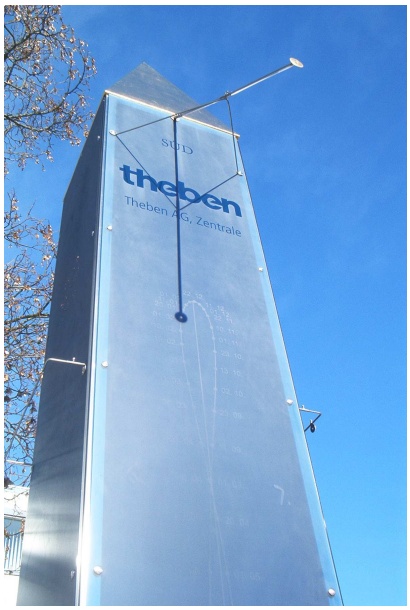
A Münster (NRW):

Devant le lycée Freiherr von Stein, un cadran au sol est en cours de traçage. Il fera10 mètres de diamètre avec un style de 12 mètres de long, hélas non encore installé ici. Précision prévue, autour de 5 minutes de Temps Légal

◀ Lignes au sol, et amorce du style (Jean-Michel Ansel,, Ruprecht Strobel, Ullrich Roesner, Yves Opizzo)

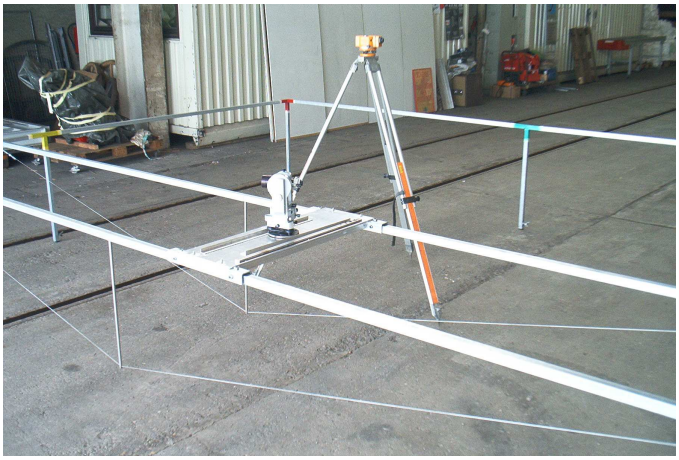
A Haigerloch:

Devant l´entreprise Thebenwerk à Haigerloch, mise en place d'un obélisque. Il a obtenu le Premier prix catégorie professionnels au concours "Le Ombre del tempo" 2005, Bologna, Italie



Secret de traçage:

Pour tracer un cadran quelconque de grandes dimensions (pratiqement sans limite): montage d'un théodolite sur deux glissière, permettant de projeter les points (rayon laser) sur la surface retenue.



****

Gnomonique bifilaire

Par Frédérick W.Sawyer, traduction de Dominique Collin

La gnomonique bifilaire est l'étude d'un tout nouveau type de cadran solaire du XXème siècle. Le cadran bifilaire a été inventé en 1922 par le professeur Hugo Michnik[1], un Oberlehrer au Kgl.Gymnasium à Beuthen, en Haute Silésie, en Allemagne de l'Est, maintenant Byton en Pologne.

Le cadran bifilaire a l'avantage de posséder des lignes horaires équiangulaires: toutes les lignes se coupent en un point et les angles entre les lignes horaires consécutives sont uniformément espacés de 15°. Les cadrans usuels, basés sur la projection gnomonique, ne montrent pas cette uniformité dans la disposition des lignes horaires. Cadran simple à construire, cette particularité de l'équiangulaire permet très facilement un ajustement journalier du plan du cadran pour une date et un lieu donné, l'ajustement demandé revient à une simple rotation du cadran d'un angle dont la valeur est proportionnelle à cette différence. Contrairement aux autres cadrans équiangulaires horizontaux[2], celui-ci ne nécessite pas de régler le gnomon tous les jours; bien sûr, dans le cas du cadran solaire bifilaire, il n'y a pas de gnomon à ajuster. Au lieu de l'habituelle projection de l'ombre d'un gnomon; le cadran utilise deux fils horizontaux (d'où le terme de "bifilaire") placés l'un au-dessus de l'autre à angle droit et à des distances appropriées au-dessus du plan du cadran. Bien que les fils n'aient pas de point d'intersection leurs ombres se coupent et c'est l'intersection de celles-ci qui indique l'heure.

L'intention de cet article est d'entrer dans les détails du traitement quelque peu condensé de la théorie de Michnik, permettant ainsi d'être plus accessible aux cadraniers modernes. En plus de la reproduction des résultats de Michnick et de la justification simplifiée de la construction, nous considérerons des cadras sur des plans arbitraires, une combinaison de cadrans qui indiqueront le temps lorsque le soleil est au-dessus de l'horizon et la méthode géométrique générale pour tracer les lignes horaires babyloniques, italiques et sidérales.

1 Construction

Dans le but de construire un cadran bifilaire pour une latitude nord, on commence par le cercle des lignes horaires équiangulaires : les heures sont marquées dans le sens des aiguilles d'une montre sur la circonférence du cercle à 15° d'intervalle ; à chaque degré correspond 4 minutes de temps. Supposons que les lignes perpendiculaires NQS et EQW (figure 1) sont dessinées sur un plan horizontal ; le cercle horaire de centre Q devra être placé sur ce plan et pourra tourner librement. La ligne SN représentera la ligne méridienne ; le sens de Q vers N le nord. Soit O un point sur QN tel que le segment QO soit de longueur unité. Plaçons horizontalement au-dessus de O un fil dans la direction est-ouest, à la distance $\tan\phi$, où ϕ est la latitude géographique du lieu où sera utilisé le cadran. Suspendons un second fil horizontalement au-dessus de O dans la direction nord-sud à une hauteur $\sec\phi$. Pour installer le cadran, plaçons-le sur un plan horizontal avec des fils dans les directions indiquées, en utilisant le nord géographique vrai. L'intersection des ombres des fils sur le plan du cadran marquera le temps vrai local. Alternativement, si la ligne horaire correspondant à l'instant du passage du soleil au méridien en un jour donnée est placé sur QN, alors le cadran sera en accord avec l'heure (de la montre) pour toute la journée.

Il y a plusieurs façons de déterminer la direction du nord vrai, la plus facile d'entre elles utilise le cadran lui-même avec une heure précise. Après rotation du plan du cadran pour indiquer le temps standard (ou d'été), tourner en bloc le cadran jusqu'à la bonne lecture de l'heure ; le cadran sera alors correctement orienté et il continuera à donner des lectures correctes pour toute l'année avec seulement des modifications mineures déjà mentionnées.

À midi local, l'instant de passage du soleil au méridien pour n'importe quel jour et lieu, doit être déterminé à partir de l'équation du temps (table disponible dans la plupart des almanacs). Pour déterminer le temps légal du midi local, l'entrée appropriée dans la table doit être ajoutée algébriquement au temps de base lequel est midi plus $4(\lambda - \lambda')$ minutes, ou λ est la longitude, exprimée en degrée, du lieu du cadran et λ' est la longitude du méridien de référence de la zone (fuseau) horaire du cadran. Pendant le temps d'été, bien sûr, une heure supplémentaire doit être ajoutée. Alternativement, le midi local peut être déterminé simplement comme la moyenne entre le temps local du lever et du coucher du soleil.
Pour un cadran au sud de l'équateur, les heures sont marquées en sens inverse des aiguilles d'une montre. Le point O devra être placé au sud de la ligne QS correspondant maintenant à la ligne de midi. Les hauteurs des fils au-dessus de O sont les mêmes comme ils doivent l'être pour le cadran correspondant à la latitude au-dessus de l'équateur[3].

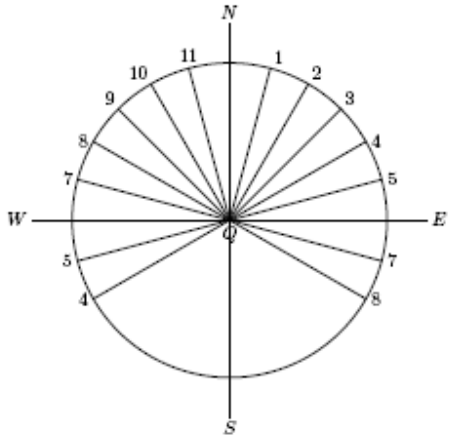


FIG. 1 –

2 justification

Supposons que les fils sur le cadran soient fixés avec une tige verticale de base le point O. Dans la figure 3, l'ombre de cette tige est OR ; les lignes UP (parallèle à QE) et RP (parallèle à QN) sont les ombres des fils, et P est alors l'intersection des ombres. Nous aurons besoin des égalités suivantes :

$$\cos h \cos A = \sin\phi \cos\delta \cos t - \cos\phi \sin\delta \tag{1}$$

$$\cos h \sin A = \cos\delta \sin t \tag{2}$$

$$\sin h = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos t \tag{3}$$

où t =angle horaire du soleil ; A =azimut du soleil ; h =hauteur du soleil ; δ=déclinaison du soleil.
Pour justifier la construction du cadran équiangulaire décrit ci-dessus, nous aurons besoin d'établir que l'angle w entre la ligne méridienne QN et la ligne horaire QP est égale à l'angle horaire t du soleil.

$$\overline{OU} = \tan\phi \cot h \qquad \overline{OR} = \sec\phi \cot h$$

$$\begin{aligned}
\tan w &= \frac{\overline{PV}}{\overline{QV}} = \frac{\overline{RT}}{1+\overline{OV}} \\
&= \frac{\sec\phi \cot h \sin A}{1+\tan\phi \cot h \cos A} \\
&= \frac{\cos h \sin A}{\cos\phi \sin h + \sin\phi \cos h \cos A} \\
&= \frac{\cos\delta \sin t}{\cos^2\phi \cos\delta \cos t + \sin^2\phi \cos\delta \cos t} \\
&= \tan t
\end{aligned}$$

Alors, $w = t$ et le cadran solaire bifilaire équiangulaire est démontré. Le cas est le même pour le cadran de l'hémisphère sud.

3 Rayon optimum

Un des inconvénients des cadrans solaires bifilaires est qu'ils n'indiquent pas les heures pour tout le temps que le soleil est au-dessus de l'horizon ; lorsque le soleil se lève ou se couche, la distance $\overline{QP}$ depuis le centre du point d'intersection des ombres devient plus grand que le rayon du cadran. En se référant à la figure 3, la distance $\overline{QP}$ est déterminée de la façon suivante :

$$\begin{aligned}\overline{QP} &= \frac{\overline{PV}}{\sin w} &&= \sec\phi \cot h \sin A \csc t \\ &&&= \sec\phi \csc h \cos\delta && \text{par (1)} \\ &&&= \frac{\sec\phi}{\sin\phi\tan\delta + \cos\phi\cos t} && \text{par (2)}\end{aligned}$$

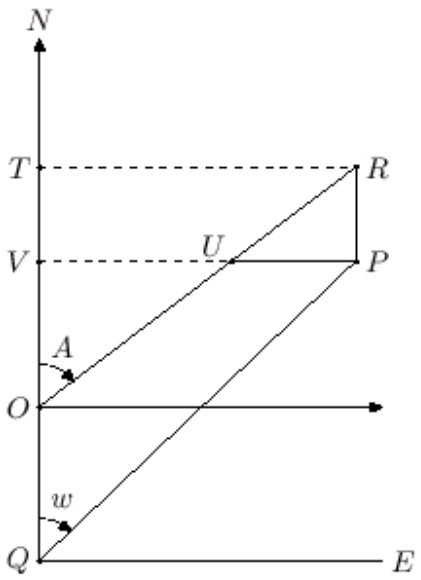


FIG. 2 –

Alors le dernier angle horaire t_f qui peut être lu sur un cadran de rayon ρ (en unité équivalent à la distance $\overline{QO}$) pour une déclinaison δ donnée est déterminé en posant, $\overline{QP} = \rho$ et en résolvant pour t :

$$t_f = \cos^{-1}\left[\frac{1 - \rho\cos\phi\sin\phi\tan\delta}{\rho\cos^2\phi}\right]$$

L'angle horaire t_s du lever pour un jour et une latitude donnée est :

$$t_s = \cos^{-1}\left[-\tan\phi\tan\delta\right]$$

Pour guider le choix d'un rayon adapté, les valeurs du rapport $\frac{t_f}{t_s}$ de ces angles apparaissent dans les tables I et II pour les latitudes 40° et 51°30′ N respectivement. Un procédé pour la construction d'une combinaison de cadrans qui indique le temps que le soleil réside au-desus de l'horizon sera discuté ci-après.

TAB. 1 – Valeurs du rapport $\frac{t_f}{t_s}$ pour une latitude de 40°N

Rayon	Solstice d'été	Equinoxe	Solstice d'hiver
3	0.703	0.615	0.310
4	0.776	0.720	0.551
5	0.820	0.779	0.658
6	0.849	0.817	0.723
7	0.870	0.843	0.766
8	0.886	0.863	0.798
9	0.899	0.879	0.822
10	0.909	0.891	0.840

4 Cadrans pour des plans arbitraires

Bien que nous ayons considéré les cadrans sur un plan horizontal, il est posible de construire un cadran bifilaire pour un plan quelconque donné. Supposons que l'on dessine une ligne nord-sud N_1QS_1 et une ligne est-ouest E_1QW_1 sur un plan horizontal et qu'ensuite on tourne le plan d'un angle i autour de E_1W_1, alors le segment QN_1 est au-dessus de l'horizon. Supposons de plus que le plan est tourné dans le sens horaire autour de la verticale QZ (ou Z est le zénith du lieu) d'un angle d. Par ces deux rotations, on dit que le plan a une inclinaison i et une déclinaison d. Afin de construire un cadran sur un plan quelconque, la seule information que l'on a besoin d'ajouter à la latitude du cadran est l'inclinaison et la déclinaison du plan sur lequel il repose. A travers ce qui suit, la ligne QN_1 (figure 4) d'un plan donné sera comprise comme le rayon nord de la ligne N_1QS_1 laquelle est déduite de la façon suivante : commençant comme ligne méridienne horizontale elle est tournée ensuite comme elle est sur le plan donné.

TAB. 2 – Valeurs du rapport $\frac{t_f}{t_s}$ pour une latitude de 51°30′ N

Rayon	Solstice d'été	Equinoxe	Solstice d'hiver
3	0.582	0.341	–
4	0.685	0.554	–
5	0.745	0.655	–
6	0.785	0.717	0.225
7	0.814	0.760	0.421
8	0.836	0.791	0.523
9	0.853	0.815	0.592
10	0.867	0.834	0.642

Mainenant pour construire un cadran bifilaire équiangulaire pour une latitude ϕ sur un plan d'inclinaison i et de déclinaison d, commençons par choisir un point Q sur ce plan et par dessiner un segment QN_1. Traçons la perpendiculaire à NQS et EQN (figure 4) avec l'angle θ de QN_1 à QN, déterminé par :

$$\cos\theta = \frac{\tan\phi\sin i + \cos d\cos i}{\sqrt{\sin^2 d + \left(\tan\phi\sin i + \cos d\cos i\right)^2}}$$

où le sens de QN_1 à QN est compté dans le sens inverse du sens horaire si d est positif et dans le sens horaire si d est négatif. QN est l'intersection du plan donné avec le plan déterminé par son pôle et l'axe céleste. Alternativement, les lignes NQS et EQW peuvent être déterminée en dessinant en premier la ligne nord-sud QN_2 (figure 4) ; i.e. la ligne qui est l'intersection du plan considéré avec le plan méridien. L'angle θ' compris entre QN_2 et QN est donné par :

$$\tan\theta' = \frac{\sin\phi\cos i - \cos\phi\sin i\cos d}{\sin\phi\cot d + \cos\phi\cot i\csc d}.$$

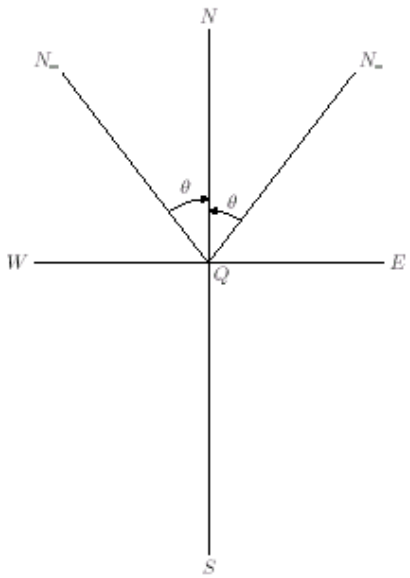


FIG. 3 – (L'angle N_2QN devra être θ')

Maintenant à une latitude ϕ et une longitude λ, un plan d'inclinaison i et de déclinaison d est parallèle au plan horizontal à la latitude α et de longitude $(\lambda + t')$, où la longitude est bien entendue croisante vers l'ouest, et :

$$\sin\alpha = \sin\phi\cos i - \cos\phi\sin i\cos d \tag{4}$$

$$\sin t' = \sin i\sin d\sec\alpha$$

$$\cot t' = \sin\phi\cot d + \cos\phi\cot i\csc d \tag{5}$$

En outre, si les lignes nord–sud et est–ouest sont tracées sur ce plan horizontal, elles seront parallèles respectivement aux lignes NS et EW qui ont déjà été tracées sur ce plan. Nous pouvons alors construire simplement le cadran d'après ces lignes comme précédemment, mais en faisant cela nous devons utiliser la latitude α puisque le plan a été déplacé vers le lieu pour lequel il doit être horizontal.
Le cadran est maintenant terminé, mais il est important de noter que le point N (ou si $\alpha < 0$, le point S) ne correspondra plus au midi local, mais plutôt à l'angle horaire t' (i.e., le temps après-midi exprimé en degrés, ou 1° équivaut à 4′ de temps).
Comme exemple, supposons premièrement que nous souhaitons construire à la latitude 40°N, un cadran vertical plein sud. Pour un tel cadran nous avons $i = 90°$ et $d = \theta = \theta' = 0°$; la ligne NS est verticale. Les calculs donnent : $\alpha = -50°$ et $t' = 0°$. Le cadran, pour êre construit, doit alors être traité comme s'il s'agissait d'un cadran horizontal à la latitude de 50°S.

Puisque la distance depuis le point d'intersection des ombres au centre du cadran est généralement plus grande lorsque le soleil est bas sur l'horizon, un cadran vertical utilisé à une latitude nord sera plus facile à lire durant le printemps et l'été que l'horizontal : pendant ces saisons, le soleil est bas dans le ciel pour une latitude sud dont le plan horizontal est parallèle au plan vertical. Cependant, bien qu'un tel cadran sera plus facile à lire, il marquera les heures sur une plus petite portion de la journée.

TAB. 3 – Périodes d'utilisation du cadran de rayon 2.95 pour une latitude de 40° N

	Est	*Horizontal*	*Ouest*
Solstice dété	4 : 35—10 : 41	6 : 49—5 : 11	1 : 19—7 : 25
Equinoxes	6 : 00—10 : 41	8 : 21—3 : 39	1 : 19—6 : 00
Sosltice d'hiver	7 : 25—10 : 41	10 : 41—1 : 19	1 : 19—4 : 35

Supposons maintenant qu'à la latitude de 40°N nous voulons un cadran vertical plein est, donc $i = 90°$, $d = -90°$ et $\theta = +50°$, et où la valeur positive de θ indique le sens horaire de QN_1 à QN. La ligne QN_1 est également

verticale, donc QN est parallèle à l'axe polaire. Puisque $\alpha = 0°$, le cadran peut être construit comme s'il était dans l'autre hémisphère, les différents choix déterminent le placement du point O et déterminent si les heures marquées le seront dans le sens horaire ou dans le sens horaire inverse. Parce que $t' = -90°$, la ligne QN (ou QS, selon le placement de O) est maintenant la ligne horaire de 6h de temps vrai local. Le cadran résultant est équivalent au cadran vertical classique plein est.
Les cadrans solaires plein est ou plein ouest sont manifestement utilisées respectivement pour lire les heures très matinales ou très tardives l'après-midi. Une combinaison de ces cadrans avec un horizontal, fonctionnant tous en même temps, comme par exemple sur la face d'un cube, indiquera l'heure tout le temps que le soleil est au-dessus de l'horizon, pourvu que leurs rayons puissent être choisi de façon appropriée. Donc, si les trois cadrans ont un rayon de 2.95 (pour lequel la ligne QO a pour longueur unité) à la latitude de 40°N, le temps pendant lequel chaque cadran est utilisable est donné en table 3 pour des dates sélectionnées.
Les équations déterminant les valeurs appropriées du rayon ρ sont complexes. Pour simplifier, supposons que ces cadrans possèdent un même rayon et sont chacun horizontaux ou verticaux, la valeur choisie pour ρ doit être telle que les conditions (6) et (7) soient vérifiées, avec $\epsilon = 23°26'$.

$$\cos^{-1}\left[\frac{1+|\rho\cos\phi\sin\phi\tan\epsilon|}{\rho\cos^2\phi}\right]+\cos^{-1}\left[\frac{1}{\rho}\right]\geqslant 90° \tag{6}$$

$$\cos^{-1}\left[-|\tan\phi|\tan\delta\right]-\cos^{-1}\left[\frac{1}{\rho}\right]\leqslant 90° \tag{7}$$

La première condition garantie que les cadrans combinés marqueront l'heure durant tout le temps que le soleil est au-dessus de l'horizon entre 6 : 00 et 18 : 00 ; la seconde impose la même condition pour des heures très tôt ou très tardives du soleil. Cela peut être démontré dès que les conditions (6) et (7) sont satisfaites. Donc la valeur minimale — et, du point de vue de la lisibilité, le meilleur — pour ρ à la latitude ϕ est obtenu en considérant le cas de l'égalité dans la relation (6) et en résolvant par rapport à ρ. Ce qui permet d'obtenir l'équation suivante :

$$\rho = K + \sqrt{K^2 + \left(\frac{\sec^2\phi + \cos^2\phi}{1-\sin^2\phi\sec^2\epsilon}\right)}$$

et ou : $K = \dfrac{|\tan\phi\tan\epsilon|}{1-\sin^2\phi\sec^2\epsilon}$
À la latitude de 40°N, cette équation donne la valeur $\rho = 2.95$; à la latitude de 51°30′ N, nous avons $\rho = 5.86$. D'autres valeurs pour d'autres latitudes sont données en table 4.
A travers ce qui suit, les équations s'appliquent à des cadrans horizontaux ; cependant, des ajustements particuliers doivent être fait pour les adapter à des cadrans sur des plans quelconques.

TAB. 4 – Rayons optimaux pour des cadrans bifilaires sur un cube

ϕ	ρ	ϕ	ρ	ϕ	ρ
30°	2 : 11	40°	2 : 95	50°	5 : 21
31°	2 : 17	41°	3 : 08	51°	5 : 63
32°	2 : 23	42°	3 : 23	52°	6 : 11
33°	2 : 30	43°	3 : 39	53°	6 : 68
34°	2 : 37	44°	3 : 57	54°	7 : 35
35°	2 : 45	45°	3 : 77	55°	8 : 14
36°	2 : 53	46°	3 : 99	56°	9 : 11
37°	2 : 62	47°	4 : 24	57°	10 : 29
38°	2 : 72	48°	4 : 52	58°	11 : 77
39°	2 : 83	49°	4 : 84	59°	13 : 67

5 Theorie générale

Les explications données précédemment pour le cadran bifilaire équiangulaire supposent que la hauteur des deux fils est connue. Le développement général qui est donné ici ne fait pas une telle hypothèse et, comme

résultat, il sera démontré que non seulement les valeurs déjà données sont les seules qui produisent un cadran équiangulaire, mais aussi que différentes variétés de cadrans (non-équiangulaire) peuvent être obtenues par changement de la hauteur des fils.
Considérons un système de coordonnées rectangulaire d'origine le point O et dans lequel l'axe des x et des y sont respectivement dirigés vers l'est et vers le nord (voir figure 3). Supposons que les fils horizontaux sont placés au-dessus de O, l'un le long de l'axe des y à la hauteur g_1 et l'autre le long de l'axe des x à la hauteur g_2. Comme précédemment, supposons qu'une tige verticale est placée en O ; alors P est l'intersection des ombres des fils, et :

$$\overline{OU} = g_2 \cot h \qquad\qquad \overline{OR} = g_1 \cot h$$

Les coordonnées de P sont :

$$x = g_1 \cot h \sin A \tag{8}$$
$$y = g_2 \cot h \cos A \tag{9}$$

Utilisant les identités (1)—(3) ci-dessus, ces équations sont transformées de la façon suivante :

$$x = g_1 \frac{\sin t}{\sin\phi \tan\delta + \cos\phi \cos t} \tag{10}$$
$$y = g_2 \frac{\sin\phi \cos t - \cos\phi \tan\delta}{\sin\phi \tan\delta + \cos\phi \cos t} \tag{11}$$

En résolvant ces équations pour $\tan\delta$, puis en éliminant ce paramètre on obtient l'équation des lignes horaires[4], indépendante de ϕ et de t :

$$g_2\, x \cos t - g_1\, y \sin\phi = g_1\, g_2 \cos\phi$$

Puisque ces équations sont linéaires en x et en y, les lignes horaires du cadran sont des droites. Toutes ces droites se coupent en un seul point Q, sur l'axe des y (obtenu en posant $x = 0$).

$$x = 0 \quad \rightarrow \quad y = -g_2 \cot\phi \qquad \overline{QO} = g_2 \cot\phi$$
$$y = 0 \quad \rightarrow \quad x = g_1 \cos\phi \tan t \qquad \overline{OV} = g_1 \cos\phi \tan t$$

Supposons que lon prenne pour unité de longueur $\overline{QO} = 1$, alors $g_2 = \tan\phi$.
Nous avons aussi $\tan w = \dfrac{\overline{OV}}{\overline{QO}} = k \tan t$, ou $k = g_1 \cos\phi$. Afin d'obtenir un cadran équiangulaire ($w = t$), nous devons imposer $k = 1$; nous avons alors $g_1 = \sec\phi$.
Cependant, supposons que l'on renonce à obtenir un équiangulaire. Alors une variété de cadrans peuvent être construit pour différentes valeurs de k. Par exemple, supposons que nous ayons un cadran solaire horizontal ordinaire (heures—dates) construit pour une latitude ϕ'. Si nous identifions la ligne méridienne de ce cadran comme étant QON avec le point Q comme centre des lignes horaires, alors n'importe quel texte sur la gnomonique nous donnera :

$$\tan w' = \sin\phi' \tan t$$

Nous pouvons maintenant adapter le cadran pour une latitude ϕ et le garder horizontal en enlevant le gnomon et en plaçant un fil horizontal est-ouest au-dessus du point O à la hauteur $\tan\phi$, et un fil nord-sud à la hauteur $\frac{\sin\phi'}{\cos\phi}$; ceci dit, posons simplement $k = \sin\phi$. Si $\phi' = \phi$, alors $g_1 = g_2$ et nous avons un cadran solaire horizontal ordinaire.

6 Courbes d'arc-diurnes

Sur la plupart des cadrans sont tracé des courbes représentant le chemin parcouru par l'ombre d'un point particulier du gnomon en des dates choisies. Puisque cette pratique ne nous servira pas dans un cadran solaire

bifilaire avec une face tournante (à moins bien sûr que la face soit transparente et que les courbes soient dessinées sur une base non tournante), néanmoins on peut déterminer excatement quelles sont ces courbes en général. La courbe que nous considérons est tracée par l'intersection de l'ombre des fils.
Des équations (11) nous avons :

$$\cos t = \frac{g_2 \cos\phi + y \sin\phi}{g_2 \sin\phi - y \cos\phi} \tan\delta$$

Utilisant ce résultat dans l'équation (10) nous avons :

$$\sin t = \frac{g_2\, x}{g_1\, g_2 \sin\phi - g_1\, y \cos\phi} \tan\delta$$

Puisque $\sin^2 t + \cos^2 t = 1$, nous avons :

$$\tan^2\delta \left(g_2^2\, x^2 + g_1^2 \left(g_2 \cos\phi + y \sin\phi\right)^2\right) = g_1^2 \left(g_2 \sin\phi - y \cos\phi\right)^2$$

Finallement, à partir de la relation $\cos^2\phi = 1 - \sin^2\phi$, nous avons l'équation des courbes d'arc diurnes[5], indépendantes de ϕ et δ,

$$\sin^2\delta \left(g_2^2\, x^2 + g_1^2\, y^2 + g_1^2\, g_2^2\right) = g_1^2 \left(g_2 \sin\phi - y \cos\phi\right)^2$$

Notons cependant que cette équation est obtenue en considérant que O est l'origine. Si Q, le centre du cadran équiangulaire, est utilisée comme origine, alors la variable y devra ère déplacée de $\left(y - g_2 \cot\phi\right)$.
Aux équinoxes, où $\delta = 0°$, les courbes deviennent des droites orientées est–ouest. Plus généralement, la forme de la courbe pour un cadran donné est déterminée à partir de la table V.
Pour un cadran équiangulaire horizontal (construit disons, pour une latitude nord), il est probablement plus facile de tracer les courbes d'arc-diurnes en utilisant les coordonnées polaires d'origine Q, puisqu'à tout instant t, le point P a pour coordonnées polaires $\left(t, \overline{QP}\right)$.

TAB. 5 – Forme de l'arc-diurne en fonction de la date choisie

Déclinaison du soleil	Arc-diurne
$\delta > 90 - \phi$	ellipse
$\delta = 90 - \phi$	parabole
$\delta < 90 - \phi$	hyperbole

7 Courbes de hauteur et d'azimut

En plus des courbes d'arcs diurnes, un cadran peut être complété par des courbes de hauteur et des courbes d'azimut. Ainsi, par exemple, sur un cadran bifilaire avec des courbes pour une hauuteur $h = 30°$ ou pour un azimut $A = 40°$, l'intersection des fils se placera exactement sur une de ces courbes lorsque le soleil sera à 30° de hauteur ou lorsqu'il aura pour azimut 40° respectivement.
L'équation des courbes de hauteur est obtenue en éliminant le paramètre A des équations (8) et (9) pour obtenir :

$$\left(\frac{x \tan h}{g_1}\right)^2 + \left(\frac{y \tan h}{g_2}\right)^2 = 1$$

La courbe obtenue est une ellipse.
Utilisant les équations (8) et (9) de nouveau, mais cette fois en éliminant le paramètre h, nous avons :

$$y = \left(\frac{g_2}{g_1}\right) x \cot A$$

Les courbes d'azimut sont des droites d'origine O. La ligne correspondant à l'azimut A du soleil a elle-même un azimut A', où $\cot A'$ est la pente $\frac{y}{x}$ de cette ligne (NdT : angle tabulaire). Pour un cadran équiangulaire, les deux angles sont par conséquent reliés entre eux par la relation :

$$\cot A' = \sin\phi \cot A$$

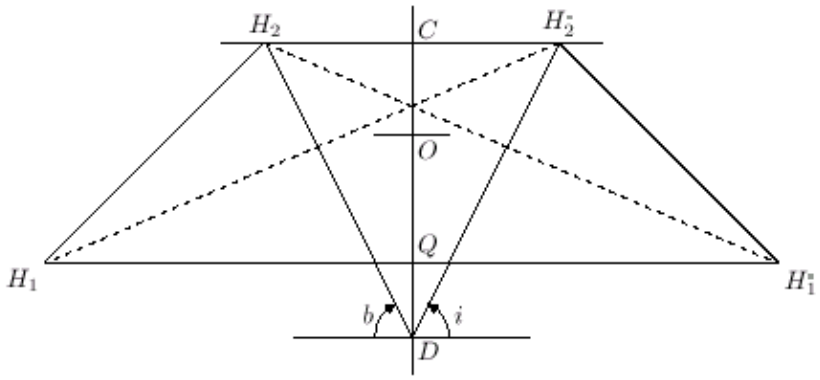


FIG. 4 –

8 Lignes horaires Babyloniques et Italiques

Comme il est de règle en gnomonique, l'origine de l'angle horaire du soleil en n'importe quel lieu est le méridien local et celle-ci se détermine lorsque le soleil est dans le plan méridien. Cependant, on a pas toujours besoin de ce cas ; nous considèrerons ici deux autres systèmes bien connus : les heures babyloniques, lesquelles calculent le temps écoulé depuis le lever du soleil, et les heures Italiques, lesquelles comptent le temps écoulé depuis le précédent coucher du soleil. Considérons un cadran coomportant à la fois les heures babyloniques et italiques mais sur lequel les heures italiques sont numérotés en sens inverse, de sorte qu'au lever il est 0 heure, tandis qu'une avant le lever du soleil, il est une heure. Un tel cadran peut être utilisé pour déterminer en un instant donné, combien d'heures se sont écoulés depuis le lever du soleil, (la ligne horaire babylonique b), combien d'heures il reste jusqu'au coucher du soleil (la ligne horaire italique i), combien d'heure il y a dans la journée pour une date donnée $(b+i)$, et le temps vrai local $\frac{1}{2}(b+i)$, et où une valeur nulle pour t indique le midi local.
Si nous posons T le temps écoulé entre le lever du soleil et midi à une date donnée, et b la ligne horaire babylonique, alors :

$$t = b - T \qquad \text{et} \qquad \cot T = -\tan\phi \tan\delta.$$

Substituant ces équations dans les équations (10) et (11) afin d'obtenir les coordonnées du point P, on a :

$$x = g_1 \frac{\sin b - \cos b \tan T}{\cos\phi \cos b + \cos\phi \sin b \sin T - \cos\phi}$$
$$y = g_2 \frac{\sin\phi \cos b + \sin\phi \sin b \tan T + \cos\phi \cot\phi}{\cos\phi \cos b + \cos\phi \sin b \sin T - \cos\phi}$$

En résolvant ces équations pour $\tan T$, puis en l'éliminant, on obtient l'équation des lignes horaires babyloniques :

$$g_1\, y \sin\phi \cos\phi\, (1 - \cos b) - g_2\, x \sin b \cos\phi = g_1 g_2 \left(\sin^2\phi + \cos^2\phi \cos b\right) \tag{12}$$

Par le même raisonnement (numérotation en sens inverse) pour les heures italiques i : T doit aussi être vu comme le temps écoulé depuis midi au coucher du soleil ; aussi $t = T - i$ et l'équation résultante est :

$$g_1\, y \sin\phi \cos\phi\, (1 - \cos i) + g_2\, x \sin i \cos\phi = g_1 g_2 \left(\sin^2\phi + \cos^2\phi \cos i\right) \tag{13}$$

Les deux familles des lignes horaires sont linéaires ; cependant, ni les heures babyloniques, ni les heures italiques n'ont de point d'intersection commun, comme c'est le cas des lignes horaires astronomiques usuelles. Les angles β et τ qu'ils font respectivement avec la ligne QON sont les suivants :

$$\tan\beta = \frac{g_1}{g_2} \sin\phi \tan\frac{1}{2} b \qquad\qquad \tan\tau = -\frac{g_1}{g_2} \sin\phi \tan\frac{1}{2} i$$

TAB. 6 – Coordonnées des points choisi pour la construction des lignes horaires Babyloniques et Italiques

Point	*Cas général*		*Cas particulier*	
	X	Y	X	Y
Q	0	$-g_2 \cot\phi$	0	-1
C	0	$g_2 \tan\phi$	0	$\tan^2\phi$
D	0	$g_2 \tan\phi - g_1 \sec\phi$	0	-1

Donc, si $g_2 = g_1 \sin\phi$, les lignes horaires sont équiangulaires en ce sens que β et τ sont proportionnels à b et i respectivement. Michnik donne un graphique moyen dessinant ces lignes horaires pour des valeurs particulières de g_1 et g_2 ; il peut être généralisé de la façon suivante. En figure 4 posons O l'origine comme précédemment. La table 6 liste les coordonnées des points Q, C et D dans le cas général et dans le cas particulier ou $g_2 = \tan\phi$ et $g_1 = \sec\phi$. Construisons les lignes CH_2 et QH_1 perpendiculaires à QC et posons H_2 le point d'intersection de la ligne DH_2 avec la ligne CH_2, où l'angle $\widehat{CDH_2} = b - 90°$. Posons H_1 le point tel que $\overline{QH_1} = \overline{DH_2}$. La ligne horaire babylonique pour l'heure b est H_1H_2.
Une construction semblable, symétrique par rapport à la ligne QC produisant les points H_1' et H_2' donne les lignes horaires italiques.
Pour justifier cette construction, il suffit de montrer que les points H_1 et H_2 aussi bien que les points symétriquement placés H_1' et H_2' se trouvent respectivement sur les lignes horaires. A partir de la façon de choisir les points, nous avons :

$$H_1 = \left(-g_1 \sec\phi \csc b, -g_2 \cot\phi\right)$$
$$H_2 = \left(-g_1 \sec\phi \cot b, g_2 \tan\phi\right)$$
$$H_1' = \left(g_1 \sec\phi \csc i, -g_2 \cot\phi\right)$$
$$H_2' = \left(g_1 \sec\phi \cot i, g_2 \tan\phi\right)$$

C'est maintenant une simple affaire de vérifier que les coordonnées de ces points satisfont les équations (12) et (13) pour les lignes horaires appropriées.
Il faut noter aussi que chacune de ces 4 lignes horaires obtenues à partir de ces points peuvent être vues l'une ou l'autre comme babylonienne ou italique (voir table 7). Bien qu'il n'y ait pas de lignes correspondant au lever du soleil ($b = 0°$) ou au coucher du soleil ($i = 0°$), la même ligne, donné par les équations suivantes, représente la 12e heure après le lever et avant le coucher du soleil :

$$y = g_2 \frac{\tan\phi - \cot\phi}{2} \qquad (= -g_2 \cot 2\phi \text{ . NdT})$$

La figure 5 montre les lignes horaires babyloniques, numérotés dans le sens des aiguilles d'une montre, et les lignes d'heures italiques, numérotés dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, pour un cadran bifilaire à la latitude 40°N avec $g_1 = \sec\phi$ et $g_2 = \tan\phi$.

TAB. 7 – Lignes horaires obtenues par simple construction

Ligne	*Heure Babylonique*	*Heure Italique*
H_1H_2	b	$360° - b$
H_1H_2'	$180° - b$	$180° + b$
$H_1'H_2$	$180° + b$	$180° - b$
$H_1'H_2'$	$360° - b$	b

9 Lignes horaires sidérales

Finallement[6], nous considèrerons un système supplémentaire d'indication du temps : les heures sidérales. Il est en fait bien connu des gnomonistes que la longueur du jour solaire, défini comme le temps entre deux

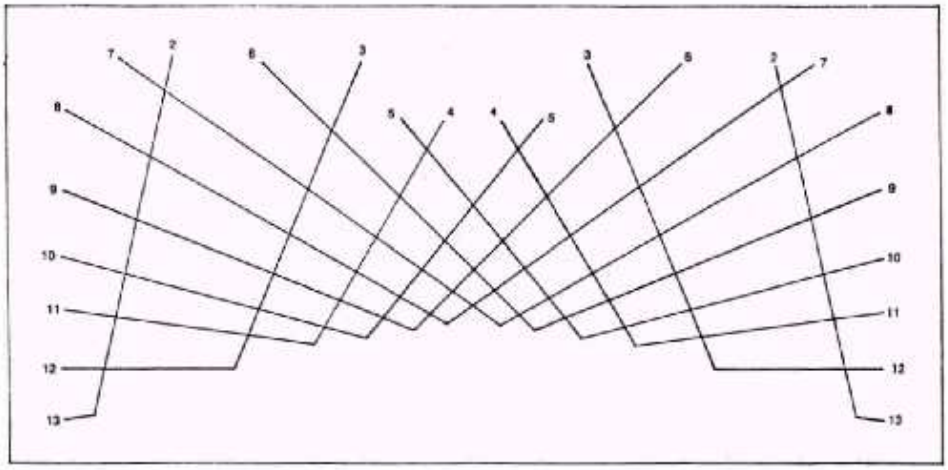


FIG. 5 – Lignes horaires Babyloniques et Italiques pour $\phi = 40°$N

passages succéssifs du soleil au méridien n'est pas constant. Parce que le soleil ne semble pas avoir un mouvement uniforme le long de l'écliptique par rapport aux étoiles fixes, l'appellation d'équation du temps doit être ajouté à la lecture du cadran pour obtenir un résultat qui croît uniforménent. Le principal avantage des cadrans équiangulaires est qu'ils donnent un moyen facile de faire dans les lectures les corrections désirées. Supposons, cependant, que le jour est maintenant défini comme l'intervalle entre deux passages successifs au méridien d'un point fixe sur l'écliptique — en particulier le point Vernal, i.e. la position du soleil le jour de l'équinoxe de printemps lequel correspond à l'intersection de l'écliptique et de l'équateur céleste. Cette appellation de jour sidéral est d'un intérêt fondamental en astronomie ; sa longueur est constante et, en moyenne, est de $3^{\text{min}}56^{\text{s}}$ plus court que le jour solaire. Par définition, l'heure sidérale θ est l'angle horaire du point vernal. Pour n'importe quel corps astronomique, et en particulier le soleil, θ est égal à l'angle horaire t du corps (l'angle mesuré vers l'ouest le long de l'équateur) plus son ascension droite α (l'angle à l'est du point vernal mesuré le long de l'équateur céleste).

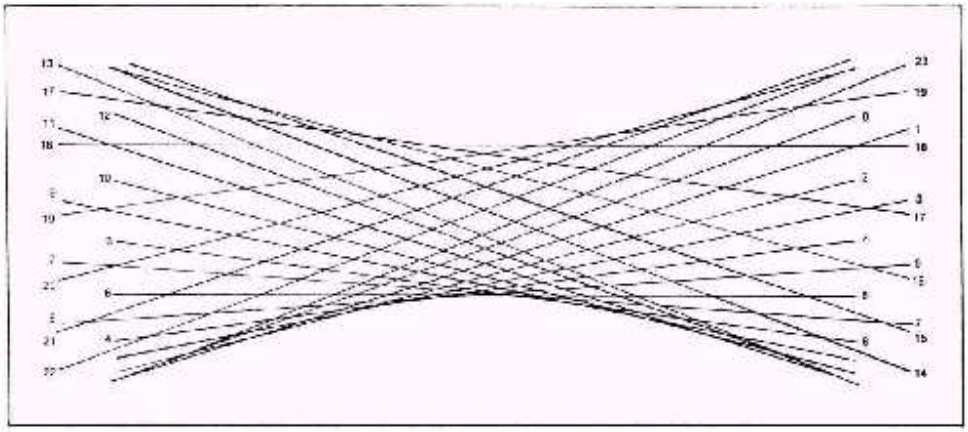


FIG. 6 – Lignes horaires Sidérales pour $\phi = 40°$N

Pour obtenir l'équation des lignes horaires sidérales, nous commençons avec l'équation reliant θ à l'angle horaire du soleil, à l'ascension droite et à la déclinaison :

$$t = \theta - \alpha \qquad \tan\delta = \tan\epsilon \sin\alpha \qquad (\epsilon = 23°26')$$

À ce stade, nous procédons de la même façon ; substituons ces équations dans (10) et (11), nous obtenons :

$$x = g_1 \frac{\sin\theta - \cos\theta \tan\alpha}{(\sin\phi \tan\epsilon + \cos\phi \sin\theta)\tan\alpha + \cos\phi\cos\theta}$$
$$y = g_2 \frac{(\sin\phi \cos\theta - \cos\phi \tan\epsilon)\tan\alpha + \sin\phi\cos\theta}{(\sin\phi \tan\epsilon + \cos\phi \sin\theta)\tan\alpha + \cos\phi\cos\theta}$$

L'élimination de $\tan\alpha$ donne l'équation des lignes horaires sidérales.

$$g_2\, x \cos\theta \tan\epsilon - g_1\, y\,(\cos\phi + \sin\phi \sin\theta \tan\epsilon) = g_1\, g_2\,(\cos\phi \sin\theta \tan\epsilon - \sin\phi) \tag{14}$$

L'équation[7] est linéaire en x et en y ; dans le cas particulier où $\phi = 90° - \epsilon$, cette droite coïncide avec les lignes horaires babyloniques (pour $\theta = b - 90°$) et italiques (pour $\theta = 270° - i$). Les lignes de temps sidéral pour la latitude de 40°N sont dessinées en figure 6 dans le cas où $g_1 = \sec\phi$ et $g_2 = \tan\phi$.

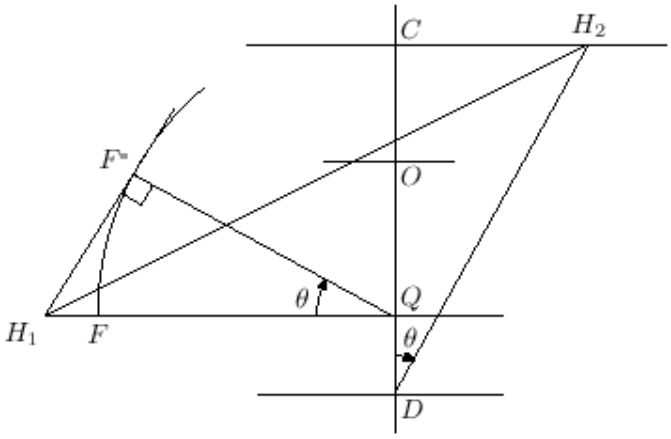


FIG. 7 –

Une construction graphique de ces lignes semblable à celle donnée pour les lignes babyloniques et italiques peut être développé de la façon suivante[8]. En figure 7, posons O l'origine et posons les points Q, C, D et F ayant les coordonnées donnés en table 7, et où le cas partiulier est celui généré en figure 6. Construisons les perpendiculaires CH_2 et QF à QC. Posons H_2 l'intersection des lignes CH_2 et DH_2, et ou $\widehat{CDH_2} = \theta$. Posons H_1 l'intersection de la ligne QF avec la tangente au cercle (de centre Q et de rayon $\overline{QF}$) au point F', où l'angle $\widehat{FQF'} = \theta$. La ligne horaire sidérale pour θ est $H_1 H_2$. Pour les cas limites où ces points sont à l'infini, les lignes horaires ont les équations suivantes :

$$\theta = 90° \longrightarrow y = g_2 \tan(\phi - \epsilon)$$
$$\theta = 270° \longrightarrow y = g_2 \tan(\phi + \epsilon)$$

TAB. 8 – Coordonnées des points choisis pour la construction des lignes horaires Sidérales

Point	*Cas général*		*Cas particulier*	
	X	Y	X	Y
Q	0	$-g_2 \cot\phi$	0	-1
C	0	$g_2 \tan\phi$	0	$\tan^2\phi$
D	0	$g_2 \tan\phi - g_1 \sec\phi$	0	-1
F	$-g_1 \csc\phi \cot\epsilon$	$-g_2 \cot\phi$	$-\sec\phi \csc\phi \cot\epsilon$	-1

Pour justifier la construction, il suffit de déterminer que les points H_1 et H_2 satisfont l'équation (14).

$$H_1 = \left(-g_1 \csc\phi \sec\theta \cot\epsilon, -g_2 \cot\phi\right)$$
$$H_2 = \left(g_1 \sec\phi \tan\theta, g_2 \tan\phi\right)$$

Si nous considérons les points H_1' et H_2' comme précédemment, nous voyons actuellement que chaque construction nous donne quatre lignes horaires (voir table 9).

TAB. 9 – Lignes horaires obtenues par simple consruction

Ligne	*Heure Sidérale*
$H_1 H_2$	θ
$H_1 H_2'$	$360°-\theta$
$H_1' H_2$	$180°+\theta$
$H_1' H_2'$	$180°-\theta$

Peut-être que le premier intérêt de ces lignes est de montrer qu'un cadran est capable de marquer le temps en dépit du fait que la position apparente du soleil varie non-uniformément[9]. Il n'y a pas de correction à faire dans la lecture de l'heure sur le cadran pour le temps sidéral. La valeur de θ à midi local à l'équinoxe de printemps est de 0° ; il continue à augmenter au cours de l'année, ayant une valeur de 90° au solstice d'été, de 180° à l'équinoxe d'automne et de 270° au solstice d'hiver.

Notes

[1]Voir référence [1]. D'autres références aux cadrans bifilaires inclu [2] (p.105) et [3] (p.135). D'autres brefs traitement géométriques (référence [4]) du cadran équiangulaire de base apparaissent tandis que l'article était en cours de soumission

[2]Des cadrans de ce type ce trouvent en référence [5], où le traitement ne se limite pas aux cadrans horizontaux. Ce type de cadran a été inventé au 17e siècle par Samuel Foster [6] mais est souvent attribué au 18e siècle par le mathématicien et philosophe J.H. Lambert [7]. Ce cadran est traité en référence [2], et il y a eu un nombre d'études plus récent, les plus important étant les références [8], [9] et [5]

[3]Pour rendre le cadran plus pratique, on peut considérer une sorte d'alidade ou pointeur, libre de tourner comme le ferait un diamètre sur la surface du cadran. Si une ligne est tracée du bas au milieu de l'alidade, il peut être tourné jusqu'à ce que l'intersection des ombres repose sur la ligne et l'extrémité de l'alidade indique le temps sur la circonférence du cadran. Cette addition au cadran éliminerait le tracé d'un nombre excessif de lignes horaires. On peut noter que les hauteurs de fils doivent être mesurée à partir du plan de l'alidade plutôt qu'à partir de la surface du cadran.

Un autre point pratique à faire remarquer ici est que si les fils sont fixés à l'extrémité de leur support, l'ombre du support ne doit pas effacer une quelconque lecture. Cependant si les supports s'étendent au-dessus des fils, des précautions doivent être prises contre les problèmes causés par leurs ombres.

[4]Les lignes horaires astronomiques sur un cadran placé à une latitude ϕ avec une inclinaison i et une déclinaison d sont donnés par l'équation :

$$g_1 g_2 \cos\alpha = g_2 \cot(t - t') - g_1 y \sin\alpha$$

où α et t' snt donnés par les équations (4) et (5).

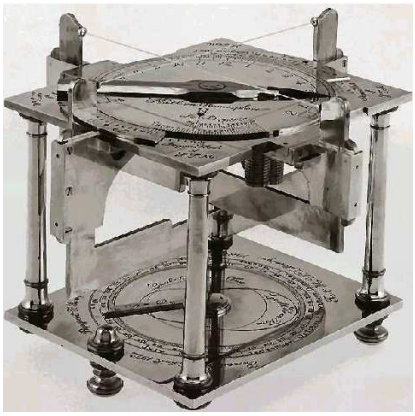


FIG. 8 – Un cadran solaire bifilaire équiangulaire construit par M.U. Zakariya et l'auteur. Le cadran est au-dessus d'un plateau dont les lignes horaires sont marqués sur la circonférence. L'alidade est une droite qui doit être tournée jusqu'au point d'intersection des ombres des fils. La hauteur et la position des fils sont ajustés par des micromètres sur le côté du plateau, suivant la latitude du lieu du cadran ; les réglages pour la longitude et l'équation du temps sont fait par des verniers sur la face du cadran. Le plateau inférieur donne l'équation du temps. Ce cadran est le premier d'une série de cadrans bifilaires construit par M. Zakariya.

[5]La courbe d'arc diurne pour un cadran non horizontal est :

$$\sin^2\delta\left(g_2^2\,x^2+g_1^2\,y^2+g_1^2\,g_2^2\right)=g_1^2\,\left(g_2\sin\alpha-y\cos\alpha\right)^2$$

où α est donné par l'équation (4)

[6]Michnik considère aussi les heures temporaires ou inégales, lesquelles résultent de la division de la durée du jour en 12 heures égales. Les lignes sont données par une équation algébrique d'un plus haut degré et ne seront pas considérées ici. Elles sont traitées en détail dans le cas de cadrans non bifilaires en référence [10] ; la modification requise pour les adapter au cas du bifilaire est discuté en référence [1]

[7]L'équation pour les lignes horaires sidérales pour les cadrans non horizontaux est :

$$g_2\,x\cos(\theta-t')\tan\epsilon-g_1\,y\left(\cos\alpha+\sin\alpha\sin(\theta-t')\tan\epsilon\right)=g_1\,g_2\left(\cos\alpha\sin(\theta-t')\tan\epsilon-\sin\alpha\right)$$

où α et t' sont donnés par les équations (4) et (5).

[8]Pour une construction et un développement quelque peu différent des lignes horaires sidérales pour un cadran solaire non bifilaire, voir référence [11]

[9]Pour l'utilisation qui peut-être fait d'un tel cadran en astrologie, voir référence [2] (chapitre XIV).

Références

[1] Michnik, H., *Astronomische Nachrichten*, Vol. 217, No. 81, 1923.

[2] Drecker, J., *Die theorie der Sonnenuhren*, Berlin, 1925.

[3] Drecker, J., *Zeitmessung und Sterndeutung in geischichtlicher Darstellung*, Berlin, 1925.

[4] Hanke, W., "Die Sterne," Vol. 52, No. 228, 1976.

[5] Taylor, G., *J. Brit. astron. Assoc.*, Vol. 86, No. 7, 1975.

[6] Foster, S., *Elliptical, or azimuthal horologiography*, London, 1654.

[7] Lambert, J., *Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1777*, Vol. 200, Berlin, 1777.

[8] Hanke, W., "Die Sterne," Vol. 51, No. 159, 1975.

[9] Janin, L., "Le Cadran Solaire Analemmatique – Histoire et Développements," Vol. 74.2057, 1974, Besançon, France : Centre Technique de l'Industrie Horlogère.

[10] Michnik, H., *Beiträge zur Theorie der Sonnenuhren*, Leipzig, 1914.

[11] Michnik, H., *Astronomische Nachrichten*, Vol. 216, No. 441, 1922.

Table des figures

1 . . . . . .

2 . . . . . .

3 (L'angle N_2QN devra être θ') . . . . . .

4 . . . . . .

5 Lignes horaires Babyloniques et Italiques pour $\phi = 40°$N . . . . . .

6 Lignes horaires Sidérales pour $\phi = 40°$N . . . . . .

7 . . . . . .

8 Un cadran solaire bifilaire équiangulaire construit par M.U. Zakariya et l'auteur. Le cadran est au-dessus d'un plateau dont les lignes horaires sont marqués sur la circonférence. L'alidade est une droite qui doit être tournée jusqu'au point d'intersection des ombres des fils. La hauteur et la position des fils sont ajustés par des micromètres sur le côté du plateau, suivant la latitude du lieu du cadran ; les réglages pour la longitude et l'équation du temps sont fait par des verniers sur la face du cadran. Le plateau inférieur donne l'équation du temps. Ce cadran est le premier d'une série de cadrans bifilaires construit par M. Zakariya. . . . . .

****

Inventaire des cadrans du monde

Par Philippe Sauvageot

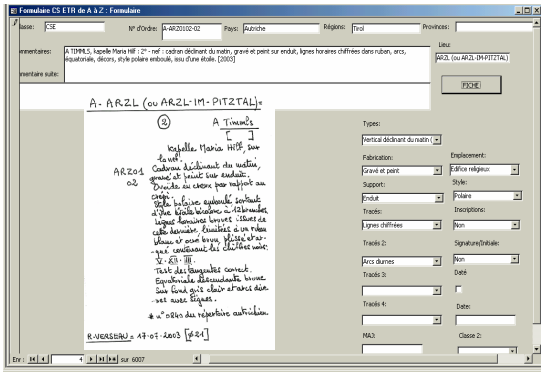
La chasse aux cadrans solaires n'a pas de frontière. C'est ainsi qu'aux cours des années et de voyages notre commssion a pu se constituer un inventaire des cadrans solaires du monde.

L'Inventaire:

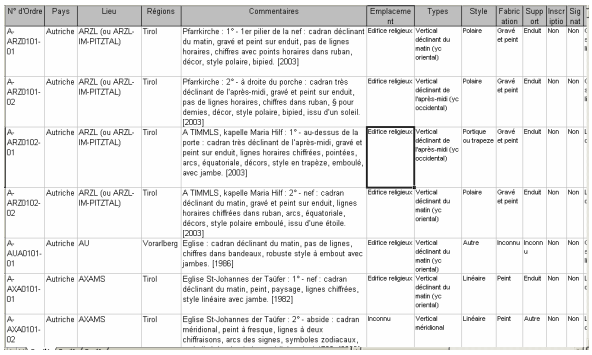
L'inventaire que nous possédions concernant des cadrans vus hors de France n'était plus remis à jour depuis quelques années. En octobre prochain c'est une nouvelle liste enrichie de nombreux spécimens qui sera proposée aux membres de la CCS. Celle-ci se présentera sous la même forme que notre inventaire des cadrans français, à savoir: une version classique sous "word" et une version sous "acces" comprenant une présentaion "tableau" et "formulaire" avec un lien automatique vers les fiches d'analyse.

Ce travail énorme a été réalisé par Didier BARET pour la partie enrégistrement des données et la formalisation et Serge Grégori pour le fichage.

A ce jour ce sont **6000 cadrans, 5545 fiches de 66 pays différents**. Les photographies seront entrées ultérieurement.



Présentation "formulaire" avec lien automatique vers les fiches d'analyse (sous Acces)



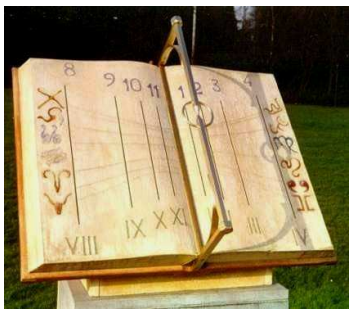
N° d'Ordre	Pays	Lieu	Régions	Commentaires	Emplacement	Types	Style	Fabrication	Support	Inscription	Signat
A-ARZD101-01	Autriche	ARZL (ou ARZL-IM-PITZTAL)	Tirol	Pfarrkirche : 1° - 1er pilier de la nef : cadran déclinant du matin, gravé et peint sur enduit, pas de lignes horaires, chiffres avec points horaires dans ruban, décor, style polaire, bipied. [2003]	Edifice religieux	Vertical déclinant du matin (yc oriental)	Polaire	Gravé et peint	Enduit	Non	Non
A-ARZD101-02	Autriche	ARZL (ou ARZL-IM-PITZTAL)	Tirol	Pfarrkirche : 2° - à droite du porche : cadran très déclinant de l'après-midi, gravé et peint sur enduit, pas de lignes horaires, chiffres dans ruban, § pour dernies, décor, style polaire, bipied, issu d'un soleil. [2003]	Edifice religieux	Vertical déclinant de l'après-midi (yc occidental)	Polaire	Gravé et peint	Enduit	Non	Non
A-ARZD102-01	Autriche	ARZL (ou ARZL-IM-PITZTAL)	Tirol	A TIMMLS, kapelle Maria Hilf : 1° - au-dessus de la porte : cadran très déclinant de l'après-midi, gravé et peint sur enduit, lignes horaires chiffrées, pointées, arcs, équatoriale, décors, style en trapèze, embouloé, avec jambe. [2003]	Edifice religieux	Vertical déclinant de l'après-midi (yc occidental)	Portique ou trapèze	Gravé et peint	Enduit	Non	Non
A-ARZD102-02	Autriche	ARZL (ou ARZL-IM-PITZTAL)	Tirol	A TIMMLS, kapelle Maria Hilf : 2° - nef : cadran déclinant du matin, gravé et peint sur enduit, lignes horaires chiffrées dans ruban, arcs, équatoriale, décors, style polaire embouloé, issu d'une étoile. [2003]	Edifice religieux	Vertical déclinant du matin (yc oriental)	Polaire	Gravé et peint	Enduit	Non	Non
A-AUAD101-01	Autriche	AU	Vorarlberg	Eglise : cadran déclinant du matin, pas de lignes, chiffres dans bandeaux, robuste style à embout avec jambes. [1986]	Edifice religieux	Vertical déclinant du matin (yc oriental)	Autre	Inconnu	Inconnu	Non	Non
A-AXAD101-01	Autriche	AXAMS	Tirol	Eglise St-Johannes der Taufer : 1° - nef : cadran déclinant du matin, peint, paysage, lignes chiffrées, style linéaire avec jambe. [1982]	Edifice religieux	Vertical déclinant du matin (yc oriental)	Linéaire	Peint	Enduit	Non	Non
A-AXAD101-02	Autriche	AXAMS	Tirol	Eglise St-Johannes der Taufer : 2° - abside : cadran méridional, peint à fresque, lignes à deux chiffraisons, arcs des signes, symboles zodiacaux,	Inconnu	Vertical méridional	Linéaire	Peint	Autre	Non	Non

Présentation sous Word (tableau sans lien direct avec les fiches d'analyse)

Le TOP des 10 premiers pays	(Nb de CS répertoriés)
Italie	3181
Espagne	580
Suisse	373
Allemagne	357
Grande Bretagne	353
Autriche	228
Belgique	122
Portugal	71
Pays-Bas	66
Malte	49

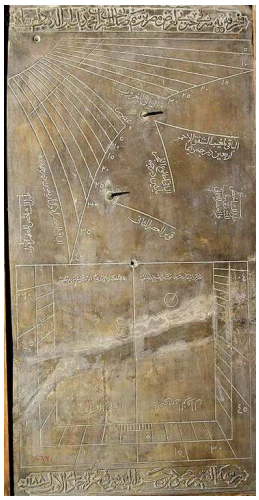
Le TOP des 10 derniers pays	(Nb de CS répertoriés)
Albanie	1
Bolivie	1
Estonie	1
Islande	1
Koweit City	1
Lituanie	1
Oman	1
Ouzbékistand	1
Philippines	1
Serbie	1

A-AUTRICHE, abbaye cistérienne de Stams, sur le porche du cloître; cadran quasi occidental, gravé et peint sur enduit, style bouleté en portique, daté 1674.



B-BELGIQUE, dans le parc de Molenvijverpark de Genk; cadran polaire méridional, gravé et peint sur ciment, style en portique.

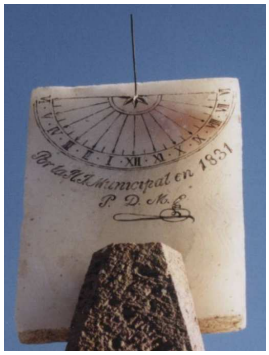
D-ALLEMAGNE, à Stadt près de Sankt-Blasien n°15, am Kurgarten, près de l'église; cadran déclinant de l'après-midi, baroque, gravé et peint sur enduit.



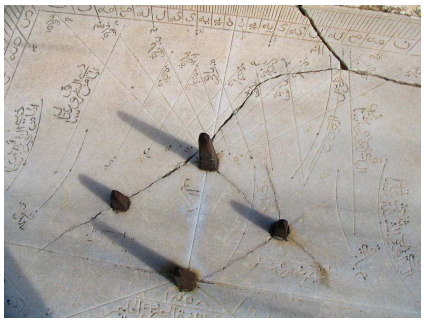
ET-EGYPTE, Musée d'ART ISLAMIQUE du Caire, dans les réserves; déclinant de l'après-midi, gravé sur marbre, moitié inférieure, cadran «classique», lignes chiffrées avec divisions de 20 en 20 mn et divisions de 4 en 4 mn, style polaire absent, moitié supérieure pour heures des prières, lignes courbes et italiques, signature.

RA-ARGENTINE, Place San Martin de Cordoba, musée Dean Gregorio Funes, au-dessus de la porte; cadran méridional du XVIIIème, lignes chiffrées dans bandeaux, style triangulaire.

RC-CHINE, Palais impérial, cité interdite de Beijing, cadran équatorial circulaire, biface, du même type que deux autres cadrans, style effilé pour chaque face.



PE-PEROU, Plaza de Armas à Chucuito,, 2 tracés, faces Sud et Nord gravés et peints, style droit, daté 1831.



TU-TUNISIE, Mosquée de Sidi Okba, l'un des 3 cadrans: horizontal avec heures astronomiques de 4 en 4 minutes, heures italiques et babyloniques, arcs des prières Asr et Zohr, arcs, de l'aube et du crépuscule, daté 1N01 soit 1842.

****

Cadrans écliptiques de Jaïpur

Par Denis Savoie[1] et Gérard Baillet

L'observatoire de Jaïpur[2], fondé vers 1718 au Radjasthan, est le plus remarquable des cinq observatoires indiens érigés par le Maharaja Sawai Jai Singh II (1688-1744). Il est composé d'une vingtaine de cadrans solaires géants, ce qui en fait le plus important observatoire " gnomonique " connu[3].

Les cadrans solaires écliptiques de l'observatoire de Jaïpur par D.Savoie

Parmi les cadrans solaires qu'il contient (équatoriaux, sphères…), les douze " Rasivalayas " sont sans doute les plus intéressants à étudier puisqu'ils servent à mesurer la longitude écliptique d'un astre. La littérature qui traite du sujet reste très vague, – c'est un euphémisme –, sur la façon dont ces cadrans fonctionnent… La solution proposée ici, qui ne concerne que le Soleil, n'a donc pas la prétention d'être celle qui fut utilisée par Jai Singh II ; il se peut par ailleurs qu'une autre méthode de détermination ait été mise au point.

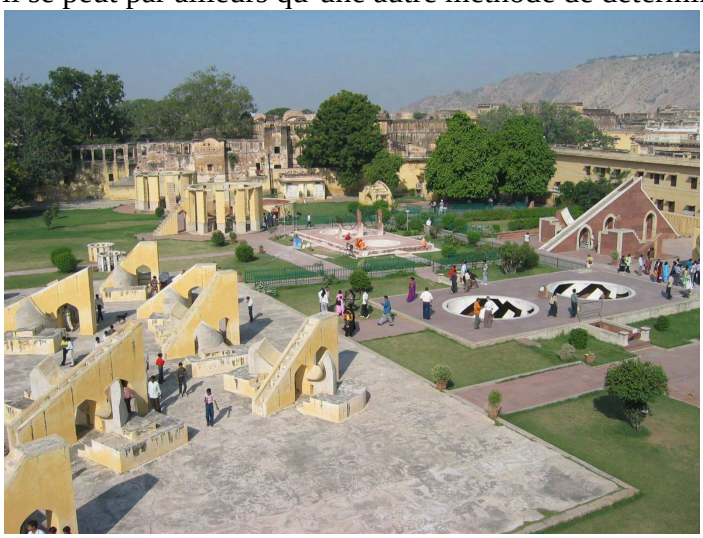


Fig. 1 – Photographie d'une partie de l'observatoire de Jaïpur. Au premier plan sur la gauche, on distingue une partie des cadrans Rasivalayas et leurs orientations différentes.

Les douze Rasivalayas sont des cadrans solaires armillaires (fig. 1), dont le style pointe le pôle Nord de l'écliptique à un instant donné. Ils permettent, éclairés par le Soleil, de connaître sa longitude écliptique[4].

Pour comprendre leur principe, il est nécessaire d'introduire certaines notions, devenues aujourd'hui obsolètes, mais qui étaient familières aux astronomes des XVIIe et XVIIIe siècles.

1 – Pôle de l'écliptique et nonagésime

Rappelons que le pôle Nord de l'écliptique tourne en 23 h 56 m 04 s autour du pôle céleste Nord, dont il est écarté actuellement de 23° 26' (obliquité de l'écliptique). Pour un

---

[1] SYRTE, Observatoire de Paris.

[2] Il n'existe pratiquement aucune littérature sérieuse en français sur le sujet. Voir Virenda Nath SHARMA, *Sawai Jai Singh and his astronomy*, Dehli , 1995, en particulier les chapitres VI et VII. Sur l'astronomie indienne (mais pas celle de Jai Singh), voir D. PINGREE, *History of Mathematical Astronomy in India*, DSB, vol. 15, 1978, p. 533-633. Le texte où Jai Singh décrit les instruments de Jaïpur a été édité et commenté par Sreeramula Rajeswara SARMA, " Yantraprakara of Sawai Jai Singh ", *Supplement to Studies in History of Medecine and Science*, vols. X et XI, 1986-1987, New Dehli, p. 1-142.

[3] Notons qu'il a été restauré en 1901-1902 puis en partie en 1945. Sur cette restauration et les problèmes qu'elle pose, voir Virenda Nath SHARMA, *op. cit.*, p. 149-151.

[4] On sait qu'un cadran solaire permet de lire en priorité l'angle horaire du Soleil, mais aussi sa déclinaison, le temps sidéral et indirectement son ascension droite.

observateur regardant la direction géographique du Nord, le pôle de l'écliptique tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Sa hauteur au-dessus de l'horizon et son azimut sont donc variables au cours d'une journée et au cours de l'année (fig. 2).

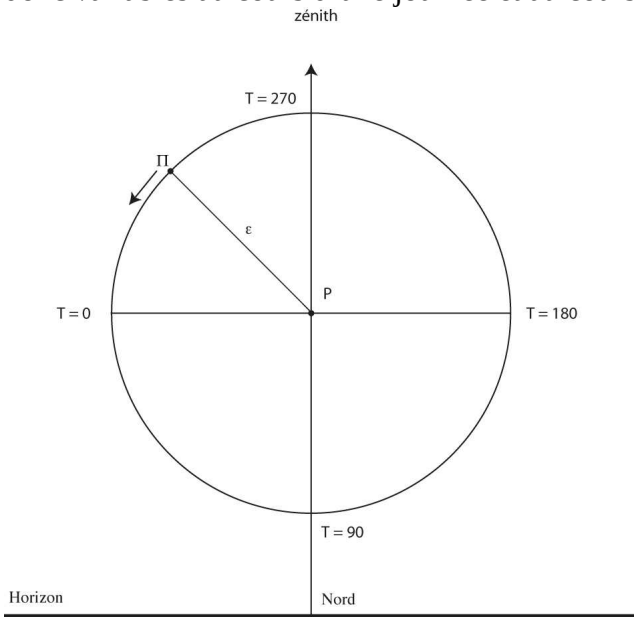


Fig.2 – Déplacement du pôle de l'écliptique autour du pôle de l'équateur au cours d'une rotation sidérale pour un observateur regardant vers le Nord.

a) Orientation et inclinaison des styles

Chaque cadran ayant un style qui a une inclinaison et une orientation différentes, il faut dans un premier temps chercher comment on obtient ces paramètres. Il suffit d'établir les relations en trigonométrie sphérique donnant l'azimut et la hauteur du pôle de l'écliptique.

En appelant D la déclinaison gnomonique d'un style[5], on a :

$$\tan D = \frac{-\cos T}{\cos\phi\cot\varepsilon + \sin\phi\sin T}$$

T étant le temps sidéral local (angle horaire du point vernal), ϕ la latitude du lieu et ε l'obliquité de l'écliptique.

Cette formule permet donc de fixer l'orientation des styles des douze Rasivalayas : chaque cadran étant fixe, son style pointe vers le pôle de l'écliptique pour des valeurs remarquables du temps sidéral (valeurs multiples de 30°). A Jaïpur, les cadrans sont nommés par signe zodiacal : le cadran du Cancer par exemple correspond à T = 90°, ce qui signifie que lorsque le temps sidéral vaut 90° (soit 6 h), c'est le signe du Cancer qui culmine au méridien.

La distance angulaire z entre le pôle Nord de l'écliptique et l'horizon s'obtient par :

$$\sin z = \sin\phi\cos\varepsilon - \cos\phi\sin\varepsilon\sin T$$

Cette formule permet de fixer l'inclinaison i du style des cadrans sur l'horizon : i = z (z est la distance zénithale du style droit perpendiculaire au plan du cadran). La latitude de l'observatoire de Jaïpur étant + 26° 55' 29'', on déduit qu'actuellement, le pôle de l'écliptique oscille entre 3° 29' et 50° 22' de hauteur au-dessus de l'horizon au cours d'une rotation sidérale.

b) Nonagésime

Le nonagésime est le point de l'écliptique se trouvant à 90° de l'ascendant et du descendant et perpendiculaire à un vertical d'azimut[6] issu du zénith ; l'ascendant désigne le

[5] Il s'agit de la déclinaison gnomonique d'un style droit fictif placé sur le style incliné. A Jaïpur, cet angle reste compris entre + 26° et – 26°. La plus grande digression du pôle Nord de l'écliptique vaut ± 26° 30' par rapport au Nord.

[6] Voir DELAMBRE, *Astronomie théorique et pratique*, Paris, 1814, vol. 1, p. 363-367 et p. 514-516. Voir aussi LALANDE, *Astronomie*, 2e éd. revue et augmentée, t. I, Paris, 1771, p. 364-373. LA CAILLE, *Leçons élémentaires d'astronomie géométrique et physique*, Paris, 1780, p. 218, proposition 618. Le nonagésime est complètement tombé en désuétude en astronomie moderne. Seuls les astrologues utilisent encore cette notion qui n'est importante que dans une " astronomie écliptique ". Delambre, dans son *Astronomie théorique et pratique*, établit des relations trigonométriques permettant de déterminer l'inclinaison de l'écliptique sur l'horizon

point de l'écliptique se levant vers l'Est, le descendant le point de l'écliptique se couchant vers l'Ouest (fig. 3). Cela signifie que le méridien qui passe par le pôle Nord de l'écliptique et par le zénith du lieu est perpendiculaire à l'écliptique.

Si λ_A désigne la longitude de l'ascendant, et λ_N la longitude du nonagésime, on a :

$$\tan \lambda_A = \frac{-\cos T}{\sin \varepsilon \tan \phi + \cos \varepsilon \sin T}$$

d'où $\lambda_N = \lambda_A - 90°$. λ_A étant obtenu par un arctangente, on prend la valeur absolue du résultat et l'on distingue les cas suivants :

si $0° \leq T \leq 90°$ $\lambda_A = 180° - |\lambda_A|$
si $90° \leq T \leq 180°$ $\lambda_A = 180° + |\lambda_A|$
si $180° \leq T \leq 270°$ $\lambda_A = 360° - |\lambda_A|$
si $T = 360°$ $\lambda_A = 180° - |\lambda_A|$

Pour une valeur donnée du temps sidéral, l'écliptique prend une position précise dans le ciel par rapport à l'horizon. Donc la partie armillaire de chacun des douze Rasivalayas correspond à la projection de l'écliptique pour un temps sidéral donné, c'est-à-dire à une position précise du nonagésime.

La question fondamentale est de savoir la quantité qu'on lit sur le cadran ; sur la figure 3, on voit que c'est l'angle F, c'est-à-dire l'angle entre la direction du Soleil et la direction du nonagésime ou, en d'autres termes, l'angle entre le méridien passant par le pôle de l'écliptique , le zénith, et la direction du Soleil.

Or cet angle F est lié à la longitude écliptique λ du Soleil, par la relation :

$$\lambda_N = F + \lambda$$

d'où l'on déduit λ, quantité recherchée, par $\lambda = \lambda_N - F$.

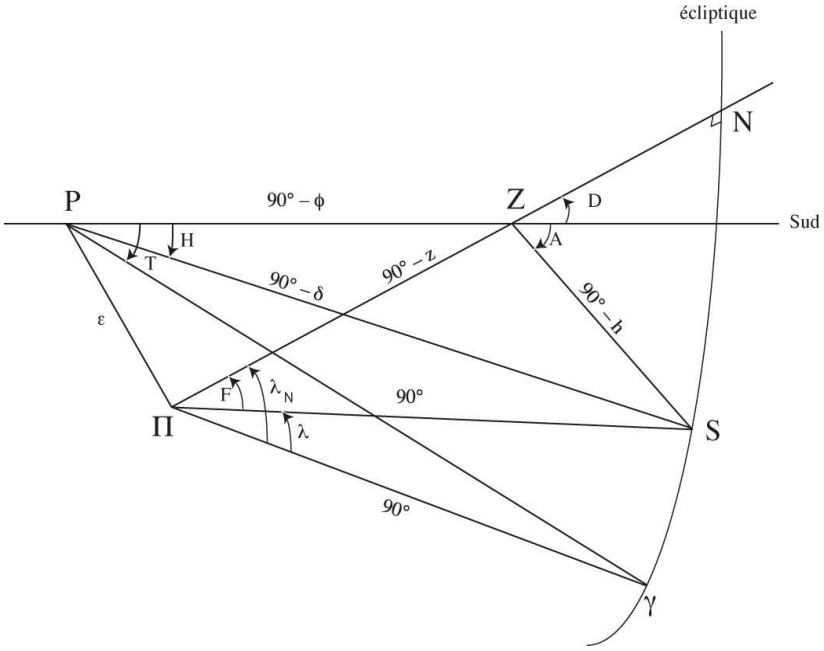


Fig. 3 – Vue sphérique du nonagésime N et de l'angle F lu sur les cadrans Rasivalayas. P désigne le pôle céleste Nord, Π le pôle Nord de l'écliptique, Z le zénith, S le Soleil, γ le point vernal.

2 – Fonctionnement des cadrans

Il est important de comprendre qu'à chaque cadran correspond une valeur précise du nonagésime. En d'autres termes, chaque cadran possède sa " constante " propre : l'utilisation

ainsi que la longitude du nonagésime. Il examine également le probléme de l'angle entre un vertical d'azimut et l'écliptique. La solution est évidemment assez lourde lorsque l'on passe par la tangente au lieu du sinus. Quant à Lalande, *Astronomie*, il écrit (Livre IX, article 1660) que Kepler a utilisé la méthode du nonagésime pour trouver les effets de parallaxe en longitude et en latitude.

d'une table donnant λ_N est donc indispensable pour la conversion de l'angle lu sur le cadran en longitude écliptique. Qui plus est, les cadrans ne sont pas utilisables à n'importe quel instant de la journée ni toute l'année ! Tout le problème est de savoir quand et où lire l'angle F. A la première question, il convient de préciser qu'on lit l'angle F sur la partie où le style projette une ombre et non sur la partie où peut se projeter l'ombre d'un bord de l'armille. Cette dernière est graduée en degrés, de 0° à + 90° sur la droite, et de 0° à – 90° sur la gauche.

Le style doit être muni d'un indicateur, par exemple une barre transversale, alignée avec la projection de l'écliptique sur l'armille. L'ombre de cette barre est située tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la graduation. Ce n'est qu'à l'instant où l'ombre de cette barre coïncide avec la graduation écliptique qu'on lit l'angle F, très précisément à l'intersection de l'ombre du style et de la barre. A cet instant, on lit F, auquel on joute la constante du cadran (λ_N), d'où l'on déduit la longitude écliptique du Soleil.

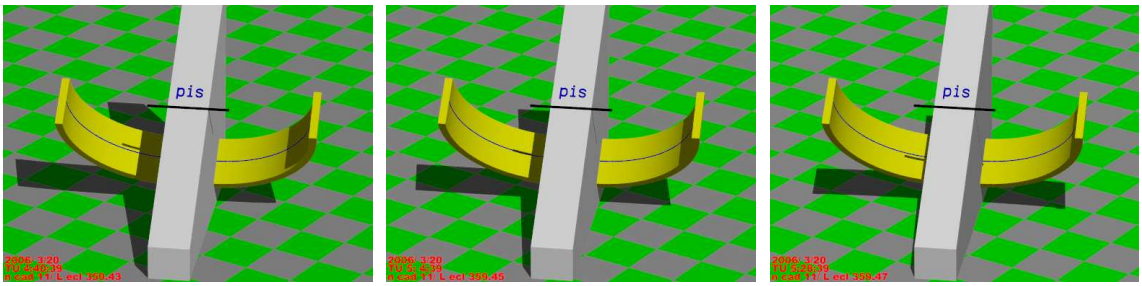


Fig. 4 – Sur ces simulations dues à G. Baillet , on voit la progression de l'ombre de la barre transversale sur l'armille : la lecture de l'angle F s'effectue lorsqu'il y a coïncidence avec le grand cercle, qui représente alors la projection de l'écliptique à un instant déterminé du temps sidéral.

Le plus simple est de prendre un exemple concret : prenons le cas du cadran qui correspond au signe des Gémeaux (T = 60° ; λ_N = 63°,3564) à Jaïpur; imaginons que l'on soit le 5 mai (il n'est pas obligatoire de connaître la date), juste après le passage du Soleil au méridien. L'ombre du style progresse sur la partie droite de l'armille ; l'ombre de la barre horizontale est d'abord située au-dessus de la graduation ; elle se rapproche, puis coïncide avec le cercle gradué ; on lit alors (en supposant que cela soit possible avec une telle précision) F = +18°,356. On en déduit que λ = 45°. Si au même instant on lit sur un cadran solaire " classique " l'angle horaire du Soleil, on obtient H = 17°,464.

Que penser du résultat ? Si la longitude du Soleil vaut 45°, son ascension droite vaut 42°,536 ($\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan \lambda$) ; sachant que $H = T - \alpha$, on vérifie bien que 60° – 42°,536 = 17°,464.

Remarquons que la lecture n'est possible sur ce cadran parce que le Soleil est au-dessus de l'horizon : le temps sidéral peut valoir 60° alors que le Soleil est sous l'horizon !

Imaginons qu'on ait " loupé " le passage au temps sidéral 60° sur le cadran précédent ; il faut attendre près de 2 heures pour aller lire l'angle F sur le cadran T = 90°. On lira alors F = 45° pour un angle horaire du Soleil H = 47°,464. De même on lira sur le cadran T = 120° un angle F = 71°,644 pour un H = 77°,464.

On pourrait imaginer qu'un cadran solaire de temps sidéral soit installé à proximité : lorsque ce cadran indique telle heure sidérale, on lit l'angle F sur le cadran correspondant. On peut même directement graduer les cadrans en longitude écliptique en intégrant la longitude du nonagésime.

Il y a cependant un hiatus ; en effet, sur le cadran T = 60°, l'ombre de la barre horizontale du style franchit la graduation le matin, et on lit alors F = – 71°,644, pour un H = – 77°,474. Ce qui donne une longitude du Soleil de 135°, au lieu de 45°.

Notons qu'un tel cadran n'est pas utilisable toute l'année : dès que | F | > 90°, la lecture devient impossible. Par exemple sur le cadran T = 60° (Gémeaux), dont la constante est λ_N = 63°,356, on ne plus y lire l'angle F si λ > 153°,356 et λ < 333°,356.

Il n'est pas inutile de se demander ce qu'on lit sur un tel cadran en dehors de l'instant où le temps sidéral prend une valeur précise. Comme aucun des styles ne pointe le pôle céleste, cela revient à considérer le cas d'un cadran dont le style est mal orienté[7] ; dans ce cas, on lit « angle horaire fautif » dont on ne peut rien faire !

Par contre, l'usage à des fins astrologiques est aisé, car on peut connaître, en plus du signe zodiacal dans lequel est situé le Soleil, l'ascendant ; en reprenant l'exemple du cadran T = 60° (Gémeaux), dès qu'on y lit l'angle F (donc au bon instant), on sait que se lève obligatoirement le point de longitude écliptique λ = 153°,356, c'est-à-dire 90° + λ_N.

En utilisant une obliquité moderne (23°,4382), voici les constantes des douze cadrans (temps sidéral, longitude du nonagésime, déclinaison gnomonique du style écliptique, inclinaison du style sur l'horizon), la latitude de l'observatoire de Jaïpur étant + 26° 55' 29'' :

T = 0°	λ_N = 11°,4207	D = – 25°,9308	i = 24°,5481
T = 30°	λ_N = 37°,3427	D = – 20°,7734	i = 13°,7765
T = 60°	λ_N = 63°,3564	D = – 11°,5403	i = 6°,2189
T = 90°	λ_N = 90°	D = 0°	i = 3°,4865
T = 120°	λ_N = 116°,6436	D = 11°,5403	i = 6°,2189
T = 150°	λ_N = 142°,6573	D = 20°,7734	i = 13°,7765
T = 180°	λ_N = 168°,5793	D = 25°,9308	i = 24°,5481
T = 210°	λ_N = 196°,5125	D = 25°,3229	i = 36°,3545
T = 240°	λ_N = 229°,8424	D = 16°,7202	i = 46°,2685
T = 270°	λ_N = 270°	D = 0°	i = 50°,3629
T = 300°	λ_N = 310°,1576	D = – 16°,7202	i = 46°,2685
T = 330°	λ_N = 343°,4875	D = – 25°,3229	i = 36°,3545

3 – Etude gnomonique

Remarquons que les cadrans armillaires Rasivalayas sont l'équivalent de cadrans plans inclinés et déclinants munis d'un style droit (fig. 5). On doit lire l'angle F sur un tel cadran lorsque l'ombre du style droit franchit l'axe[8] des x (perpendiculaire à la ligne de plus grande pente), donc lorsque la coordonnée y de l'ombre est égale à zéro.

L'angle horaire H du Soleil à l'instant de la lecture s'obtient par :

$$[\cos z \sin D] \sin H - [\cos \phi \sin z - \sin \phi \cos z \cos D] \cos H = \tan \delta (\sin \phi \sin z + \cos \phi \cos z \cos D)$$

équation du type A sin H – B cos H = C que l'on résout à l'aide d'un angle auxiliaire M en faisant : tan M = B/A puis sin(H – M) = C / m avec m = A / cos M.

Il convient de remarquer que l'angle M obtenu par la tangente donne deux solutions, M et M ± 180°, ce qui signifie que l'on obtient finalement deux angles horaires du Soleil pour lesquels l'ombre du style obéit à y = 0. On peut parfois éliminer l'angle horaire " fautif " en vérifiant qu'à cet instant le Soleil est sous l'horizon.

Plus simplement, on a H = T – α (avec tan α = cos ε tan λ et sin δ = sin ε sin λ) ; dans les deux cas, on suppose la date connue.

[7] Voir D. SAVOIE, *La Gnomonique*, Les Belles Lettres, Paris, 2001, p. 325-329.
[8] Voir D. Savoie, *La Gnomonique, op. cit*, chap. VI.

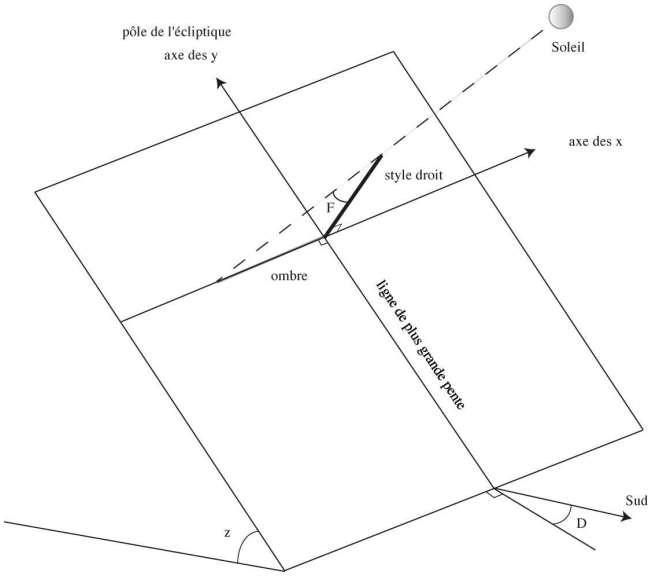


Fig. 5 – Cadran plan incliné déclinant muni d'un style droit. On peut graduer l'axe de x en degrés de sorte que lorsque l'ombre du style droit coupe cet axe, on lit directement l'angle F. Comme chaque cadran possède une constante propre (longitude du nonagésime), on peut même directement le graduer en longitude écliptique.

Quant à l'angle F, on l'obtient directement[9] (une valeur négative de F signifie que la lecture s'effectue sur la partie gauche de l'armille donc à gauche de la ligne de plus grande pente) par :

$$\tan F = [\cos D \sin H - \sin D (\sin \phi \cos H - \cos \phi \tan \delta)] / Q$$

$$Q = \sin D \sin z \sin H + \cos H (\cos \phi \cos z + \sin \phi \sin z \cos D) + \tan \delta (\sin \phi \cos z - \cos \phi \sin z \cos D)$$

Exemple : prenons le cadran T = 0° (signe du Bélier) sachant que la longitude du Soleil vaut 55°. On a alors α = 52°,65 et δ = 19°,016. Les paramètres du cadran sont D = – 25°,9308, z = 24°,5481, et λ_N = 11°,4207.

On a M = 0° (ou M = – 180°), d'où H = – 52°,65 (ou H = – 127°,35 : mais à cet instant, le Soleil est sous l'horizon) d'où F = – 43°,58. On vérifie bien que H = – α puisque T = 0° et que $\lambda = \lambda_N$ – F, soit 11°,4207 + 43°,58 = 55°.

Que penser maintenant de la précision de ces cadrans et de leur réelle utilité ? Notons premièrement que leurs imposantes dimensions impliquent un effet de pénombre non négligeable qui altère la lecture des angles. Seul un examen *in situ* permettrait de donner un ordre de grandeur de l'erreur commise.

La construction de ces cadrans, en dépit des restaurations, nécessitait à l'époque de Jai Singh II une connaissance précise de l'obliquité de l'écliptique (23° 28' vers 1750), non seulement pour fixer leur orientation mais également pour établir la constante de chaque cadran (longitude du nonagésime). C'est là un point faible de ces cadrans : ils ne sont plus valides aujourd'hui en toute rigueur, l'obliquité ayant diminué de 2'.

L'objectif initial du Maharaja était, à l'instar de Tycho Brahe, d'améliorer les tables astronomiques existantes[10]. S'il est difficile d'estimer quel a été l'apport des Rasivalayas dans

[9] Il existe des relations plus simples, comme cos F = sin h / cos z, ou encore des relations qui font intervenir l'azimut ; mais des problèmes de signe se posent pour savoir si F est positif ou négatif.

l'établissement de ces tables, il n'en demeure pas moins que cet astronome éclairé a doté l'Inde de plusieurs observatoires magnifiques et imaginé des instruments gnomoniques uniques au monde de par leur beauté et leur originalité.

Fig. 6 – Détail des cadrans Rasivalayas. On voit nettement sur ces réalisations en maçonnerie les différentes inclinaisons (et orientations) des styles.

Je tiens à remercier vivement Gérard Baillet dont l'aide a été déterminante pour vérifier le fonctionnement (voir chapître suivant) des cadrans Rasivalayas.

Détermination de l'heure d'utilisation des 12 cadrans du Rashi Valaya par Gérard Baillet

Présentation du problème

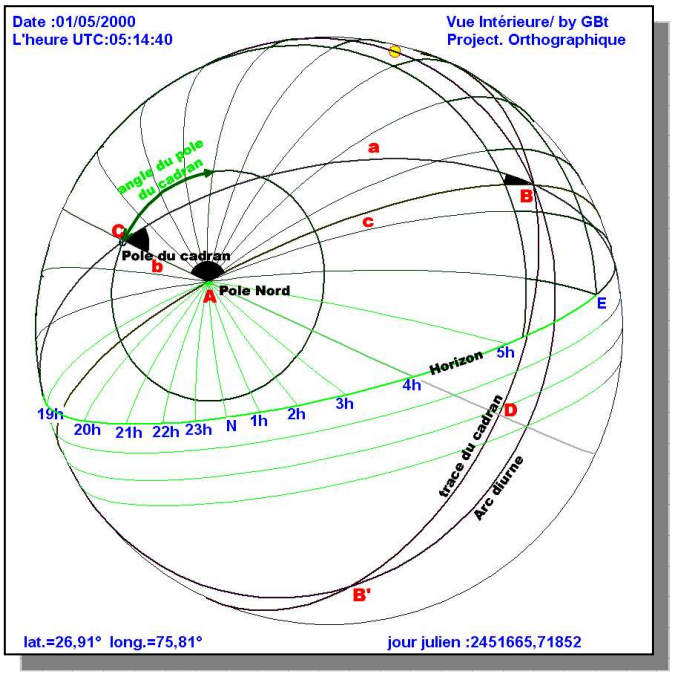
Chaque cadran est défini par la direction de son style. L'étude est matérialisée sur la sphère céleste locale. Le plan perpendiculaire au style du cadran coupe la sphère céleste locale en un grand cercle que j'appelle [trace du cadran], la direction du style coupe la sphère céleste en un point appelé [pôle du cadran] marqué C sur la figure 1. On peut aussi remarquer que le pôle de l'écliptique décrit dans la journée un petit cercle centré sur le pôle Nord et passant par le pôle du cadran.

Le trajet du soleil dans la journée (à déclinaison constante) est un petit cercle nommé [arc diurne].

---

[10] Sur les tables astronomiques de Jai Singh II, dédiées au souverain Muhammad Shahi, voir R. MERCIER, « The astronomical tables of Rājah Jai Singh Sawā□ī□ », *Indian Journal of History of Science* 19, (2), (1984) 143-171. Dans cet article, l'auteur affirme que les tables de Jai Singh II sont « identiques » à celles de La Hire de 1727. En d'autres termes, ces tables ne seraient qu'un plagiat, hormis une nouvelle détermination de l'obliquité. Ce que conteste Virenda Nath SHARMA, « ZIJ-i MUHAMMAD SHAHI AND THE TABLES OF DE LA HIRE », *Indian Journal of History of Science*, 25, (1-4), 1990, p. 34-44.

Il faut remarquer que le grand cercle [trace du cadran] est tangent aux deux solstices, que le petit cercle [arc diurne] est « parallèle » aux deux solstices et entre ceux-ci. On peut en déduire que ces deux cercles se coupent toujours en en deux points B et B' (voir figure 1). B et B' sont confondus au moment des solstices.



Les deux instants où le soleil est sur la [trace du cadran] sont ceux où le soleil se trouve en B et B'. Il faut donc calculer l'heure solaire de passage du soleil en B et B', puis déterminer lequel de ces deux point est utilisable.

Associé au calcul précédent il est important de connaître les heures de lever et coucher du soleil, le cadran n'étant utilisable qu'avec le soleil au dessus de l'horizon.

Dans la suite nous allons donner les éléments intermédiaires permettant de calculer les heures de passage du soleil sur la [trace du cadran] ainsi que les heures de lever et coucher du soleil.

◀ Figure 1

Intersection du petit cercle [arc diurne] avec la trace du cadran *(Voir figure 1)*

Résolution du triangle sphérique ABC :

- A pôle Nord céleste
- B intersection avec le cercle diurne
- C pôle de la trace du cadran

On connaît :

- Déclinaison du soleil : decl (à calculer voir la suite)
- Inclinaison de l'écliptique : incl 23°26'

On a : a = 90°; b = incl; c = 90° – decl

D'où **A = acos((-cos(b) x cos(c))/(sin(b) x sin(c)))** **formule 1**

Heure de lever/coucher

Dans le triangle sphérique ABC avec (voir figure 2: sphère céleste locale en projection stéréographique) :

A pôle nord céleste
B lever ou coucher sur l'horizon
C point sud sur l'horizon (angle droit)
latitude : latitude du lieu

On connaît: b = 180° – latitude;
c = 90°-decl; C = 90°
D'ou : **A = acos(tan(b) / tan(c))** **Formule 2**

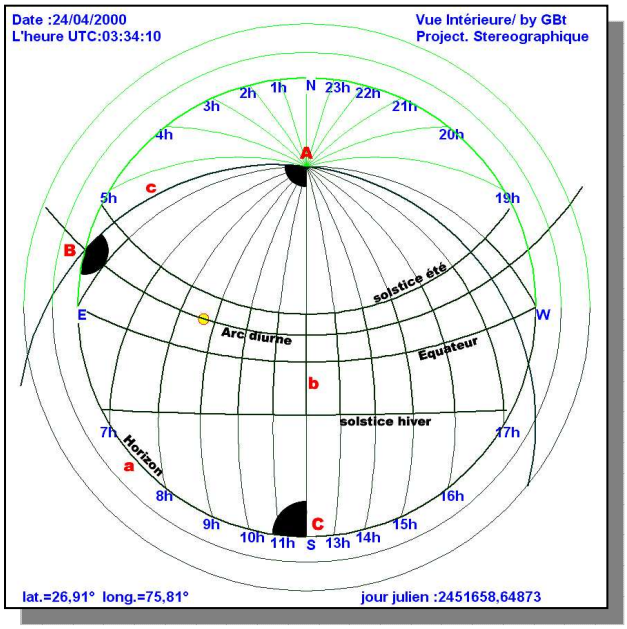
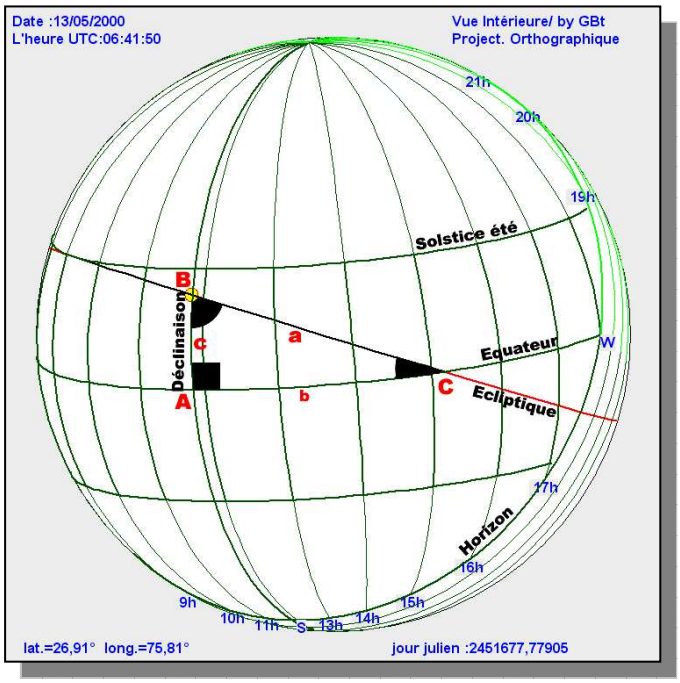


Figure 2 ▶

Calcul de la déclinaison du soleil



Le calcul de la déclinaison du soleil est effectué à partir de la longitude écliptique du soleil.
Ce calcul est réalisé dans le triangle sphérique ABC rectangle en A. (voir figure 3).
Les valeurs connues sont :
Inclinaison de l'écliptique : C = 23°26'
Longitude écliptique: a

Valeur recherchée
Déclinaison: c

c = asin(sin(a) x sin(C)) formule 3

◂ Figure 3

Calcul des heures de passage

Pour ce calcul on utilise les notations de la figure 1
Dans ce paragraphe :

- la notation (ah)B signifie angle horaire du point B
- le sens positif est d'Est en Ouest
- les angles sont exprimés en heure (1 heure = 15°= pi / 12)
- les résultats horaires sont toujours ramenés dans l'espace 0-24h en ajoutant ou en retranchant si nécessaire 24H. le logiciel graphique représente le heure solaire vraie de la manière suivante 0h = minuit, 12h = midi, 24h = minuit.

Calcul de (ah)B

On part de : (ah)C qui dépend du cadran choisi; CAB angle calculé par la formule 1

(ah)B = (ah)C – CAB formule 4

Calcul de (ah)B'

Sur le grand cercle [trace du cadran] B' est le symétrique de B par rapport à D. D est l'intersection du grand cercle passant par C et A avec le grand cercle [trace du cadran].

(ah)D = (ah)C – 12
(ah)B = voir résultat de la formule 4
(ah)B' = (ah)D – { (ah)B – (ah)D }
(ah)B' = 2 x (ah)D – (ah)B ou en simplifiant: **(ah)B' = (ah)C + CAB formule 5**

Exemple numérique pour la figure 1

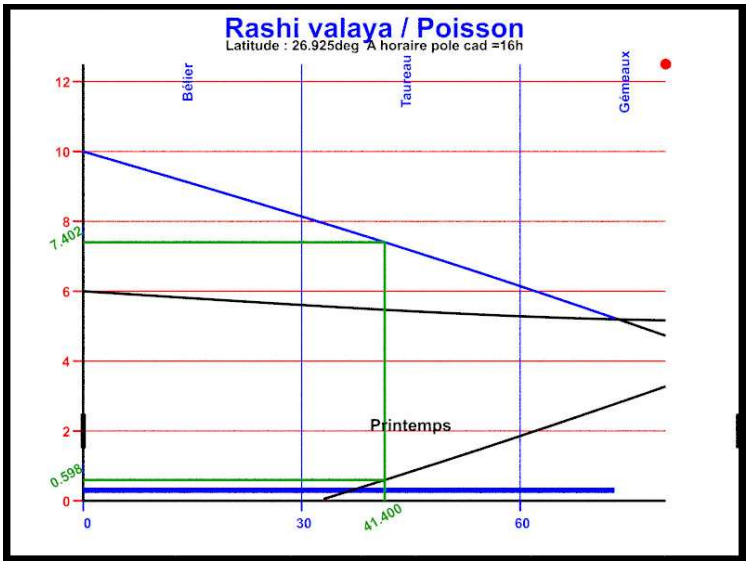
Eléments de départ :

- Date 01/05/2000
- Latitude du lieu 29,91° (en degrés décimaux)
- Angle horaire du pôle du cadran 60° ou 4h soit 16h dans la représentation graphique.

Détermination des éléments :

D'après l'IMCCE *(Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides*) la longitude écliptique pour la date à 12h UTC est : 41°24' (on néglige les secondes)

Inclinaison de l'écliptique : incl 23°26'
Déclinaison du soleil 15°14'51" d'après la formule 3 (15°15'15" d'après IMCCE)
Calcul de la formule 1 : 8,597972878 heure décimale
Calcul de (ah)B = 7,40202712 heure décimale d'après formule 4
Soit (ah)B = 7h24mn07s
Calcul de (ah)B' = 0,59797288 heure décimale d'après la formule 5
Soit (ah)B' = 0h35mn52s



On voit que ces deux valeurs représentent bien les tracés de la figure 1

Les points calculés ci dessus sont représentés sur le graphique figure 3 bis ci dessous

(Voir la figure 8 pour l'explication du graphique)

Figure 3 bis

Détermination de l'heure de passage utile

Pour un cadran donné nous avons deux passages du soleil dans la journée sur la [trace du cadran], nous devons donc déterminer le passage valide. Les figures 4 et 5 suivantes représentent ces passages.

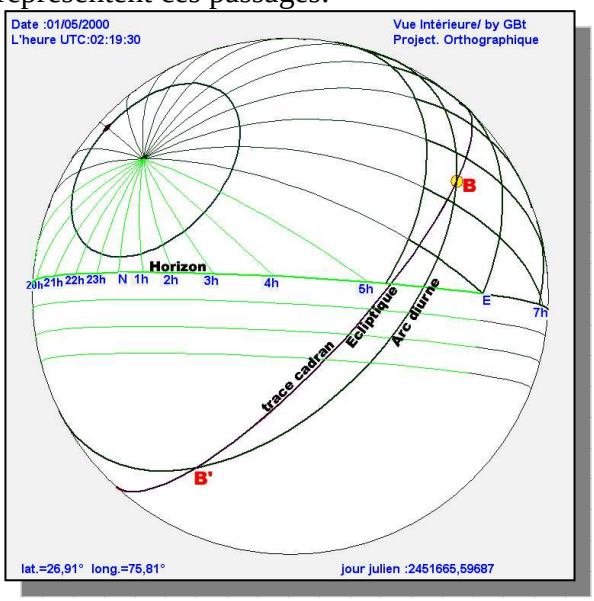


Figure 4

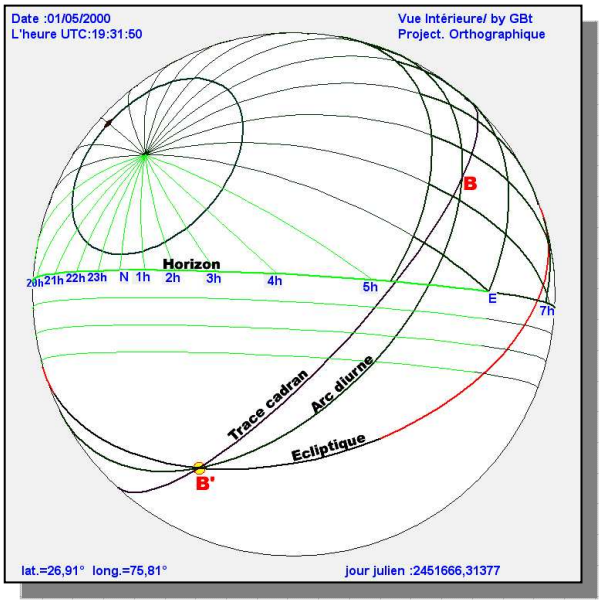


Figure 5

Ces deux figures montrent à l'évidence que lorsque le soleil est en B l'écliptique se superpose à la [trace du cadran] (figure 4) alors que ce n'est pas le cas en B' (figure 5). On peut aussi noter que lorsque le soleil est en B il fait jour alors qu'en B' il fait nuit.

Pour compléter l'analyse il faut regarder ce qu'il se passe au deuxième passage du soleil par la même déclinaison, dans la même année. Ces passages sont représentés sur les figures 6 et 7.

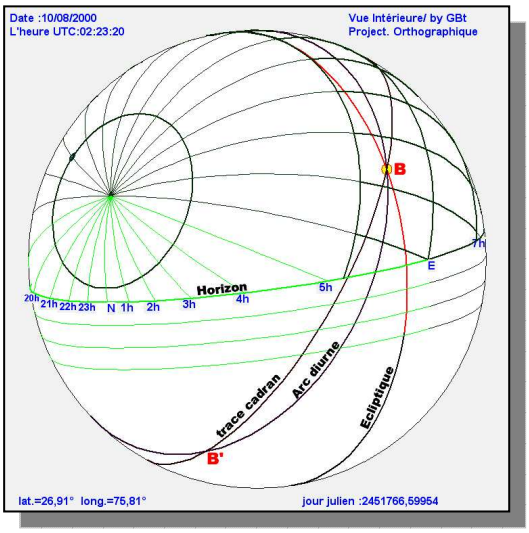


Figure 6

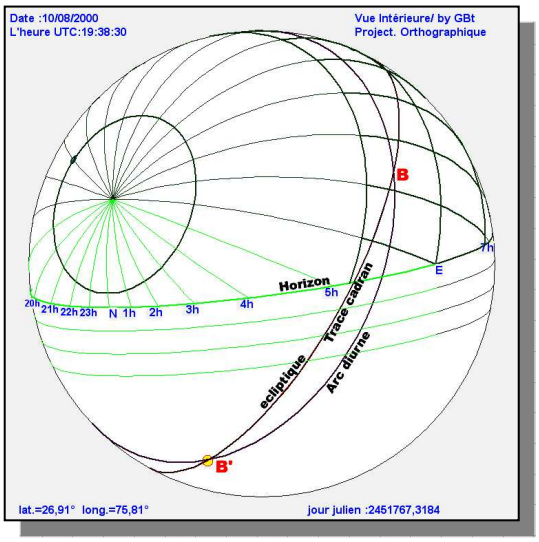


Figure 7

A la première date 01/05/2000 le passage utile est en B à la deuxième date 10/08/2000 le passage utile est en B' alors que la déclinaison du soleil est pratiquement identique.

La solution la plus évidente pour déterminer le passage utile du soleil sur la trace du cadran est de trouver la superposition du pôle de l'écliptique au pôle du cadran via les heures sidérales. Il existe néanmoins une autre méthode qui ne fait appel qu'à l'observation ou au calcul en n'utilisant que la longitude écliptique du soleil.

Méthode :

Je pars des éléments suivants dans la sphère céleste locale :

- La trace du cadran est fixe.
- L'écliptique fait un tour en 23h 56mn 4 s

La détermination se fait à partir de la notation des valeurs suivantes :

- Au jour J je note (si possible) les deux heures de passages du soleil (heure solaire vrai) h1 et h2.
- Au jour J + 1, de la même manière, je note H1 et H2

On calcule :

D1 = h1 – H1

D2 = h2 – H2

On aura D1 = -D2

Et l'on a : valeur absolue de D1 = valeur absolue de D1 = à 3mn 56s

Les heures valables sont telles que leur différence (D1 ou D2) est positive.

Exemple numérique :

Pour la date du 01/05/2000 il n'y a qu'une heure de passage observable, l'autre est de nuit, l'heure de passage calculée avec mes formules donne :

(ah)B = h1 = 7,40202712 = 7h24mn07s

Pour la date du 02/05/2000 on ajoute à la longitude 1° (valeur approximative de l'augmentation de longitude écliptique en 1 jour) et on trouve :

(ah)B = H1 = 7,33621688 = 7h20mn10s

D1 = 7,40202712 - 7,33621688 = 0,06581024 = 0h03mn56s

La différence étant positive il s'agit d'un <u>passage</u> <u>valide</u>.

Pour la date du 10/08/2000 il n'y a qu'une heure de passage observable, l'autre est de nuit, l'heure de passage calculée avec mes formules (en prenant comme longitude écliptique 138°8') donne :

(ah)B = h1 = 7,37133985 = 7h22mn16s

Pour la date du 11/05/2000 on ajoute à la longitude 1° et on trouve :

(ah)B = H1 = 7,43704675= 7h26mn13s

D1 = 7,37133985 - 7,43704675 = -0,0657069 = -0h03mn56s

La différence étant négative il s'agit d'un <u>passage</u> <u>non valide</u>.

Ces deux résultats calculés confirment les figures 4 à 7.

Conclusions

En l'absence de document de l'époque, l'objet de ce texte était de trouver une méthode utilisable au moment de la construction de ces cadrans pour déterminer, avec une approximation suffisante, les heures de lecture ainsi que la validité de celle-ci.

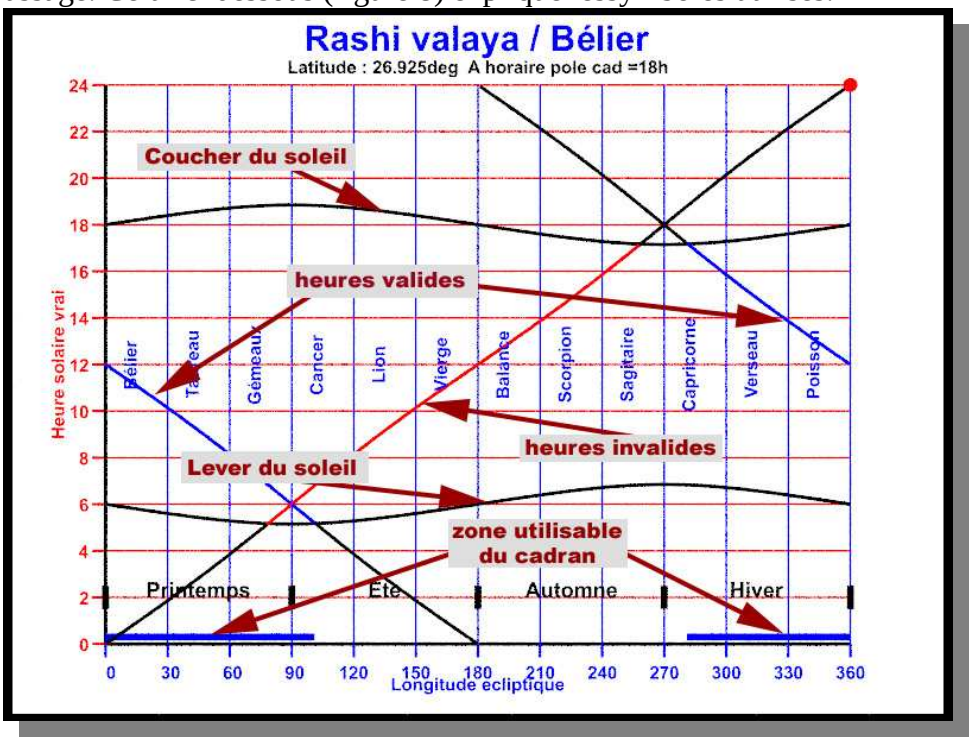
La méthode proposée qui ne nécessite que :

- La connaissance de la longitude écliptique pour le calcul.
- Ou alors une observation pendant deux jours consécutifs.

La détermination de la validité de la lecture du cadran montre que ces cadrans étaient exploitables au siècle de leur construction.

Les graphiques

Les pages suivantes donnent, pour chaque cadran, une représentation graphique des heures de passage. Celui-ci dessous (figure 8) explique lessymboles utilisés.



Discussion sur l'utilisation des graphiques

Le but des graphiques est de permettre aux personnes utilisant les cadrans de se rendre à côté du cadran adéquat avant l'heure de passage journalier utile du soleil, la précision nécessaire est donc, peut être, du quart d'heure. En effet, si le mouvement apparent du soleil est connu avec une grande précision, l'usage des cadrans est parfaitement inutile.

Le choix de graduer l'axe des abscisses en longitude écliptique permet la réalisation de graphiques qui ne dépendent pas théoriquement de l'année en cours. En effet, avec le calendrier grégorien, on peut avoir un décalage de plus ou moins une journée d'une année à l'autre, d'autre part les personnes utilisant ce genre de cadran doivent connaître suffisamment l'astronomie et l'utilisation de ce genre de coordonnées ne doit pas poser de problème.

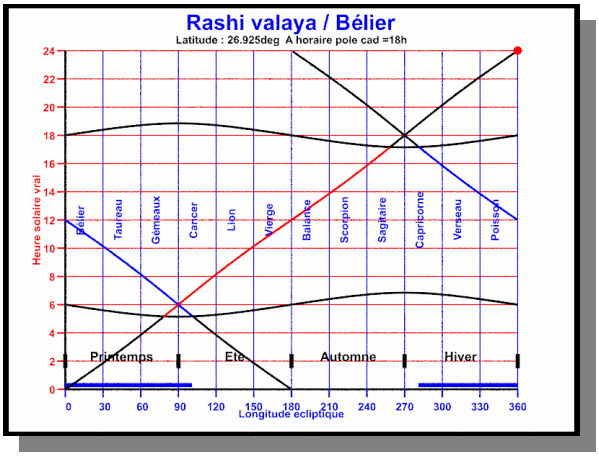


Figure 9

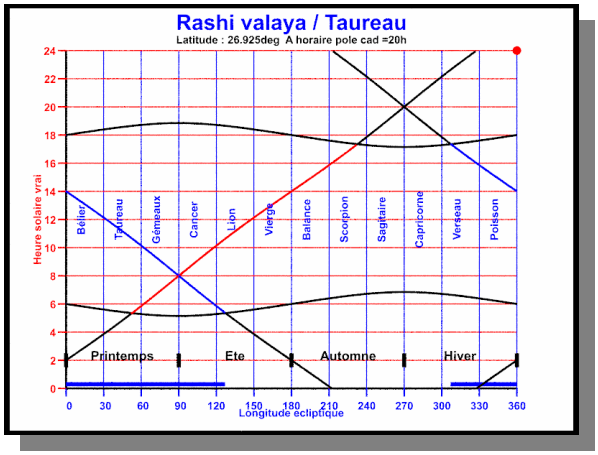


Figure 10

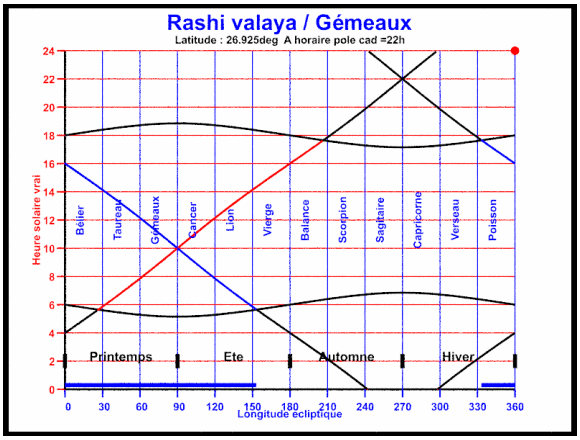


Figure 11

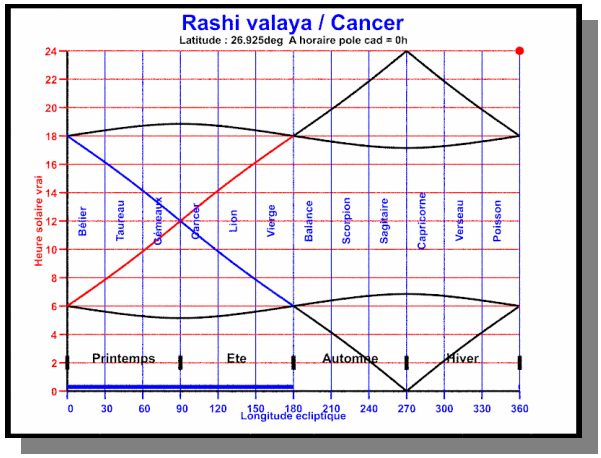


Figure 12

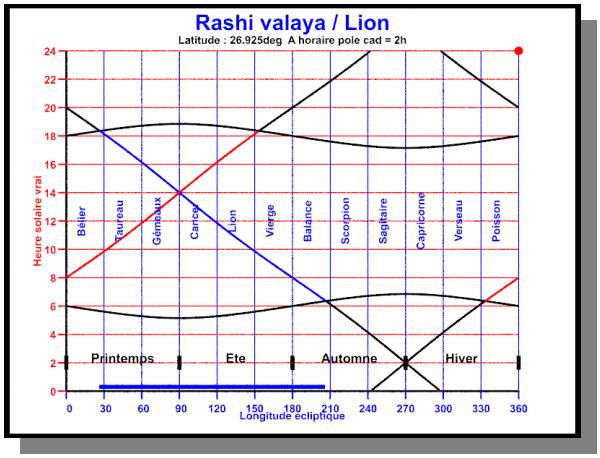


Figure 13

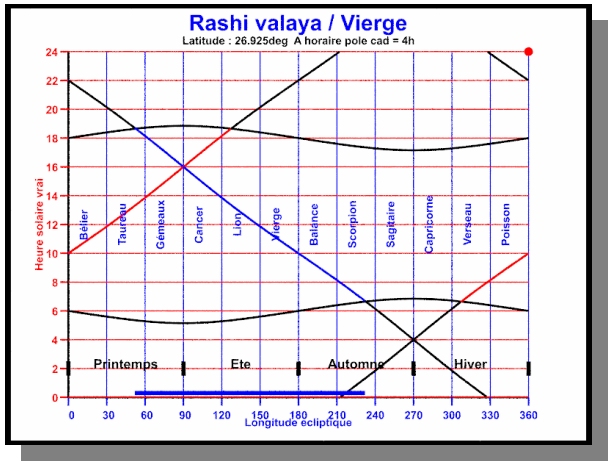


Figure 14

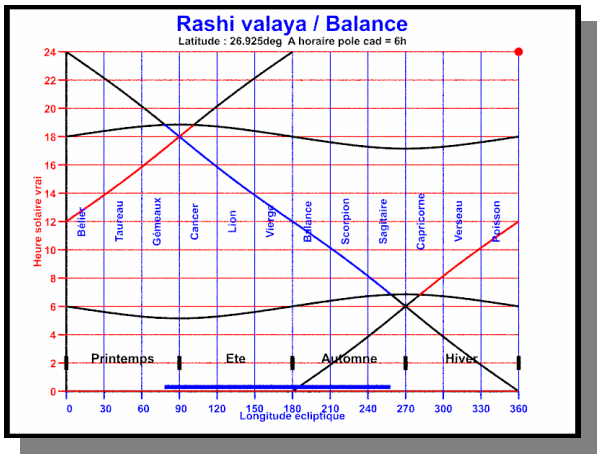


Figure 15

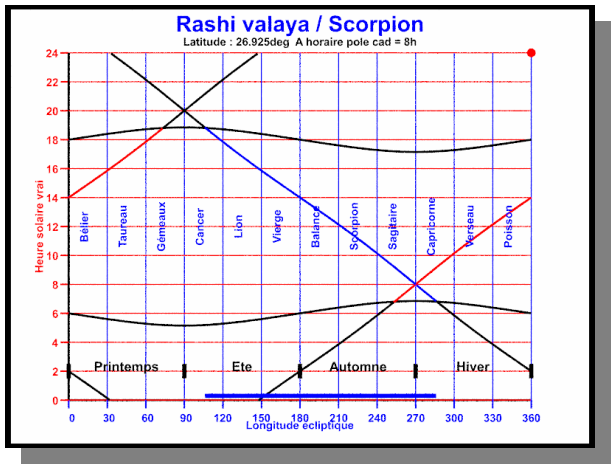


Figure 16

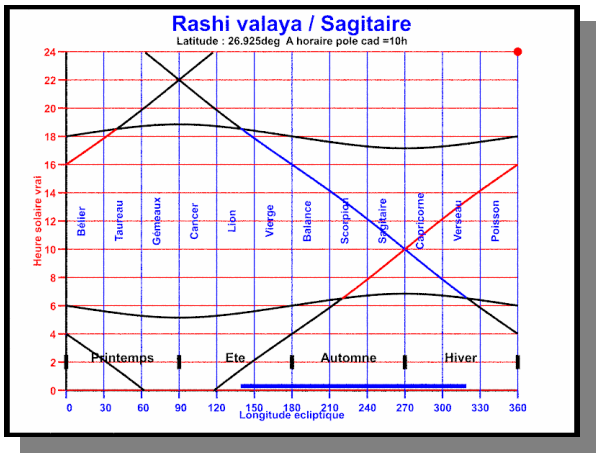


Figure 17

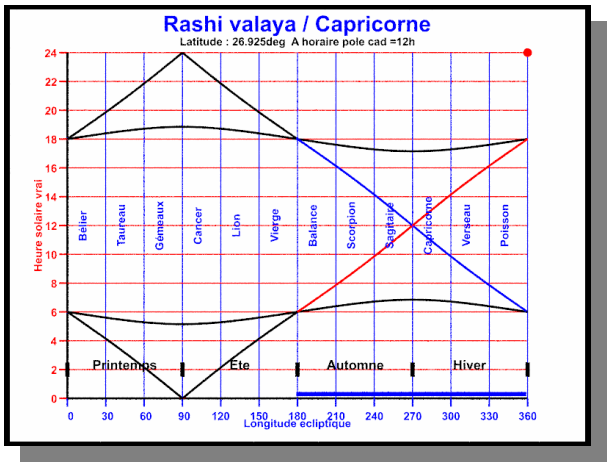


Figure 18

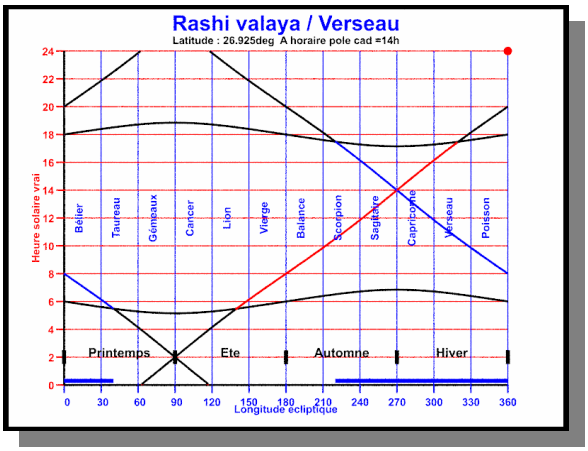


Figure 19

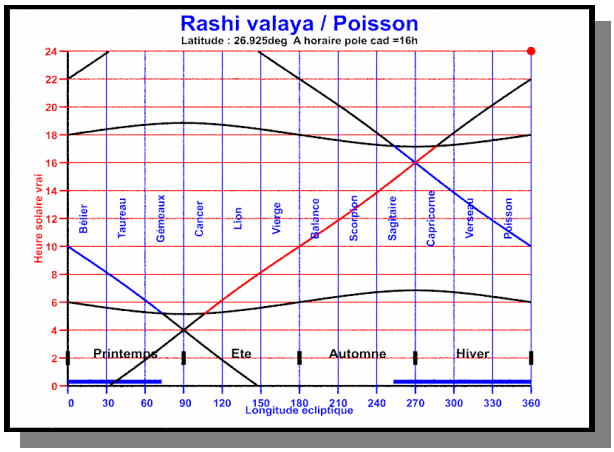


Figure 20

Vérification

Un autre logiciel, n'utilisant pas les formules précédentes est utilisé par l'auteur pour créer des animations vidéo. Les valeurs calculées sont écrites sur les images, les instants de passage du soleil sur la trace du cadran sont obtenus par itération.

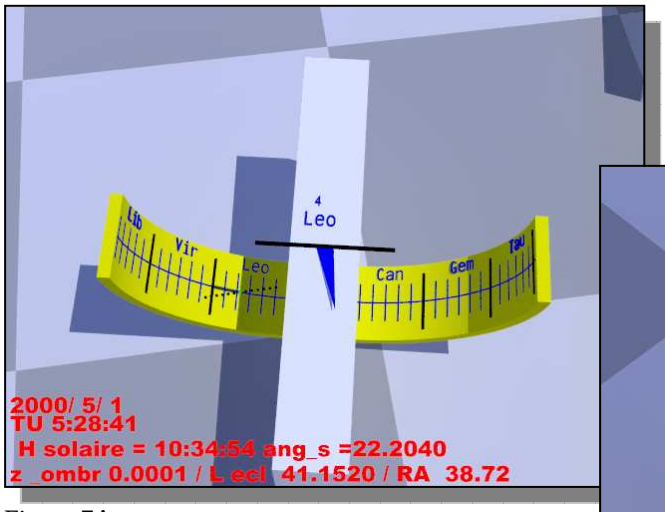


Figure 7A

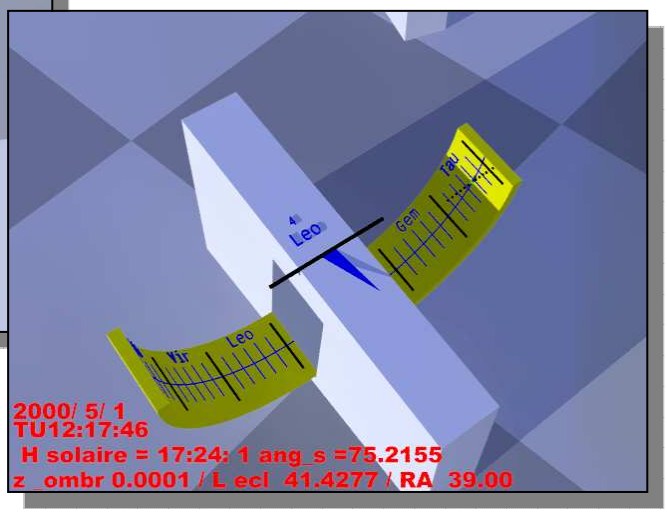


Figure 7B

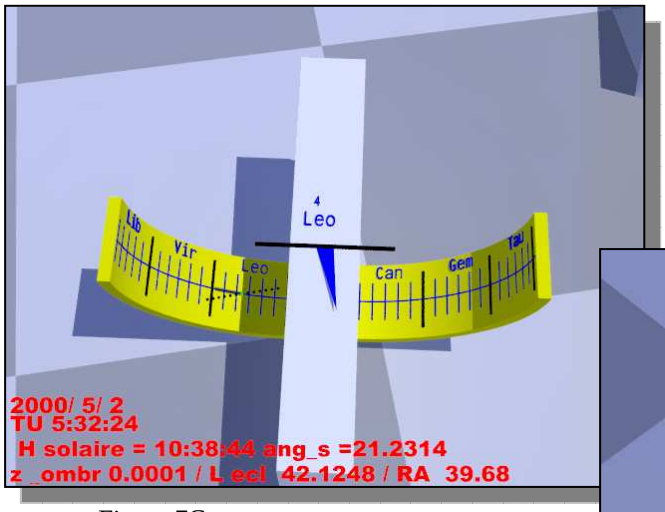


Figure 7C

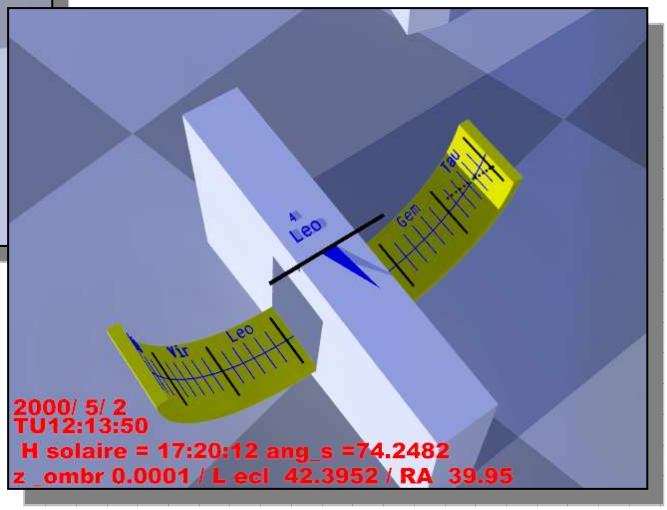


Figure 7D

On peut comparer les valeurs trouvées par le logiciel avec celles de l'IMCCE

		Longitude écliptique	Longitude écliptique	Heure solaire	Heure solaire	
Date	**Heure UTC**	**Logiciel image**	**IMCCE**	**Logiciel image**	**IMCCE**	**Validité passage**
2000/05/01	05 :28 :41	41°09'07"	41°08'45"	10 :34 :5 4	10 :34 :54.69	Non valide fig 7A
2000/05/01	12 :17 :46	41 :25'40"	41°25'18"	17 :24 : 01	17 :24 :02.4	Valide fig 7B
2000/05/02	05 :32 :24	42°07'29"	42°07'09"	10 :38 :4 4	10 :38 :44.49	Non valide fig 7C
2000/05/02	12 :13 :50	42°23'42"	42°23'22"	17 :20 :1 2	17 :20 :13.00	Valide f ig 7D

En calculant l'heure sidérale par la somme de l'angle horaire du soleil et de son ascension droite on obtient le tableau suivant (arrondi aux secondes entières).

		Heure sidérale	Heure sidérale	
Date	**Heure UTC**	**Logiciel image**	**IMCCE**	**Validité passage**
2000/05/01	05 :28 :41	01 :09 :46	01 :09 :46	Non valide fig 7A
2000/05/01	12 :17 :46	08 :00 :01	07 :59 :59	Valide fig 7B
2000/05/02	05 :32 :24	01 :17 :25	01 :17 :24	Non valide fig 7C
2000/05/02	12 :13 :50	08 :00 :01	07 :59 :59	Valide f ig 7D

L'ensemble des résultats montre une bonne concordance des valeurs avec celle de l'IMCCE.

Il est important de noter que les heures sidérales de passages utiles du soleil sur la trace d'un cadran sont fixes et égale à 8 heures sidérales, pour ce cadran.

Remerciement

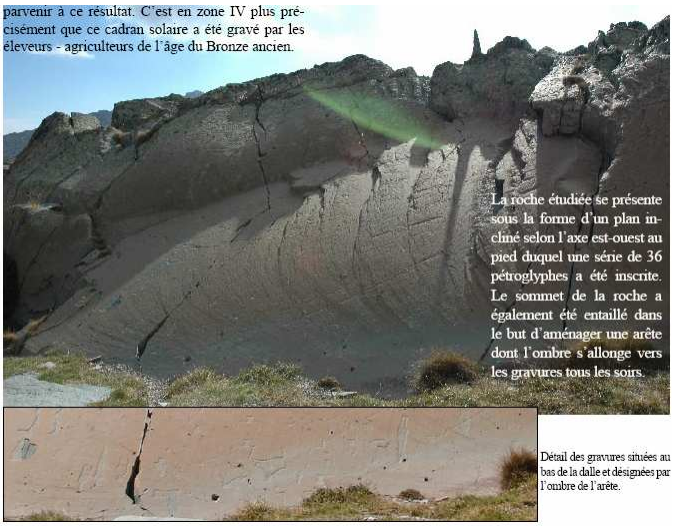
Je tiens à remercier particulièrement Monsieur Denis Savoie qui m'a proposé d'étudier avec lui ce type unique de cadran, j'ai pu découvrir à cette occasion des méthodes de calcul astronomique anciennes très instructives.

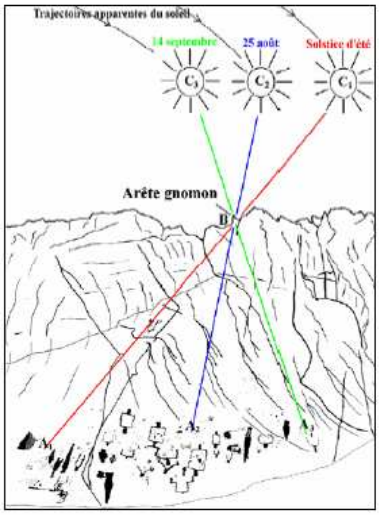
L'animation numérique de G. Baillet sera disponible dans le CI sur CD d'octobre 2007

****

Un Cadran de 4000 ans…

L'information de la découverte d'un cadran vieux de 4000 ans dans la Vallée des Merveilles (commune de Tende, Alpes-Maritime) a été relevée par D. Collin dans un article publié par le Musée d'Antropologie préhistorique de Monaco www.montbego.com daté du 2 février et dans Midi- Matin du 7. D'après les articles, les traces et garvures (des poignards à certaines dates et des bovinés à d'autres) associées à une simulation informatique a permis de définir l'existence d'un cadran saisonnier de l'age du Bronze ancien.





Réf: Musée d'Antropologie de Monaco

Denis Savoie intérrogé par D. Collin, souhaite des compléments d'études pour concidérer pleinnement ce site situé à 2450m d'altitude comme un véritable monument gnomonique.

Cadrans canoniaux

Par Denis Schneider

Poursuivant ses études sur les cadrans canoniaux, nous découvrions un type de cadran particulier à 11 secteurs, puis la communication de Denis Schneider en mai 2006 sur les cadrans qu'il a "revisité"

Cadrans canoniaux à 11 secteurs

C'est à Mike Cowham, de Cambridge, que revient la découverte en 2005 de cadran canonial de l'abbaye Sainte Marguerite d'Antioche à Bouilland en Côte d'Or, même si Isabelle Petit, dans son mémoire de maîtrise d'Histoire de l'Art en 1995, parle bien d'un cadran solaire.

L'abbaye, ruinée, était un établissement de chanoines réguliers augustiniens dont il n'existait en Côte d'Or qu'un autre exemplaire, aujourd'hui disparu, à Oigny, mais d'origine érémitique. A Bouilland, la fondation, attestée par une donation en 1143, fut mise sous la protection du pape Alexandre III par une bulle en 1164, mais, d'après la tradition, elle remonterait au XIème siècle ; ce seraient les très puissants seigneurs de Vergy qui l'auraient fondée après avoir rapporté d'Orient (retour de la 2ème vague de la 1ère croisade en 1097,) des ossements de Sainte Marguerite d'Antioche. Les raisons de cette création d'abbaye peuvent être : lieu d'abri de reliques et donc destination de pèlerinage, affirmation de la puissance des seigneurs de Vergy craints par les Ducs de bourgogne au point qu'il fallut le mariage d'Eudes III avec Alix de Vergy, en 1199, pour sceller la paix, placement des fils cadets, renforcement du pouvoir économique, recherche du salut de leur âme, lieu de sépulture…

Les terres de l'abbaye jouxtaient les possessions de Citeaux et les évêques d'Autun lui donnèrent le patronage des églises de Ruffey, Monthélie, Bessey en Chaume, Bouilland, Aubigny, Sivrey, Corcelles, Grosbois et St Branchey (selon M.Baldou).

L'abbaye est située à 17 km au NNO de Beaune au-dessus du vallon où se place le village traversé par une rivière. Elle est suffisamment importante pour avoir pu y voir vivre jusqu'à 30 chanoines réguliers. Le choix de cet ordre n'est pas anodin et s'inscrit dans le cadre général de la réforme grégorienne, même si cette fondation ait pu être établie par des laïcs au temps féodal alors que le mouvement d'ensemble était davantage celui d'une restitution des églises privées, par les laïcs à l'Eglise.

Les chanoines réguliers ont adopté la Règle dite de St Augustin, prônant l'idéal communautaire inspiré des Actes des Apôtres ; ce n'est pas le pendant de la Règle de St Benoît ; elle est beaucoup plus souple et chaque communauté lui donnait un contenu personnel ; ce sont des clercs qui partagent la vie commune, sans être des cloîtrés. Ils sont astreints à la célébration communautaire des Heures canoniales mais ils sont aussi « à la tête du peuple chrétien » et assurent la « cura animarum ». Il leur est dit : « vous êtes la lumière du monde ». Paradoxalement, l'expression dépréciative « c'est un canonicat » au sens de sinecure ne leur convient pas puisqu'ils ont précisément « charge d'âmes », ce qui était beaucoup moins le cas des chanoines séculiers occupant les stalles des cathédrales ou des collégiales et qui percevaient un bénéfice recherché, surtout à la fin du moyen-âge.

Le mouvement canonial correspond bien aux besoins spirituels du temps. Les termes « chanoine », « canonial », montrent que sa doctrine spirituelle a pris corps en des textes

fondateurs (apostoliques, patristiques, augustiniens) tout comme les Heures sont dites « canoniales » (ou, par la suite, les cadrans, « canoniaux) parce que Cassien les référa au psaume 119, actuel 118, « sept fois le jour, je redis ta louange », ce qui fera l'objet de canons dans les règles successives.

Si les chanoines ont à satisfaire aux exigences et de la vie contemplative et de la vie active, leur spiritualité est surtout axée sur l'exaltation du sacerdoce ; ce n'est donc pas tant la célébration des Heures que la messe conventuelle qui est au centre de leur vie quotidienne.

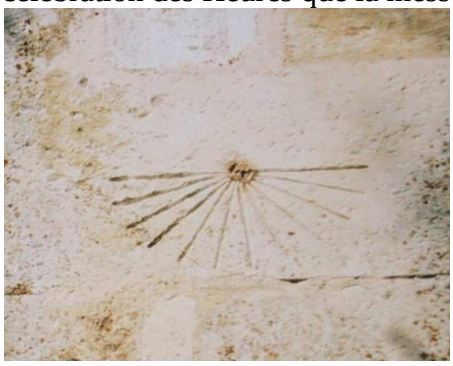


Photo 1

Si la période d'épanouissement des chanoines réguliers correspond aux XI-XIIèmes siècles, date de construction de la nef de l'abbaye Ste Marguerite, le transept, comme le chœur aujourd'hui disparu, sont du début XIVème siècle et donc le cadran canonial, situé sur le contrefort Est du transept sud, aussi (photo 1). Le canonial, qui décline de 10° vers l'Ouest, a des secteurs angulaires égaux mais sa particularité est d'en avoir 11 avec le 6ème médian, sans ligne verticale ; si le cadran avait été parfaitement méridional, la 6ème heure se serait partagée entre la fin de la matinée et le début de l'après-midi.

Curieusement, à cause de la déclinaison Ouest du mur porteur, le début de la 6ème heure commence en début d'après-midi, mais cette bizarrerie a dû échapper au constructeur.

Photo 2

Plus probablement, ne tenant pas compte de l'aspect non strictement méridional du cadran, il a voulu que le 6ème secteur soit au centre de l'éventail horaire. On retrouve cette particularité, néanmoins rare, sur des canoniaux d'Italie du sud (Conversano), de Grêce (Orchomenos, Amfissa, Agios Laurentios) qui sont en terre byzantine, en Arménie (Swarnotz, Ereruik) comme sur l'église arménienne de Jérusalem ; il est vrai qu'en France on en trouve un particulièrement beau à Gigondas dans le Vaucluse sur la chapelle Saints Côme et Damien (photo 2).

On comprend mal la raison des 11 secteurs quand on sait que la liturgie des Heures, qu'elle soit latine ou byzantine, comporte le même nombre d'Heures canoniales. A cela s'ajoute encore le nombre différent des chiffres selon qu'ils sont écrits en bout de ligne ou entre les lignes, encore que, à Orchoménos (photo 3), le 1er chiffre est au bout de la 2ème ligne, donc à la fin de la 1ère heure. A Conversano (photo 4) comme à Amfissa (photos 5), le 1er chiffre se cale sur l'horizontale pour commencer le début de la 1ère heure et la 12ème sur son prolongement, faisant en sorte qu'en automne et en hiver, la 12ème heure commence au coucher du soleil !

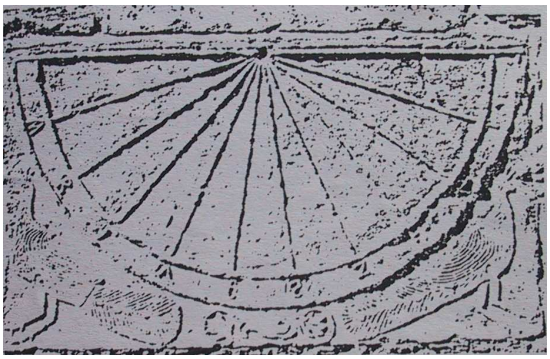
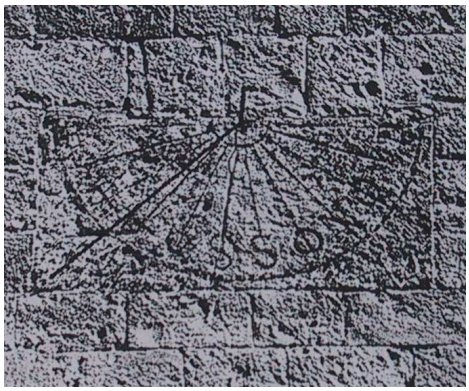
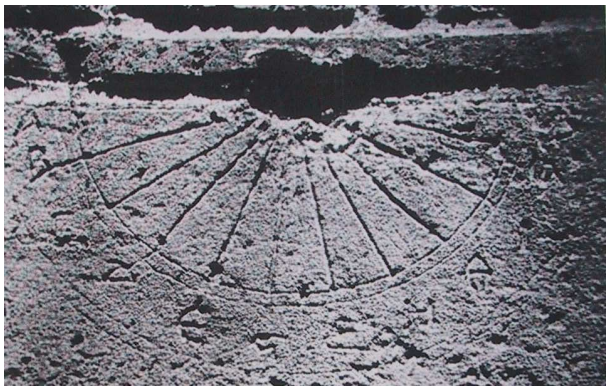


Photo 3

Photo 4 ▸





Photos 5

Il existe aussi à Thiers, sur la collégiale St Geniez (photo 6), un superbe canonial à 11 secteurs égaux mais avec verticale, au prix d'une rotation de 8° environ dans le sens horloge ; est-ce l'effet d'une mauvaise pose ? Il est à noter aussi que les 11 secteurs se déploient sur plus de 180° comme sur le le canonial arménien de Swarnotz.

Photo 6

A Bouilland, la reconstruction, en style gothique, du chœur et du transept porteur du canonial s'explique probablement par le soutien financier du duché, 1ère seigneurie des ducs de Valois, car, à cette époque, le mouvement canonial n'avait plus les mêmes faveurs.

La raison de la partition des canoniaux en 11 secteurs reste mystérieuse, plus encore en terre latine ; la Bourgogne, terre spirituelle par excellence, s'est au moins enrichie de la connaissance de ce spécimen rare.

Canoniaux et heures "bénédictine"

En octobre 2005, parmi les canoniaux revisités, j'avais parlé de celui de l'abbaye bénédictine de La Tenaille sur la commune de St Sigismond de Clermont en Charente-Maritime, tant son observation était prometteuse d'enseignements. Celle-ci fait se poser la question: les canoniaux de La Tenaille et d'Acquafredda : deux façons de traiter les Heures "bénédictines" ?

Le fait que ce cadran soit un disque saillant d'une pierre de contrefort signe qu'il est contemporain de la construction de l'abbatiale dont la fondation est datée de 1125. Son

implantation faisait donc partie du projet architectural au service de la liturgie bénédictine puisqu'on sait que La Tenaille fut fille de l'abbaye bénédictine de Fontdouce.

Cadran de La Tenaille

Alors que presque tous les canoniaux ne tiennent pas compte de la déclinaison du mur porteur, le disque de La Tenaille est orienté pour faire face au sud, faisant un angle de 7°,5 par rapport au mur porteur ; cette correction correspond remarquablement à la valeur de l'orientation de la nef, déclinant aussi de 7°,5 vers le sud-ouest comme le montre le cadastre.

Cette précision serait-elle curieusement remise en question par la rotation de la ligne de Sexte dans le sens horloge comme de l'ensemble des lignes, à des degrés divers, ou bien cette "avance" correspond-elle à une idée cachée ?

Par ailleurs, pourquoi les lignes horaires convergent-elles à droite du centre du rond central et à gauche pour la ligne horaire plus fine qui occupe le quart supérieur gauche du disque, 35° au-dessus de la ligne de Prime ?

Il est possible que les lignes aient été tracées à partir de la partie droite de l'ombre du style; mais pourquoi le rond "central", autour duquel les lignes horaires s'arrêtent, est-il décalé vers la droite ? Je n'en ai pas la réponse.

Des lignes de subdivisions, plus courtes et pointées à leur bout proximal (ne pouvant l'être sur la bordure du disque), existent dans les 2ème, 3ème (2 subdivisions), 5ème, 8ème et 10ème secteurs. Nous les étudierons à la lumière de l'article que Mario Arnaldi a écrit dans le n° 8 de "Gnomonica Italiana», en juin 2005, à propos du cadran de l'abbaye cistercienne d'Acquafredda sur les bords du lac de Côme, près de Lenno, et datant de 1193 (reproduction en dernière page de l'article) et qui a en commun avec celui de La Tenaille les subdivisions dans les 3ème, 5ème et 8ème secteurs.

M.Arnaldi cite Gaspard de Soif, moine de Vaucelles au XVème siècle, dont il a trouvé un écrit dans le Du Cange à la rubrique "horologium"; traduction :" Il y avait au centre du cloître un cadran solaire... un disque en bois dont la partie inférieure était marquée des 12 heures du jour. Non seulement les heures étaient montrées avec soin sur ce disque, mais aussi les points, avant et après, comme on les lit dans la Règle de St Benoît, c'est-à-dire : presque 4ème heure, presque 6ème, 3ème exacte, 10ème exacte et celle que l'on appelle moitié de la 8ème heure..."

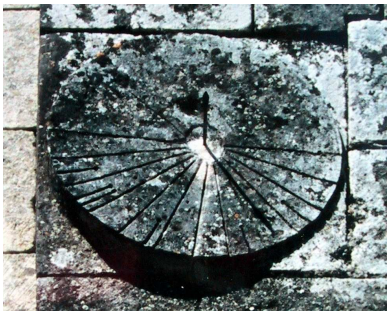
Les 3ème, 5ème et 8ème subdivisions des cadrans de La Tenaille et d'Acquafredda semblent bien répondre à des heures bénédictines de l'Office. Si la 1ère des 2 subdivisions du 3ème secteur a certainement à voir avec la messe conventuelle avant l'Office de Tierce, l'existence des subdivisions extrêmes (dans les 2ème et 10ème secteurs) devra être élucidée.

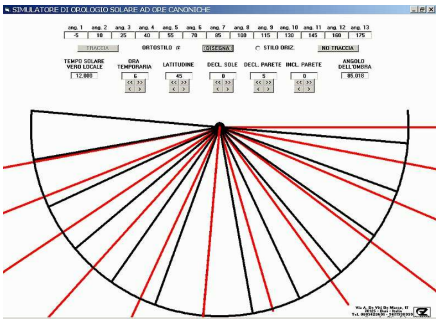
M.Arnaldi a raison d'écrire que toutes les règles monastiques et ecclésiastiques n'ont pas les mêmes temps canoniques. Il ne dit pas, par contre, qu'au chapitre 48 de la Règle de St Benoît, les heures concernent le travail monastique seul; il en déduit avec justesse certainement qu'à la fin d'un travail correspond le début d'un office mais il est très significatif que les temps de prière ne soient pas consignés.

Dom Adalbert de Vogüe, dans son monumental "Commentaire historique et critique de la Règle de St Benoît», écrit - p.601 :" Chez Benoît, l'emploi du temps est vraiment construit sur l'heure où on mange". - p.603 :" Alors que le Maître, avec toute la tradition, construit son emploi du temps sur les heures de l'office, Benoît fonde le sien sur la lecture et

le travail, la sieste et le repas. Ce qui prime, dans le système traditionnel, c'est le rythme de la vie humaine, avec ses alternances d'efforts et de repos, de travail manuel et de travail spirituel. On n'ose dire que l'hégémonie a passé du sacré au profane : tout est sacré dans la vie du moine. Mais il est au moins étrange que les offices paraissent se faufiler dans l'horaire au lieu d'en déterminer la structure."

La présence même des 2 subdivisions supplémentaires du cadran de La Tenaille peut trouver, peut-être, une explication dans ce qu'écrit p.593 Dom A.de Vogüe : " L'horaire très simple du Maître, articulé sur les heures immobiles de Tierce, Sexte et None devient une savante marqueterie où chaque office est susceptible d'être avancé, reculé ou même omis, selon les commodités du travail : Tierce est célébrée à la 2ème heure en hiver, et probablement à la 4ème en été ; Sexte est tantôt dite à une heure indéterminée, tantôt passée sous silence ; None est avancée " au milieu de la 8ème heure" et probablement retardée jusqu'à la 10ème, sinon complètement omise, durant le carême."
(A cet endroit de l'article, il me faut exposer les réserves faites par M.Arnaldi à qui j'avais soumis auparavant mes hypothèses ; il m'avait fait toucher du doigt l'erreur de parallaxe, dûe au fait que la photo n'était pas prise face au cadran. Gérard Baillet, pressenti, en utilisant "adobe photoshop 6" avait pu confirmer la déformation en rendant circulaire le cadran que la photo rendait elliptique et les secteurs redevenaient égaux avec toujours néanmoins une rotation de l'ensemble des lignes dans le sens horloge; l'idéal serait bien sûr de le photographier de face).



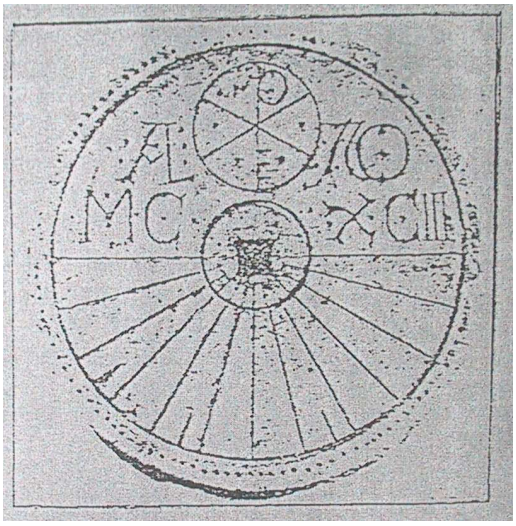


Je reprends néanmoins mon étude telle que je l'avais menée avant d'avoir contacté M.Arnaldi.

Si les lignes horaires complètes du cadran d'Acquafredda sont régulièrement espacées de 15°, il n'en était pas de même pour celles du cadran de La Tenaille (mesurées sur photo prise au sol, face au contrefort) qui croissaient de 2° à chaque secteur du 1er au 6ème pour n'occuper que 85° seulement: 9, 20°, 33°, 48°, 65°, 85° ceci ne se reproduisait pas pour le 1/4 inférieur droit qui occupait 95° : 103°,123°,138°,153°,167°,180°. Cet éventail apparaissait peu cohérent alors que la mesure des angles pour les subdivisions révélait un rythme bien connu basé sur un multiple de 15°: 15°,27° et 30°,61°,121°,145°au lieu, il est vrai, de 150°.

Il ne fait guère de doute que les subdivisions correspondent aux offices religieux. Les lignes horaires complètes correspondent aux heures temporelles (et temporaires), scandant les activités de l'abbaye.

G.D.von Rossum, dans "L'Histoire de l'Heure", distingue l'"hora quoad tempus"(l'heure temporelle) et "l'hora quoad officium"(l'heure de prière) en disant qu'elles avaient pu diverger.



Cadran d' Acquafredda

A Acquafredda, les heures de prière se plient "sagement" au réseau des heures temporelles et temporaires sans les malmener en respectant la Règle de St.Benoît (hora pene quartam, horam quasi sextam, hora secunda agatur tertia...).

A La Tenaille, les heures de prière, même variables selon la saison, semblaient s'accrocher à des multiples de 15° et imposaient, semblait-il, une dérive irrégulière aux heures temporelles, d'où leur rotation. Les bénédictins de La Tenaille semblaient avoir plié les "horae quoad tempus" aux "horae quoad officium" comme s'ils avaient voulu répondre à l'étonnement exprimé plus haut par dom A.de Voguë ; "il est au moins étrange que les offices paraissent se faufiler dans l'horaire au lieu d'en déterminer la structure".

Après la remarque de M.Arnaldi confirmée par G.Baillet, il me fallait à l'évidence abandonner l'idée séduisante que les Heures spirituelles de La Tenaille dictaient leur loi aux heures temporelles et admettre que les deux systèmes étaient assez semblables à ceux du cadran d'Acquafredda. Il n'y avait que quelques subdivisions supplémentaires dûes, soit à une interprétation différente de la Règle bénédictine, soit à des coutumes propres à La Tenaille. Restait pour La Tenaille la singulière rotation de l'ensemble des lignes horaires ; fallait-il revenir à l'idée d'une curieuse et fautive correction de la déclinaison du contrefort porteur ?...Pourquoi, il est vrai, le concepteur, le tailleur de pierre du XIIème n'auraient-ils pas eu le droit à l'erreur alors qu'un observateur du XXIème s'était laissé piéger par les angles d'incidence ?!...

Addenda: l'abbé André Glory et Théodore Ungerer, sur chacune des pages extrêmes de leur article "L'adolescent au cadran solaire de la cathédrale de Strasbourg – Etude sur la gnomonique du haut Moyen-Âge", ont fait imprimer un dessin représentant le cadran d'Acquafredda. C'est aussi dans cet article important, paru en 1932 dans AAHA à Strasbourg, qu'on peut lire, peut-être pour la première fois, l'expression "cadran canonial".

****

Cadran solaire Afghan, *IIIème - IIème siècle av JC*: *calcaire de 37,3 x 52 cm.*

Photo de Mme M. Zimmer
Exposition temporaire d'Afghanistan au Musée Guimet

Plus récent un ***"Cadran Mc Do"****…*
A la bonne heure, bon appétit

Info de M. J.Theubet

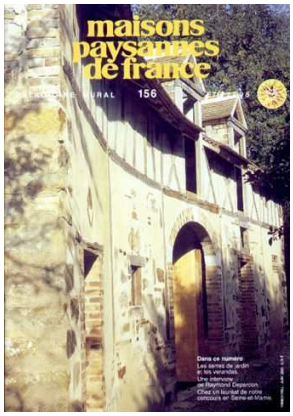
Faites-les vous-mêmes

Rubrique annimée par Jo. Theubet

A** TOUS NOS MEMBRES : Le responsable de cette rubrique, Joseph Theubet* attend que vous lui envoyiez à votre tour un texte, si possible avec photo(s), sur la réalisation technique de votre ou de vos cadrans. Avec votre permission, il sera publié dans Cadran-Info et fera partie d'un ensemble de « recettes » susceptible d'être publié, ne serait-ce qu'en réseau interne.* ***Ainsi votre expérience servira à chacun de nous*. Merci d'avance.*

*La Reculaz – 74350 MENTHONNEX-EN-BORNES – jo.theubet@tele2.ch

Un cadran solaire à fresque par Emmanuelle Lemoine



Le présent article dans lequel J.Theubet a apporté de légères modifications, est paru dans de la revue **Maisons Paysannes de France** n°157, (www.maisons-paysannes.org) (tél:0142554353).

Son auteur est artiste-décoratrice, et enseigne au Centre de formation et de perfectionnement des M.P.F. (tél. 06 08 53 69 69).

L'autorisation de publication dans notre bulletin a été donné à J.Theubet par la Rédactrice–graphiste à la revue Maisons Paysannes de France, Mme Dominique Firbal, que nous remeçions.

La peinture à fresque, de l'italien « a fresco », désigne une technique de peinture bien particulière. C'est l'un des plus anciens procédés de décoration murale: un peu de pigments dilués dans de l'eau de chaux appliqués sur un enduit de sable et de chaux encore frais.

La carbonatation de la chaux va fixer définitivement les pigments au mur. La coloration reste ainsi étroitement liée à l'ambiance lumineuse de l'architecture. Toute la difficulté est d'évaluer le degré d'humidité de l'enduit. Car le pinceau appliqué sur un enduit trop humide fragilisera la surface et au contraire, si l'enduit est trop sec, la couleur ne tiendra pas. L'exécution de la fresque doit se faire dans la journée et sans reprise. Pour n'avoir, en fin de travail « *ni remords ni regrets* » (E. Piaf). Il faut que le travail préparatoire soit mûrement réfléchi et minutieusement préparé.

La réalisation d'un cadran solaire employant la fresque ne peut se concevoir sans l'étroite collaboration de trois disciplines : la maçonnerie, la gnomonique et la fresque.

L'exécution

La réalisation d'une fresque se déroule en plusieurs opérations successives. La compréhension de l'indissociabilité de ses quatre composants est indispensable à son exécution : le mur (support), l'enduit (stuc à fresque), le dessin et la coloration.

Le mur

Un mur de maçonnerie ancienne (pierres, briques) protégé par des enduits à la chaux est le plus adapté pour la fresque. Il doit être sain, exempt de salpêtre et d'infiltration d'eau. La face la mieux exposée et ensoleillée la plus grande partie de la journée est choisie (sud, sud-ouest).

Le mur est constitué d'une maçonnerie brute de pierres (calcaire et silex). Il est donc nécessaire de préparer à l'avance une surface dressée apte à recevoir l'enduit à fresque.

Un cadre en bois, délimitant la taille du cadran solaire (environ 2 m^2) est fixé au mur. On peut dresser la surface par des enduits à la chaux (CL90 + sable) mais ceux-ci se font en 2 ou 3 passes. Le choix s'est porté sur un mortier de plâtre et chaux ; le plâtre permettant une charge plus importante en une seule passe. Le sable apporte la rugosité nécessaire à l'accroche des enduits suivants. Attention, seule la chaux aérienne est compatible avec le plâtre.

Les proportions de plâtre et de chaux sont variables en fonction de l'épaisseur ou de l'ouvrabilité du mortier désiré. Le mortier est composé de :

- 3 volumes de plâtre gros
- 2 volumes de sable 0,2
- 1 volume de chaux aérienne (CL90)

Avant d'étaler l'enduit, le style du cadran est solidement fixé à son emplacement dans le mur.

Il est indispensable de mouiller abondamment le mur avant d'appliquer l'enduit. Celui-ci est jeté à la truelle et dressé entre les cadres en bois. Le propriétaire de la maison a réalisé ce fond environ trois semaines avant intervention de la fresquiste. Elle a travaillé sur dessin.

Le dessin

Le tracé gnomonique, en fonction de l'orientation du mur, est fourni sous forme de dessin coté. A partir de ces données, la fresquiste établit plusieurs esquisses aquarellées représentant une idée du cadran final. L'esquisse choisie va lui permettre de fabriquer un poncif.

Le poncif est un dessin, en taille réelle, du sujet réalisé sur du papier kraft épais ou sur un calque, dont les lignes sont percées de petits trous à l'aide d'une soulette dentelée ou d'une aiguille. Posé sur l'enduit humide, la fresquiste fait passer du pigment à travers les perforations du poncif à l'aide d'une poupée*, afin d'obtenir ainsi la reproduction exacte de son dessin sur l'enduit.

** Une « poupée » est constituée d'un morceau de tissu fin rempli de pigments et fermée comme une pochette de la grosseur d'un oignon. On tapote cette poupée sur les lignes perforées du poncif afin de déposer du pigment sur l'enduit.*

L'enduit

L'enduit à fresque est un stuc à la chaux. Il est composé d'un volume de chaux aérienne pour un volume de charge. La charge est choisie en fonction de critères esthétiques et fonctionnels. Ici on a choisi du sablon de la région (département de l'Eure) et de la poudre de marbre. Tous deux sont de même granulométrie (0,6), et de proportion égale.L'enduit s'applique au platoire inox (ou liseuse) en 2 ou 3 couches selon le degré de finition lissé désiré. Entre chaque couche, l'enduit est taloché avec une taloche en bois, afin de mieux faire adhérer la couche suivante.

Le support est largement humidifié avant de recevoir une première couche d'enduit à fresque sur l'ensemble de la surface. Ensuite le poncif est fixé sur le haut du cadre à l'aide de clous, en n'oubliant pas de faire passer le style à travers le papier. Ce poncif devra pouvoir être déroulé et enroulé plusieurs fois au cours du travail.

Une fois l'enduit suffisamment dur, le poncif est déroulé. La fresquiste le tapote à l'aide d'une poupée en suivant les lignes de son dessin afin d'avoir tout son tracée sur l'enduit.

Ce samedi de juin est très ensoleillé. Une course contre la montre va commencer. Cette première esquisse visible sur l'enduit sert uniquement à gérer le temps de travail en tenant compte des conditions atmosphériques, des couleurs utilisées et des détails du dessin plus ou moins complexes.

Elle répartit donc son dessin en plusieurs surfaces. Elle étale l'enduit sur la première partie haute de la fresque. Les raccords de surfaces sont choisis stratégiquement pour coïncider avec les lignes les plus fortes du dessin afin de les cacher au regard du spectateur.

La coloration

Avant de commencer à peindre, la fresquiste prépare les couleurs. Dans de petits pots en verre, les pigments en poudre sont délayés dans de l'eau de chaux.

Les pigments

Les pigments sont des colorants d'origine organique ou minérale. Leurs caractéristiques varient selon leur nature :

- Intensité colorée (pouvoir colorant)
- Luminosité (capacité à réfléchir plus ou moins la lumière)
- Résistance à l'alcalinité de la chaux
- Résistance aux U.V.
- Résistance aux agents atmosphériques
- Coût

La lumière, l'air, la pollution et l'humidité peuvent modifier leurs propriétés. Les pigments d'origine organique (végétale ou animale) sont déconseillés pour la fresque.

Les pigments utilisés dans la fresque sont d'origine minérale, soit naturelle (terres et ocres), soit synthétique (oxydes, etc.). Dans les pigments minéraux artificiels (issus de transformation chimique), certains sont inemployés car incompatibles avec la chaux.

Les meilleurs pigments pour la fresque sont les terres composées de silicates et d'oxydes métalliques, en fer (terres jaunes naturelles, ocres jaunes, terre de Sienne, terres rouges artificielles, ocres rouges et terre de Sienne brûlée) et en manganèse (terres brunes et noires), les terres vertes, ainsi que certains bleus artificiels comme le bleu outremer ou le bleu cobalt.

De toute façon, il faut toujours tester les pigments en faisant des échantillons sur un enduit à la chaux.

Les pinceaux

On utilise des brosses plates ou rondes en poils de veau ou en soie de porc. Elles sont de tailles et de longueurs de poils variées car il est important, dans la gestion du temps et l'effet recherché, de s'adapter en fonction de la sur face et du motif à peindre.

La pose de couleurs

Pour peindre, la fresquiste commence par le haut à gauche. Les couleurs de fond ou les grands aplats de surface sont étalés avant les images figuratives. Le procédé de coloration varie en fonction de la personnalité du peintre. La fresque dispose de toute une richesse de moyens : aplats, hachures, réserve de blanc exaltant la matière du support, aspect aquarellé ou gouaché, etc.

Cependant les contraintes sont toujours les mêmes : la pose des couleurs doit se faire dans le frais lorsque l'enduit absorbe bien l'humidité de la couleur. Un polissage à la truelle souple langue-de-chat permet de casser la pellicule cristalline pour retravailler la surface en rallongeant le temps d'intervention, car cette action de polissage fait remonter une certaine humidité en surface.

On utilise le moins de pigments différents possible. La beauté d'une fresque ne vient pas de la quantité de tons (couleurs, pigments) utilisés. Au contraire, avec un minimum de 3 ou 4 pigments, on obtient une richesse de nuances, de lumières et de matières suffisante.

Pour avoir des couleurs fortes, on fait « monter la couleur » en passant plusieurs glacis successifs. Plus il y a de détails à traiter, plus la surface enduite préparée doit être limitée. Il faut toujours avoir conscience du temps de séchage de l'enduit qui varie en extérieur, au cours de la journée.

Le soleil dardait ses rayons violents aux heures les plus chaudes et il a fallu accélérer la coloration ou réduire les surfaces d'intervention. Le cadran a été réalisé en deux jours et demi dont une journée de formation qui malgré la chaleur a ttiré beaucoup de monde.

Un cadran solaire en grès par Sege Malassinet

Avec les conseils techniques de Gérard Oudenot, l'aide d'Olivier Escuder et celle du logiciel Shadows, je viens de réaliser un cadran solaire (35 x 50 x 5 cm) qui se situe en haut du hameau de Lolivarie, à Saint Germain de Belvès (24170). Coordonnées : 44°48' 03'' N - 1°01'18" E.

Il est réalisé en grès rose d'Alsace, un matériau assez facile à graver, mais très abrasif. Au préalable, j'ai revêtu la pierre de deux couches d'hydrofuge incolore.

Pour creuser la gravure, j'ai utilisé des limes aiguilles pour l'acier, que j'ai affûtées de nombreuses fois en forme de petits burin et bédane.

La peinture dorée a été difficile à trouver. La plupart de celles que j'ai essayées s'étalaient convenablement. Finalement, j'ai utilisé une dorure de chez Tolémail www.valmour.fr .

Le style, le disque solaire, les étoiles sont en laiton poli, et afin qu'ils ne s'altèrent à l'air, ils sont revêtus d'un vernis incolore, satiné. (en aérosol chez Leroy Merlin). Ils sont collés à l'araldite.

Les supports inférieurs ont été réalisés dans un profilé en "**U**", en AU4G, puis peints. Les rainures dans lesquelles s'encastrent les pattes, ont été taillées à l'aide d'une meule diamant montée sur une meuleuse portative.

Si des membres de notre commission désireraient le voir, voici mes coordonnées : Tél.: 05.53.28.41.63 / 01.47.68.32.62. E-Mail : Malassinet@aol.com

****

Mes photos de Majorque par J. Theubet

PUERTO-PORTITXOL

PUERTO
Explanada de
S. DOMINGO

PUERTO-MUTUELLE-VIEJO

Cadrans de R.Soler

Les styles de Zarbula… (suite)

Par Michel Ugon

Lorsque l'on étudie la Relativité Restreinte, il est aisé de sauter à la fin de l'exposé et de se servir de l'expression simple E = mC², mais si l'on veut comprendre, il est préférable d'emprunter le chemin d'un certain Albert.
Toute proportion gardée, la Gnomonique peut aussi donner des résultats simples, mais il est certainement mieux d'en assimiler les démarches. Alors, si l'aventure vous tente, ne regardez pas tout de suite la fin du film et partez à sa découverte.

« Imagination is more important than knowledge »
A.Einstein

DEUXIEME PARTIE : Le compas, l'équerre et l'oiseau

Poursuite de la recherche de la méthode qu'utilisait le cadranier G. F. Zarbula au XIXème siècle pour construire les styles de ses célèbres cadrans.

1- Les données du problème

En tenant compte de la 1ère partie publiée dans cadran Info N°14 d'octobre 2006, et de l'observation des cadrans de Zarbula, vous pouvez faire la liste des constats qui vont servir de point de départ à votre analyse :

- 1-1 Les verticales sont justes.(tracées au fil à plomb)
- 1-2 Les sous-stylaires sont justes.(méthode des cercles hindous)
- 1-3 Les styles sont correctement positionnés lors de la construction
- 1-4 La nature et l'orientation des jambes d'appui des styles sont variables : chevrons, tiges perpendiculaires à la table, au style, obliques ou inexistantes.
- 1-5 La précision observée sur les cadrans est meilleure que 5 minutes.(compte tenu de l'Equation du temps, de la longitude et, si nécessaire, d'un repositionnement théorique du style dans sa position d'origine)

De plus, « L'Equerre et l'Oiseau » de Paul Gagnaire[1] vous enseigne que :

- 1-6 L'éventail horaire se fonde sur une latitude de 45° (cercle de construction centré sur le point de concours H entre la verticale et l'horizontale avec CH = HQ)
- 1-7 L'équatoriale est toujours présente, mais jamais en tant que courbe de date :
  « L'horizon et l'équinoxiale ne fonctionnent jamais… car le style polaire est toujours beaucoup trop long et sa longueur n'est jamais fractionnée à la mesure

[1] L'EQUERRE ET L'OISEAU ou L'ART ET LA MANIERE DE ZARBULA par Paul Gagnaire: Etude de 85 pages (texte, tableaux, schemas, photocopies des cadrans de Zarbula) publiée en 2000, dans Cadran Info N°1.

utile par une boule, un œilleton, une barrette, une encoche ou tout autre artifice…à l'extrème rigueur (..) nous ferons une réserve pour le cadran des Orres (Le Melezet) »

- 1-8 Présence d'un cercle ou d'un arc centré sur un point de la sous-stylaire
- 1-9 Les cadrans de Zarbula ont été réalisés entre 1832 et 1872, ils sont très souvent décorés de l'Equerre et du Compas emblématiques

2 – La précision

Comme vous êtes frappé par la précision répétitive des indications lues sur les cadrans**,** et comme vous savez que cette précision dépend beaucoup du positionnement du style, vous pensez alors que la méthode employée, bien que simple, doit être elle aussi, très précise.

Puisqu'il peut y avoir de multiples constructions, la connaissance du niveau de précision atteint doit donc être une information intéressante pour vous orienter vers l'une ou l'autre de ces méthodes.

Vous savez que les erreurs engendrées par un mauvais positionnement du style sont maximales aux solstices, donc vous calculez les angles fautifs de styles qui correspondent à l'écart horaire de 5 minutes observé sur des cadrans de ce Piémontais énigmatique. Au solstice d'hiver (déclinaison solaire $\delta = -23°.44$), cela vous donne les résultats suivants :

Cadran	Angle fautif de style
Briançon St Blaise	1°,3
Château-Queyras	1°,4
Les Escoyères	1°,5
La Vachette	1°,1
Le Raux	1°
Les Tancs	1°,2
Valloire	1°,5
Vallouise	0°,9

Ces résultats confirment la règle pratique connue des gnomonistes qui considèrent qu'une précision d'une minute de temps exige une précision de ¼ de degré environ.

Vous êtes maintenant en 1832 et vous montez sur une échelle. Essayez alors de sceller une tige oblique dans le mur avec une précision angulaire inférieure à 1°, et vous mesurerez la performance!

Vous vous dites sans doute que l'obtention d'une telle précision est d'autant plus facile à obtenir que le style est long. Voilà peut-être un début de justification des grandes longueurs de style chez Zarbula…

En effet, pour un style de 80 cm vous avez une marge de 12mm à l'extrémité, à condition de ne vous soucier ni de l'équatoriale ni des courbes de dates. Il vous suffit pour cela de bien positionner ce style sur la sous-stylaire avec le bon angle et que son ombre soit portée toute l'année sur votre cadran.

Si vous relisez alors la donnée 1-7 ci-dessus, vous commencez à comprendre que Zarbula n'a pas besoin de se fixer une longueur de style dont l'ombre de l'extrémité indiquerait la date. Ceci explique sans doute pourquoi il n'a jamais construit un triangle stylaire semblable à CPS en utilisant une construction conforme à la figure 2 (voir 1ère partie).

3- Zarbula trace-t-il ses styles sur les murs ?

Autrement dit : existe-t-il des vestiges de tracés de construction des styles sur les cadrans de Zarbula ?

Si aucun vestige n'existe, vous conviendrez qu'il vous est très difficile de vous faire une opinion. Vous pouvez alors supputer différentes méthodes, depuis l'utilisation de sa célèbre équerre isocèle qui lui permettrait de construire un angle de 45° entre le style et la ligne verticale, jusqu'à la construction d'un style droit provisoire déterminant la hauteur de la jambe d'appui, en passant par un montage hypothétique donnant la direction de l'étoile polaire, car rien ne doit être négligé.

Par contre, si vous pouviez mettre en évidence que des vestiges existent, alors vous tiendriez le début d'un secret.

Mais où seraient-ces vestiges ? et de quelle nature seraient-ils?

Vous vous demandez alors dans quel ordre Zarbula procédait. Il est clair que la première opération consistait à tracer la sous-stylaire sans laquelle rien n'est possible. Cette opération étant la plus ancienne disparaît sous les tracés successifs qui se superposent comme des couches géologiques. Quant à l'éventail horaire construit à l'aide du cercle diviseur (image du cercle équatorial auxiliaire), il fut construit en dernier, car les tracés correspondants sont encore apparents sur bien des cadrans .

Donc s'ils existent, les tracés relatifs au style se situent dans des « couches » intermédiaires et sont probablement très atténués, ou ont tout simplement disparu.

C'est alors qu'il vous vient une <u>première idée</u> :

Si Zarbula ne se soucie pas des courbes de dates, il lui suffit de connaître l'angle stylaire, le fameux angle <u>f</u> dont nous avons déjà parlé.

Pour tracer cet angle, il faut connaître trois éléments, or Zarbula en connaît déjà deux : Le sommet de l'angle qui est le centre du cadran, et un côté donné par la sous-stylaire. Donc pour le deuxième côté de l'angle, il suffit d'en connaître… <u>un seul point : **le Point Z !**</u> .

A ce stade, vous traversez une période de découragement. Comment trouver un tel point parmi ces innombrables vestiges qui vous apparaissent comme autant de constellations d'un ciel étoilé ?

N'abandonnez pas, car vous possédez plusieurs cordes à votre arc : Tout d'abord, la figure 2 de la première partie, mais aussi et surtout la trigonométrie qui vous permet de calculer cet angle <u>f</u> par la formule (2).

Vous vous dites alors qu'il n'est pas très commode de se rendre sur les lieux de chaque cadran, puis de se hisser pour mesurer un tel angle sur place. De plus, vous ne savez pas encore où trouver le fameux point Z qui se dissimule quelque part sur le mur.

Comme vous vous rendez compte que cet angle n'est pas mesurable directement par le biais de photographies, il vous faut un moyen de trouver les coordonnées du point Z sur des clichés plus ou moins définis et affectés de perspective, donc il vous faut un système de coordonnées déjà tracé sur les cadrans

C'est ici que se concrétise la <u>deuxième idée</u>

Au début, Zarbula a tracé le centre du cadran C, la sous-stylaire CP, la verticale, l'horizontale et le cercle « des latitudes » centré sur la verticale, c'est tout !

Vous vous dites alors : « si on ne voit pas de tracés spécifiques, c'est peut-être parce que Zarbula utilisait ceux qu'il avait déjà sous les yeux ! » Dans cette hypothèse, et avec si peu d'éléments, le système de coordonnées que vous cherchez est forcément formé du centre C, de la verticale et probablement d'une horizontale, car la sous-stylaire est déjà un coté de l'angle cherché.

Comme les cadrans sont munis de l'éventail horaire, vous vous dites que cet éventail de centre C peut vous servir de rapporteur gradué, et donc vous fournir un système de coordonnées polaires à condition de convertir les angles en heures tabulaires. Cette conversion est un jeu d'enfant pour votre ordinateur qui fait des calculs de trigonométrie sphérique en un tour de main. En même temps, vous lui posez la question : « Ordinateur, dis

moi à quelles heures tabulaires peuvent se trouver les Point Z sur les cadrans de Zarbula? » Et comme il est très obéissant et très rapide il vous calcule un tableau de valeurs .
Pendant tout ce temps de réflexion, vous cherchez aussi les photographies les plus détaillées possibles des cadrans de Zarbula non restaurés.
(Ici les lecteurs à qui vous avez demandé ces clichés de qualité se reconnaîtront ! - qu'ils en soient vivement remerciés- Ils comprennent maintenant pourquoi vous les avez obligés à fouiller dans leurs archives…)

C'est alors que vient le moment où vous avez tout en main et où vous vous concentrez vos efforts.

4- Les Points « Z »

Vous sélectionnez d'abord les clichés possédant des tracés visibles, et correspondant à des cadrans possédant des déclinaisons gnomoniques différentes. Pour examiner ces clichés « au microscope », on dispose aujourd'hui de bons outils informatiques qui permettent de les agrandir, d'en faire varier luminosité et contraste pour en observer les plus fins détails.

Comme vous ne savez pas de quel coté de la sous-stylaire vous allez peut-être trouver les points Z, vous vous dites que l'axe des abscisses le plus pratique est l'horizontale déjà tracée sur le cadran, et vous calculez les points possibles sur cet axe pour des angles tabulaires f, -f, f + S'et f – S', et finalement, vous retenez le tableau suivant :

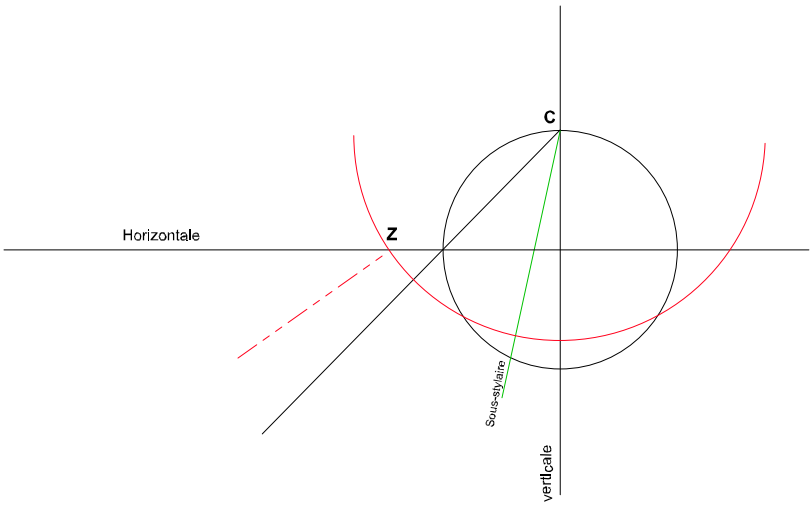
Cadran	|S'|	|f|	|f+S'|	Heure point Z (matin)	Heure point Z (soir)
Briançon St Blaise-W	26°,3	38°	64°,3	8h38'	18h8'
Les Escoyères	12°,3	43°,9	56°,2	7h13'	15h50'
Molines-en-Queyras-E	43,3	14°,8	58°,1	4h	-
Puy St Pierre	32°,3	33°,7	66°	5h25'	-
St Véran-Point du jour &Pierre-Belle	20°,8	41°,2	62°	8h18'	17h30'
St-Véran-Le Raux	36°,7	28°,7	65°,4	9h24'	19h
St Véran-Ferme Mathieu Romain	26°,1	38°,4	64°,5	8h30'	18h
Sestrières	12°,7	43°5	56°,2	7h11'	15h50'
Val des Prés- Pra Premier	37,9°	27°	64°,9	4h55'	14h25'

Ces valeurs sont calculées avec la vraie valeur de la latitude des différents lieux, car, à cette étape, vous ne savez pas comment l'angle stylaire était réellement construit.

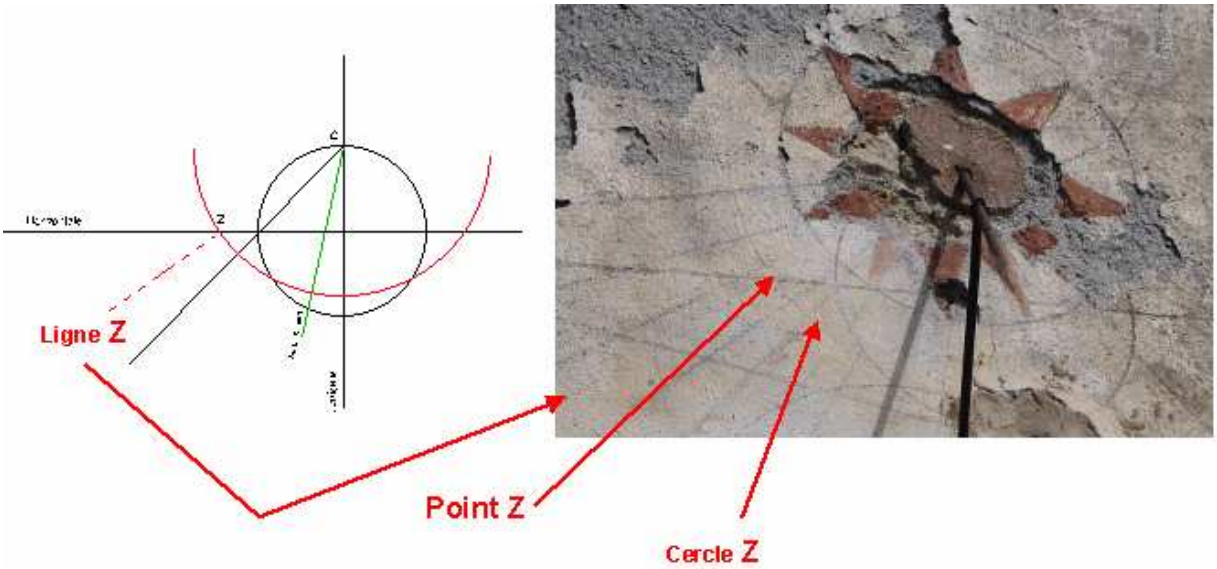
C'est le moment tant attendu, celui où vous avez tous les éléments pour diriger votre regard vers ces points mystérieux. C'est évidemment plus facile lorsque l'on sait où ils doivent être.
Le premier cliché que vous allez choisir est, bien sûr, celui qui vous montre les meilleurs détails : celui des Escoyères déjà cité maintes fois.

Et là, tout se voit à l'oeil nu !

La figure 4 reproduit le stade des tracés avant ceux dédiés à l'éventail horaire . On y voit très bien les éléments classiques : sous-stylaire, verticale, horizontale, mais aussi un arc de cercle atténué (ici en rouge) qui coupe l'horizontale exactement aux points attendus, 7h13' et 15h50'. Par ailleurs, on voit sur ce cadran le vestige de la ligne CZ à 7h13 tracée par Zarbula : C'est l'autre coté de l'angle stylaire que vous cherchiez !



▲ Figure 4 : Le point « Z » sur le cadran des Escoyères (à 7h13 sur l'horizontale) ▼

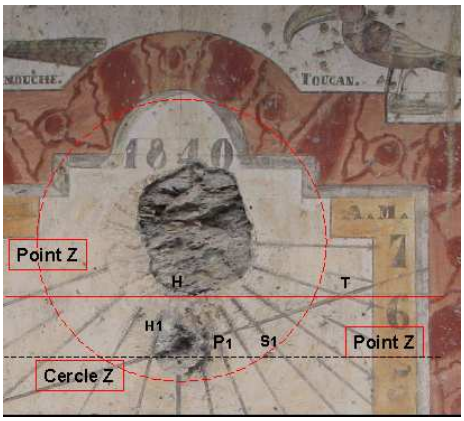


Vous tenez alors la réponse à votre question :

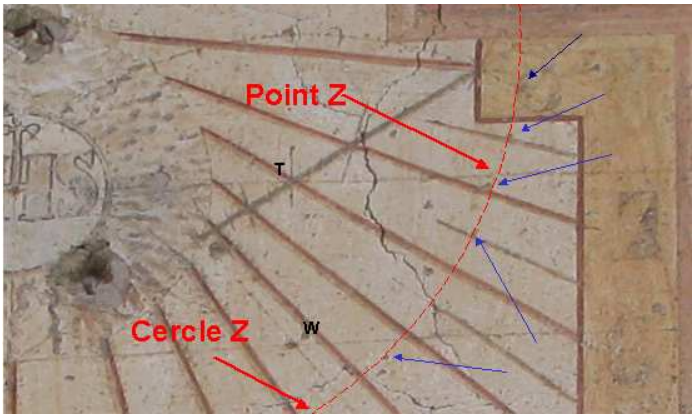
Oui, Zarbula traçait précisément l'angle stylaire sur les murs,
et pas sur une zone vierge de ces murs, mais appuyé aux lignes déjà construites

Mais si vous doutez encore, à peine, vous examinez tous les cadrans de votre liste et vous confirmerez votre trouvaille en traitant les clichés comme vu plus haut pour mieux faire apparaître les points Z ainsi que les vestiges du fameux arc de cercle « Z ». Vous découvrez, par exemple que:

- le point Z , l'arc Z et la ligne CZ apparaissent aussi sur le cadran de Sestrières…en pointillés
- le point Z est aussi visible sur les cadrans de St Véran, notamment sur celui du Point du Jour ou l'arc de cercle Z coupe l'horizontale aux deux points prévus
- l'arc Z en pointillé figure aussi sur les cadrans de Pierre-Belle et du Raux
- sur le cadran de St Blaise, c'est plus difficile à voir, et il faut un peu « traiter » le cliché. C'est une portion de l'arc Z qui subsiste en pointillés à 18h08'(10 points)



St Véran - Pierre-Belle:
L'arc Z, les points Z, H1,P1 et S1



Le Raux: L'arc Z en pointillés

Il est intéressant de constater qu'entre 1832 (cadran des Escoyères) et 1872 (cadran de Sestrières) Zarbula n'a pas changé de méthode pour tracer ses angles stylaires. Il est simplement passé du traçage continu des droites et des arcs à celui des pointillés.

Avez-vous déjà essayé de tracer des cercles sur un mur lisse et dur avec un grand compas à pointes sèches et en haut d'une échelle?

Il est assez malaisé de planter ce type de compas et de s'en servir pour marquer des points. Ceci laisse supposer que Zarbula utilisait un compas à verge car c'est, comme le dit François Bedos de Celles en 1750 : *« l'instrument le plus commode & même le plus essentiel pour travailler avec toute la précision, la facilité & la diligence que l'on peut souhaiter »*

Avec ce type de compas, qui est constitué essentiellement de deux pointes coulissantes sur une règle, il est possible de marquer les arcs de cercles en frappant tout simplement sur une pointe avec un maillet . C'est ce qui explique que l'on trouve des pointillés pour marquer les premiers arcs de cercles des tracés.

Mais, si vous avez trouvé ce point mystérieux sur les cadrans, vous ne savez pas encore comment Zarbula l'obtenait géométriquement . Il va vous falloir encore un petit effort.

5 – Le Compas et la règle

On pourrait aussi appeler ce paragraphe : « le point Z…mais c'est très simple ! »

Comme il existe de multiples possibilités pour trouver la construction géométrique de Zarbula, il vous faut une bonne dose de persévérance, un crayon, une gomme et un gros bloc de papier, car vous aller jeter un grand nombre de feuilles dans votre corbeille.

En apparence, le problème semble se poser simplement : construire le point Z de façon que ce point soit sur l'horizontale et que l'angle PCZ soit égal à f.

Comme vous voulez économiser les méninges et le papier de vos lecteurs, vous ne les encouragez pas à poursuivre avec ces hypothèses dans cette étude théorique digne de Bède le Vénérable. (Ce *moine qui a passé une bonne partie de sa vie à calculer des cadrans)* En effet, en recherchant le lieu géométrique des points Z répondant à la question, vous êtes amené à construire un faisceau de cercles d'axe radical CH et une conique pas très facile à tracer.

Comme vous êtes persuadé que Zarbula a utilisé une construction plus simple, et comme vous ne doutez pas de la justesse de vos résultats, vous en déduisez que quelque chose ne marche pas dans vos hypothèses, et vous réfléchissez.

C'est là que vous avez **une troisième idée** :

Vous vous remettez dans la peau de Zarbula. Il a tracé :

La verticale et la sous-stylaire. Ce sont les seuls tracés justes.

Où va-t-il tracer l'horizontale ?

Comme il n'a pas d'impératif sur la longueur du style, il peut la tracer à partir de n'importe quel point de la verticale…ou à partir de tout autre point : Pourquoi pas le fameux **point Z** , comme cela il sera sûr que cette horizontale y passera.

C'est alors que tout s'éclaire !.

Ce point Z est décidément aussi important que le centre du cadran, car il permet non seulement de le construire, mais il donne surtout l'angle stylaire, dès le départ.

La figure 4 montre comment Zarbula trouve son point Z aisément, à partir de C, la verticale et la sous-stylaire.

- Par un point quelconque H_1 de la verticale, il trace une horizontale provisoire en ne marquant que les points utiles, c'est à dire les intersections P_1 et S_1 respectivement avec la sous-stylaire et la ligne CΦ dont l'angle avec la verticale est la co-latitude : 90° - φ. (Nous savons qu'il trace CΦ en supposant que φ = 45°). Bien que réalisable avec une équerre, cette opération est plus précise en utilisant le compas et la règle, comme l'apprennent les lycéens, en prenant le point de concours de deux arcs, symétriques par rapport à H_1, et centrés sur la verticale.
- Avec son compas, il trace ensuite vers le haut un arc de cercle de rayon CS_1
- Par P_1, il trace la perpendiculaire à la sous-stylaire, toujours avec son compas et sa règle
- L'arc de cercle et la perpendiculaire tracés se coupent en **Z**.
- La perpendiculaire à la verticale passant par Z est l'horizontale du cadran. Elle coupe cette verticale en H, la sous-stylaire en P et CΦ en S.
- L'angle stylaire f est PCZ

Vous remarquez tout de suite que l'arc de cercle utile est toujours, par construction, dans le demi-plan contenant la sous-stylaire.

Cette construction très simple est démontrée en annexe

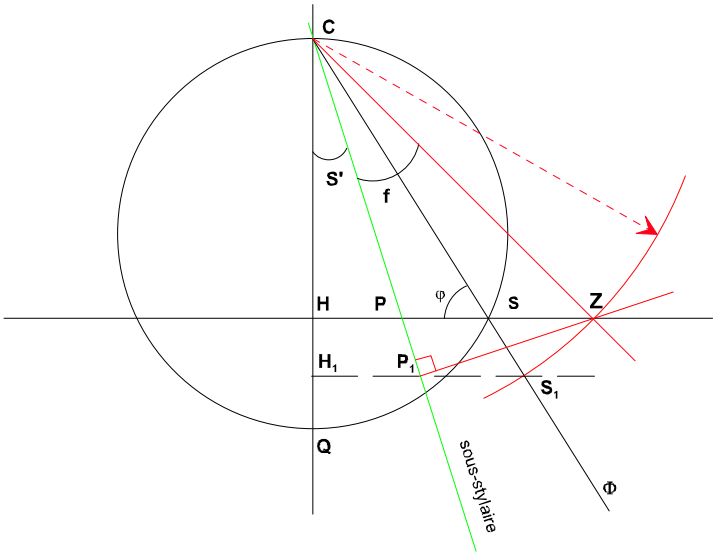


Figure 4 : la construction du point Z par Zarbula

Vous remarquez aussi au passage, que cette méthode est générale, quelle que soit la latitude φ.

Vous notez ainsi que cette figure 4 est construite pour une latitude autre que 45°. C'est pour cela que le point H n'est plus confondu avec le centre du cercle.

Dans le cas ou $\varphi \cong 45°$ vous retrouvez les cadrans du Piémontais, et vous prenez deux exemples démonstratifs :

Pour le « fameux » cadran des Escoyères , la déclinaison est sensiblement de – 12° et le cadran du Raux est déclinant à l'Ouest de 36° environ. Cela vous donne les deux figures 5 et 6 ci-après.

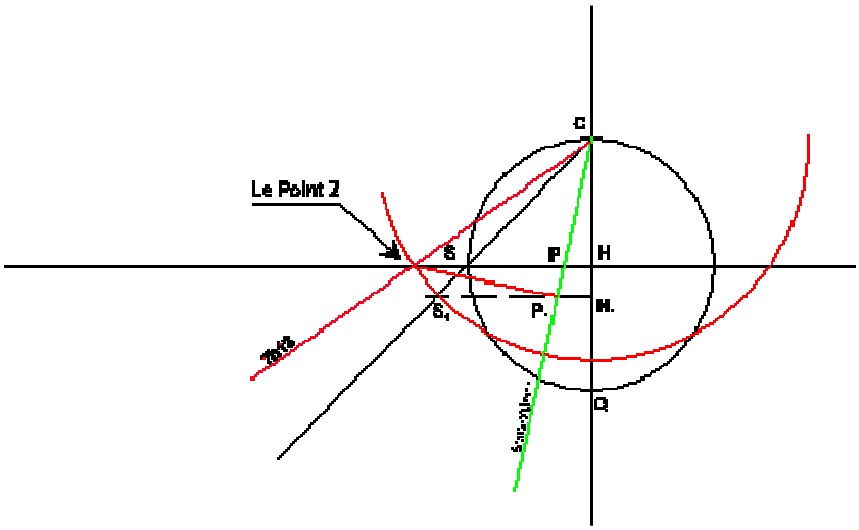


Figure 5: Tracé du point « Z » sur le cadran des Escoyères

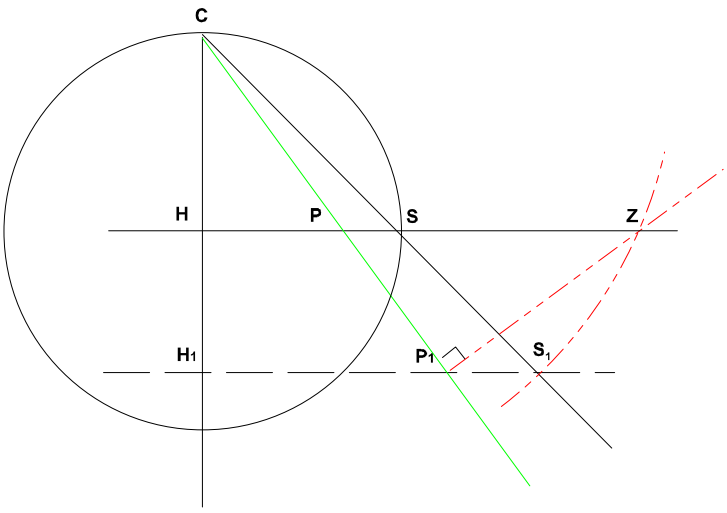


Figure 6 : La méthode de Zarbula sur le cadran du Raux

On retrouve bien le tracé observé sur ces cadrans, mais aussi, comme nous l'avons vu, ceux de tous les autres. Sur bon nombre d'entre eux on distingue également une marque au point S_1 qui a servi à tracer l'arc Z et même sur certains, comme à Puy St Pierre (avant restauration), les traces de l'horizontale provisoire avec les points H_1, P_1 et S_1.

Devant une construction si simple et astucieuse, on se demande où Zarbula a pu l'apprendre, à moins qu'il ne l'ait inventée. Cela reste à éclaircir.

6 - Quid de l'équerre ?

Pour réaliser l'éventail horaire, il est clair que Zarbula traçait le cercle équatorial auxiliaire, car ce dernier apparaît sur l'ensemble des cadrans non restaurés. Or, pour tracer ce cercle, centré en W sur la sous-stylaire, il a pu utiliser plusieurs méthodes pour en déterminer son centre. (voir la figure 2):

- Soit par le positionnement de l'équerre isocèle de façon que l'angle TWQ soit droit. Cette méthode, qui ne laisse aucune trace, est décrite dans « l'Equerre et l'Oiseau ».
- Soit encore avec son compas, à l'intersection de la sous-stylaire :
  - avec le cercle de diamètre TQ
  - ou avec le cercle de centre G et de rayon GS_2 (cette fois, dans un rabattement autour de l'équatoriale- S_2 étant le pied de la perpendiculaire abaissée de G sur CZ)

Vous vous demandez peut-être si l'on possède des indices en faveur de l'une ou l'autre méthode ?

Comme l'examen direct des clichés paraît à nouveau problématique, vous allez encore passer en coordonnées polaires, comme précédemment, afin de concentrer vos regards sur les points qui auraient pu servir à la construction au compas.

Le premier point « m » est le milieu du segment TQ, le deuxième est l'intersection G de la sous-stylaire avec l'équatoriale, le troisième S_2 , est aussi le point de tangence du cercle de rayon GW sur CZ. On peut trouver le point S_2 sur CZ, grâce à son module

$$CS_2 = \rho.CG.$$

Tout calculs faits (voir annexe A3), cela vous donne les résultats suivants :

Cadran	|S'|	H de m (milieu de TQ)	traces sur m	ρ	traces sur S_2	traces sur G
Briançon St Blaise-W	26°,3	15h15'	Non	0,8	Non	Non
Les Escoyères	12°,3	7h10'	Non	0,72	Non	Non
Molines-en-Queyras-E	43,3	11h	?	0,97	Non	Oui?
Puy St Pierre	32°,3	9h16'	Non	0,84	Non	Non
St-Véran-Le Raux	36°,7	14h10'	Non	0,89	Non	Non
St Véran-Ferme Mathieu Romain	26°,1	15h26'	?	0,79	Non	?
St Véran-Pt du Jour	20°,82	15h58'	Non	0,76	Non	Non
Sestrières	12°,7	7h12'	?	0,73	Non	Non?
Val des Prés- Pra Premier	37°,9	10h	Non	0,9	Non	Oui

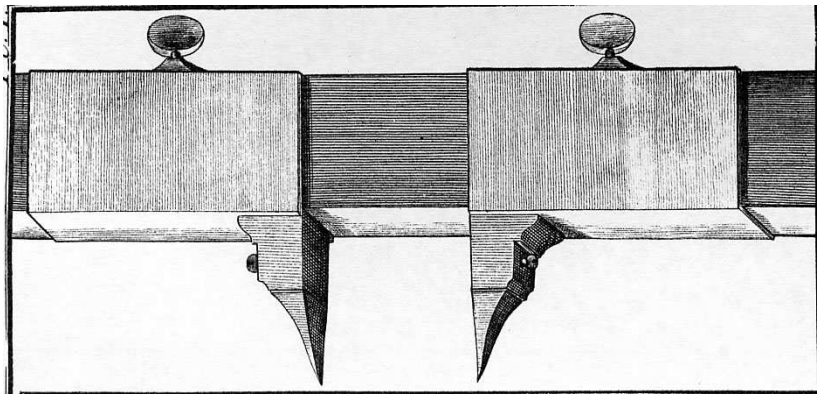
Vous faites immédiatement les remarques suivantes:

- Le centre de TQ n'est pas utilisé, donc Zarbula ne traçait pas d'arc de cercle de diamètre TQ
- Bien que deux cadrans semblent présenter des marques en G, l'utilisation du rabattement autour d'une équatoriale est assez improbable, car il n'apparaît aucune marque aux points S_2.

Par ailleurs, il y a une raison pratique qui milite en faveur de la première hypothèse : L'utilisation de l'équerre est la plus rapide, donc la plus adaptée à la peinture à fresque sur enduit frais de l'éventail horaire (technique italienne dite « a fresco »). Les tracés de la sous-stylaire ayant probablement été faits préalablement en période de solstice d'été sur plusieurs cadrans.

Sans nouveaux éléments, votre conclusion est donc la suivante :

Pour la construction du centre du cercle diviseur , l'hypothèse la plus vraisemblable semble bien être celle où Zarbula utilisait une équerre telle que décrite dans « l'Equerre et l'Oiseau », document qui reste aussi la référence pour le reste de la construction de l'éventail horaire.



Cercle Z en pointillé: pour tracer son point Z, Zarbula utilisait un compas à verge.(une tige munie de 2 pointes coulissantes).

Construction du cercle diviseur: centre W obtenu à l'équerre.

7 – De la précision des tracés

Vous pensez sans doute que ce Zarbula était un gaillard formidable. Mais quand vous aurez établi pourquoi ses cadrans étaient si précis, vous vous direz, peut-être qu'il était très doué…ou qu'il avait beaucoup de chance.

Vous avez déjà remarqué le niveau de précision atteint par Zarbula sur ses cadrans, mais maintenant que vous connaissez sa méthode et l'approximation de 45° faite sur les latitudes, vous sentez (peut-être confusément), que la construction du style est, elle-aussi, entachée d'une erreur. Quelle est l'influence de cette erreur sur la précision finale du cadran ? Comme vous voulez en avoir le cœur net, vous reprenez le cheminement des constructions réelles afin de calculer (encore !) la valeur de l'écart horaire engendré. (Cela vous rappelle quelque chose : au début de cette quête, vous avez déjà calculé les angles fautifs de style donnant un écart horaire de 5 mn, et cela vous avait mis sur la bonne piste.)

Cette fois, vous vous fondez sur la construction du point Z qui suppose une latitude et un angle S' connus.

Puisque cet angle S' est juste, il vous faut calculer l'angle fautif d$\underline{f}$ engendré spécifiquement par la construction de Zarbula.

Vous trouvez le résultat suivant (voir en annexe A2) :

$$df/d\varphi = -\,1/\cos^2 S' \,.\, \sin 2|\underline{f}| \qquad (7)$$

ce qui vous montre, comme vous pouvez le vérifier sur les figures, que pour S' donné, l'angle stylaire obtenu varie en sens inverse de la latitude.

Vous pensez alors que ces erreurs de latitude et d'angle stylaire peuvent, suivant les cas, se compenser ou se cumuler, et ainsi conduire à de mauvais résultats.

Pour avoir les ordres de grandeurs de ces résultats, vous faites alors trois séries de calculs comparatifs au solstice d'hiver (toujours aidé par votre ordinateur, car ils sont assez lourds):

- La première série va vous donner l'écart horaire théorique maximal donné par la construction globale de Zarbula.
- La deuxième série chiffre l'écart horaire maximal obtenu sur un cadran calculé pour 45° et qui a été déplacé sur le lieu réel d'implantation, mais en construisant néanmoins un style polaire sur la sous-stylaire.
- La troisième série est similaire, mais en gardant l'angle du style d'origine.

Vous obtenez ainsi le tableau suivant :

Cadran	φ réelle	dφ	D	S'	Constr. Zarbula		Style polaire		Δ latitude
	degré	degré	degré	degré	ΔH maxi	H. hiver	ΔH maxi	H. hiver	ΔH maxi
Briançon	44,89	-0,11	31,5	27,68	-33	11:48	-32	6:00	11
Château-Queyras	44,76	-0,24	-16,4	-15,89	43	13:20	70	6:44	25
Escoyères	44,71	-0,29	-12,5	-12,33	46	13:40	84	7:08	30
La Vachette	44,92	-0,09	-42,5	36,69	41	11:36	21	5:00	9
Le Raux	44,70	-0,30	47,5	-34,12	-168	12:44	-78	18:40	31
Les Tancs	44,49	-0,51	-35,0	-30,28	173	12:00	141	5:40	53
Valloire	45,17	0,16	20,0	10,50	33	10:56	50	17:20	16
Vallouise	44,84	-0,16	-50,5	-37,81	103	11:08	41	5:00	16

Nota :Pour un déplacement en latitude le décalage maximal en hiver se produit toujours à 6h

Bien entendu, ces nombres **ΔH maxi** calculés ici en secondes sont surtout à prendre comme des ordres de grandeur comparatifs. Vous constatez deux choses principales :

1 - Quand on déplace légèrement un cadran en latitude on a intérêt à garder l'angle stylaire d'origine

2 - La construction de Zarbula appliquée au style puis à l'éventail horaire donne une précision sensiblement équivalente à celle qui serait observée s'il avait construit ses cadrans avec des styles polaires . On est vraiment dans l'épaisseur de l'ombre !.

En avait-il conscience ? Peu importe, vous savez maintenant comment il procédait et vous connaissez les raisons de la précision de ses cadrans.

Et vous pouvez vous dire quand même : « Sacré Zarbula ! »

7 - Epilogue :

Si par aventure, vous admirez un cadran
Baigné par le soleil et sous un ciel d'azur
Sur ce chemin des Hautes-Alpes vous promenant,
Si vous voyez un rude gaillard de fière allure
Accompagné par une mule chargée d'outils,
De pinceaux divers, et d'oiseaux de paradis,
Laissez le vous croiser, et quelques pas plus loin,
Prononcez distinctement le nom « Zarbula ».
Alors… s'il se tourne et parle comme un Italien
Ne vous posez pas de questions…appelez moi !

Cette étude n'aurait pu être menée efficacement sans le support attentif, les conseils et la relecture avisée de Paul Gagnaire.

La base de données de la Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France ainsi que les clichés fournis par Serge Grégori et Alain Ferreira ont été largement utilisés.

Les vérifications précises sur des clichés de cadrans « Zarbula » non restaurés ont pu être réalisées grâce à Pierre Putelat et Gaëlle Ducrot (dans le strict respect des confidentialités demandées.)

ANNEXE 2

A2-1 Conversion d'un angle f en équivalent horaire H

Cette conversion utilise la formule démontrée en trigonométrie sphérique :

$$\operatorname{tg} H = (\cos \varphi - \sin D . \sin \varphi . \operatorname{tg} f)/\cos D . \operatorname{tg} f$$

avec φ : latitude
H : angle horaire
D : déclinaison gnomonique du mur
f : angle entre la sous-stylaire et le style

A2-2 Justification de la construction de Zarbula

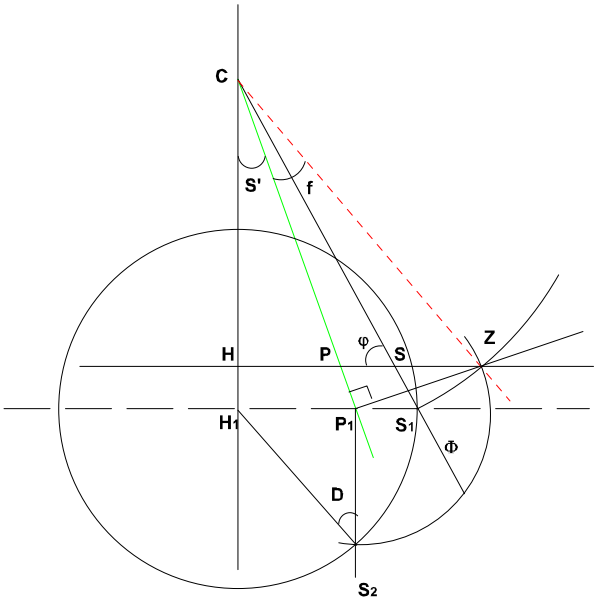
Nous donnerons deux démonstrations de la construction de Zarbula, une géométrique et une plus algébrique.

Les deux démonstrations s'appuient sur la figure ci-après.

L'épure consiste à tracer d'abord la verticale, la sous-stylaire et CΦ qui fait un angle $\pi/2 - \varphi$ avec la verticale. En H_1 quelconque sur la verticale, on trace une horizontale qui coupe la sous-stylaire en P_1 et CΦ en S_1.
L'arc de cercle de rayon CS_1 coupe la perpendiculaire à la sous-stylaire passant par P_1 en Z.
L'horizontale passant par Z coupe respectivement la verticale, la sous-stylaire et CΦ en H, P et S.
P_1Z peut-être considéré comme étant le rabattement d'un style provisoire CK autour de la sous-stylaire (K, sommet de ce style provisoire n'est pas visible sur l'épure). P_1 est donc le pied du style droit correspondant. P_1Z est l'image de ce style droit P_1K et P_1S_2 est son image dans le rabattement autour de l'horizontale.
Comme P_1 est sur la sous-stylaire qui fait l'angle tabulaire S' avec la verticale, on en déduit que l'angle $H_1S_2P_1$ est précisément la déclinaison gnomonique du mur D et que P_1CZ est bien l'angle stylaire. Voilà pour la géométrie.
Pour la démonstration plus algébrique, on sait que, par construction $CS_1 = CZ$.
En tenant compte du fait que:

- S_2 est l'image de K par un rabattement autour de l'horizontale provisoire H_1S_1, donc $H_1S_1 = H_1 S_2$
- Z est aussi l'image de K, mais dans un rabattement autour de la sous-stylaire CP_1, donc $P_1S_2 = P_1Z$

Dans le triangle rectangle CP_1Z, on a
$P_1Z/CZ = P_1S_2/CS_1 = H_1S_2.P_1S_2/ H_1S_2.CS_1 = H_1S_1.P_1S_2/ H_1S_2.CS_1 = \cos\varphi.\cos D$ (A2-1)
Comme l'angle stylaire « géométrique » est la valeur absolue de l'angle $\underline{f} = |f|$ entre la sous-stylaire et le style, nous savons que cette expression est précisément égale à $\sin|f|$
c.q.f.d



A2-3 Calcul de df/dφ avec S' fixe

En élevant (A2-1) au carré, il vient: $\sin^2 f = \cos^2\varphi.\cos^2 D$

Comme sin D = tg S'. tgφ, la relation ci-dessus devient

$\sin^2 f = \cos^2\varphi(1 - tg^2S'.tg^2\varphi) = \cos^2\varphi - tg^2S'.\sin^2\varphi = 1 - \sin^2\varphi/\cos^2S'$

Ce qui donne en différentiant:

$2 \sin f.\cos f.df = -\sin 2\varphi.d\varphi/\cos^2S'$

Dans notre cas $\varphi = \pi/4$ donc sin 2φ = 1

$df/d\varphi = - 1/\cos^2S'.\sin 2|f|$ (A2-2)

A2-4 Sur la précision :

L'écart horaire dû à un angle fautif de style est donné par les formules de l'Annexe A1-4

L'écart horaire fautif F dû au déplacement d'un cadran en latitude est donné par:

$tg F = \sin H /(\sin \Delta\varphi. tg \delta + \cos \Delta\varphi . \cos H)$ (A2-3)

(voir « La Gnomonique » de Denis Savoie – page 318) avec:

F angle horaire fautif,

H angle horaire considéré,

Δφ déplacement du cadran en latitude,

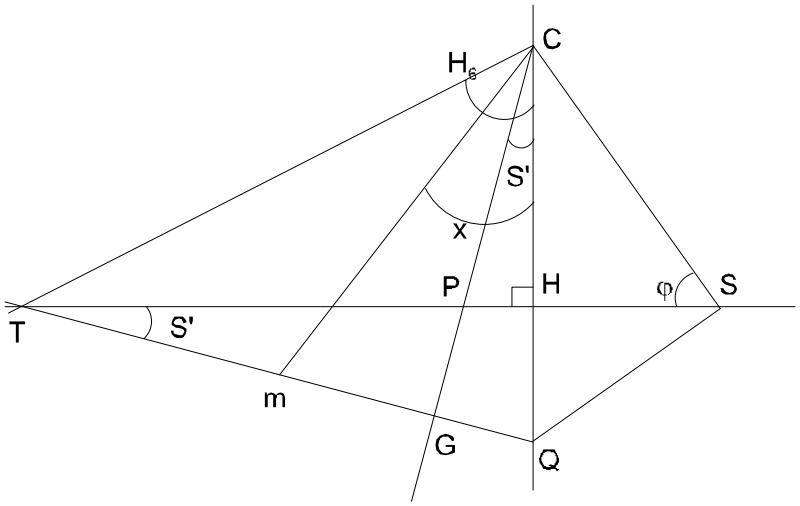
δ déclinaison solaire

ANNEXE 3

A3-1 position du milieu du segment TQ

L'angle mCQ = x

Dans le triangle quelconque mCQ, on a (voir figure ci-après)



Sin x/mQ = cos S'/Cm

D'où

Cm = cos S'.mQ/sin x (A3-1)

Dans le triangle TCm, on a

Sin CTm/Cm = $\sin(H_6 - x)$/Tm

Soit en tenant compte de (A3-1) et en considérant l'angle tabulaire 6 heures ($=H_6$)
$Cm = Tm.\sin CTm/ \sin(H_6 - x) = \cos S'.mQ/\sin x$
Par ailleurs
$CH/HQ = tg^2\varphi$ et
$Tg\ H_6 = HT/CH = HQ/CH.tg\ S' = 1/ tg^2\varphi.tg\ S'$ (A3-2)
Comme l'angle $CTm = \pi/2 - H_6 + S'$ il vient
$\sin(H_6 - x). \sin x = \cos S' . \sin (H_6 - S')$ (A3-3)
Pour résoudre cette équation, on calcule d'abord H_6 par (A3-2), puis x.
Dans le cas ou $\varphi = \pi/4$ on a $tg\ H_6 = 1/tg\ S'$ soit $H_6 = \pi/2 - S'$
L'équation (A3-3) devient
$\cos(S' + x) = 2 \sin S'.\sin x$ ou $\cos S' .\cos x = 3 \sin S'.\sin x$
Soit: $tg\ x = 1/3.tg\ S'$ (A3-4)

A3-2 Position du point S_2

Rappelons que le point S_2 est à l'intersection de CZ et de la perpendiculaire en P à la sous-stylaire. On a par construction, $CS2/\sin \varphi = CS/ \sin \varphi = CQ$

Et: $CG/\cos S' = CQ$

Donc: $CS2/CG = \rho = \sin \varphi/\cos S'$

Dans la version CDrom de Cadran Info vous trouverez en annexe:
L'article complet "Les Styles de Zarbula": livret de 20 pages

****

Alain Ferreira nous informe…

Avec son spectaculaire cadran polyédrique, **Juan Serra Busquets** a gagné le premier prix du concours, édition 2006, de l'Observatoire Serafino Zani à Brescia en Italie [1]. Il s'agit d'une forme sphérique installée sur un décaèdre, d'où le nom « rombicosidodecaedro » pour cet ensemble. Son axe est incliné par rapport à l'horizon d'un angle égal à la latitude de Palma. Sur la sphère se trouvent 62 cadrans et il y en a autant sur le décaèdre.

Le site Internet de Juan Serra, http://www.bernisol.com/index.htm, bien connu des gnomonistes, abonde d'informations ; on y trouve une histoire des cadrans solaires que l'on peut enregistrer en fichier pdf, une bibliographie gnomonique dans différentes langues. On y trouve également diverses rubriques : météorologie, éphémérides, cours d'astronomie.

Les cinq pages réservées aux cadrans portatifs sont très intéressantes, on y voit une centaine de cadrans et de maquettes réalisées par l'auteur, formant une large palette des différents types de cadrans connus, anciens et modernes.

1) sur ce sujet, on pourra consulter les sites :
http://www.astrofilibresciani.it/Meridiane/Le%20Ombre http://www.bernisol.com/portatiles5.htm

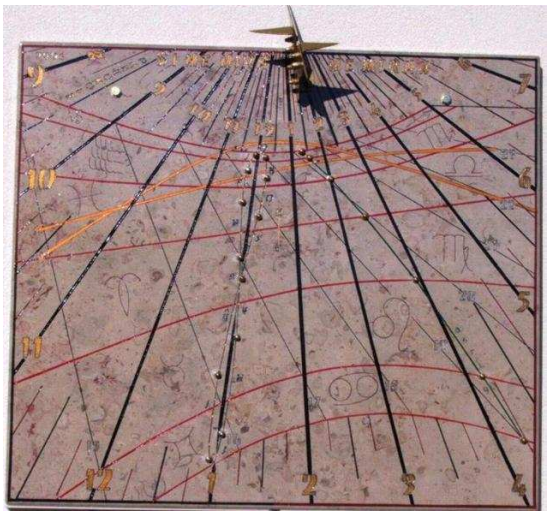
INFORMATIONS DIVERSES

° Les dernières réalisations:

de M. Jean Pakhomoff à Marseille, 61 allée de Créte, Le Collet des Comtes, 13011.

Ce cadran a été réalisé sur de la pierre de Cassis en novembre et décembre 2006. Il vient compléter les 6 autres cadrans de la maison.

Le style principal a une longueur de 25 cm. La forme rappelle vaguement le corps d'un oiseau. Par l'ombre du bout du bec (extrémité du style) on lira les heures civiles d'hiver et d'été, les heures italiques, l'emplacement du soleil dans les signes du zodiaque, l'heure de la prière du ASR (avancée de 90 minutes) le midi vrai et le midi moyen. La courbe de l'équation du temps est construite sur la ligne horaire civile 12h hiver 13h été.



L'ombre de la pointe de l'aile Ouest suivra la courbe M correspondant au 18 Juillet (et 13 Mai) jour anniversaire du propriétaire du cadran. L'ombre de la pointe de l'aile Est suivra la courbe C correspondant au 8 septembre (et 4 Avril) jour anniversaire de la propriétaire du cadran.

de M. Joel Robic, une copie d'un cadran de Zarbula calculé pour un nouvel emplacement.

Il est "inachevé" de manière à montrer l'épure telle que le cadranier aurait pu la réaliser.

La devise peut se lire en entier. On peut aussi en lire seulement la moitié terminée ! C'est la devise la plus fréquente de Zarbula, "Sans soleil, je ne suis rien", qui comportait en réalité une deuxième partie : "Et toi, sans Dieu, tu ne peux rien".

Ce cadran sera installé près de Belfort, dans un angle intérieur de mur. Le mur en équerre comportera le dessin d'un homme de dos (Zarbula) sur une échelle. Celle-ci représentera le tracé d'un second cadran solaire, déclinant de l'après midi qui fonctionnera avec le style du cadran principal.

de M. PJ. Dallet.

Cadran polaire à style en forme de quart de cercle, rayon planté au point zéro. Ce cadran peut procurer le temps moyen par des huit. Ses lignes d'heures sont des droites parallèles. Ses lignes de déclinaison sont également des droites parallèles. L'heure se lit à l'intersection d'une ligne de date et de l'ombre du style.

Le style est un quart de cercle de rayon R=1 dans les calculs, (sur mon cadran R=83 mm). Son centre est le point d'origine des coordonnées du cadran. Ce style se compose en fait d'une infinité de styles droits.

L'angle H est l'angle horaire du Soleil, De la déclinaison du Soleil. (Synonyme de δ) Pour un cadran à style ponctuel polaire, porté par un style droit de longueur 1, x et y se calculent par les formules : x = tan (H); y = -tan (De) / cos (H). Le rayon du style étant 1. G seront les longueurs (cotes) des styles droits. L est la longueur, en degrés, de l'arc de circonférence sur lequel sont répartis les styles polaires ponctuels. Pour ce cadran nous avons choisi : L = 89°. K est le coefficient pour transformer le cercle en ellipse, ici, K= 1.

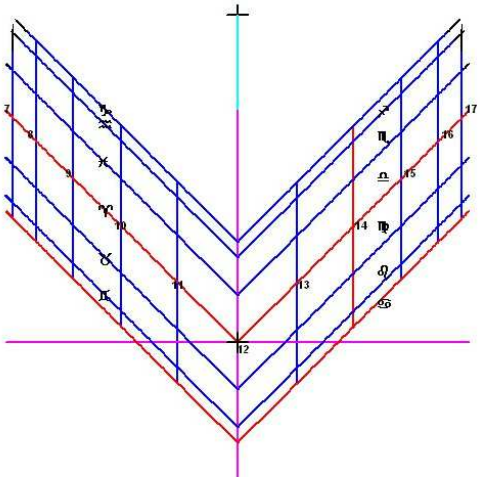
Au coucher du Soleil sur le cadran le style droit est non nul, il est à L degrés (89°) du sommet du style courbe, environ 1,5 mm de la surface du cadran.

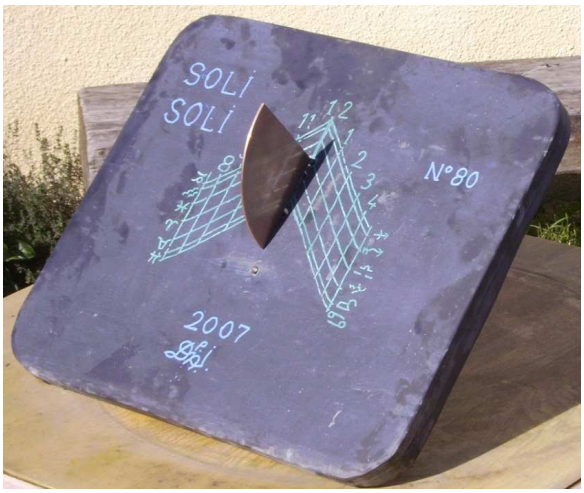
La cote du sommet du style droit, utilisé pour l'angle horaire H, portant un point S de style polaire est : G = cos (H * L/ 90). L'abscisse de l'ombre du point S est : X = tan (H) * G

Le style est tourné vers le bas, l'ordonnée de l'ombre du point S est :

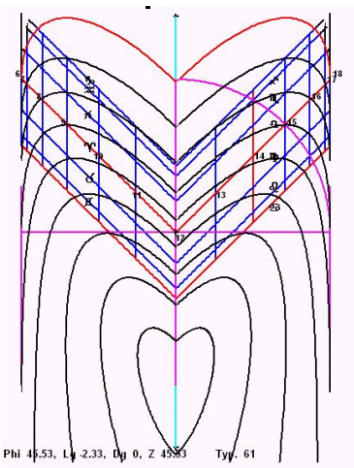
Y= -tan (De) * G / cos (H) - sin |H* L/ 90|* K

Les valeurs réelles sont finalement obtenues par : x = X * 83 mm; y = Y * 83 mm.





▲ Cadran polaire plein SUD.



Déclinaison gnomonique : 0°, inclinaison gnomonique : 45°32'. Pour l'obtenir une cale épaisse de 5 mm est à placer sous la pierre support (Caoutchouc découpé dans chambre à air de camion).

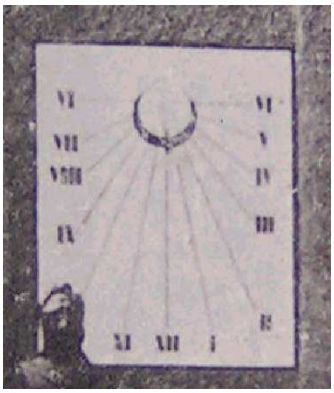
Style Quart de circonférence, de rayon 83 mm, contour d'un quart de cercle en cuivre rouge, épais de 2 mm. .

Le cadrandonne le Temps solaire vrai local.

◀ Tracé complété des lignes d'almicantarats (pour la beauté)

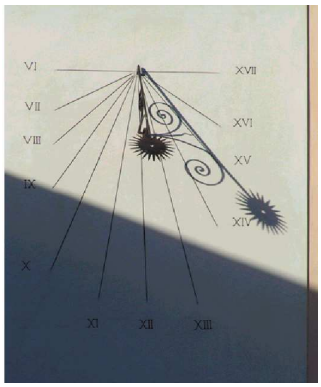
A saint-Calais (information de JM-Ansel)

Hélas, cette réalisation, n'est pas une réussite. Il s'agit de la restauration ou plutôt de la transformation du cadran solaire de Saint-Calais (Sarthe): <<Hôtel de ville, cour, sous horloge : vestige de cadran méridional, gravé et peint sur enduit, traces de lignes, pas de chiffres, style tordu avec soleil perforé, jambe.>> qui peut désormais avoir cette dscription: <<Hôtel de ville, cour, sous horloge : cadran fantaisiste avec tracé de cadran déclinant et… style de cadran méridional.>>.



◂ Cadran avant "restauration"

Cadran après ▸



° En voiture pour les cadrans solaires des Hautes-Alpes:

Dans le numéro 305 (janvier 2007) de "**AutoRetro**", il est proposé un "circuit cadrans solaires" de 300km à bord d'une vielle Opel Kadett GT/E équipée d'un kit de 135ch, d'un pont autobloquant et d'amortisseurs Bilstein pour négocier parfaitement les virages (les spécialistes appréciront).

Week-end dans les Hautes-Alpes

La route des cadrans solaires

Slalom entre les vallées de la Guisane et de la Durance, *free ride* dans les combes du Queyras, schuss final jusqu'au lac de Serre-Ponçon. Voici le programme d'une descente hors-piste avec, pour planche de salut, une habituée des rallyes neige, l'Opel Kadett GT/E.

Voici ce que l'on peut lire en introduction au voyage: <<… omniprésence des cadrans solaires peints sur les murs des édifices publics ou des maisons privées. Qu'ils soient anciens comme ceux signés par l'artiste piémontais Zarbula –chercher le sigle ZGF- ou contenporains, ils allient beauté du dessin et savoir ancestral (la gnomonique). En prime, les cadraniers personalisent souvent leur œuvre en y apposant une maxime philosophique sur la vie, la mort et le temps qui passe.>>

° Histoire d'étiquettes

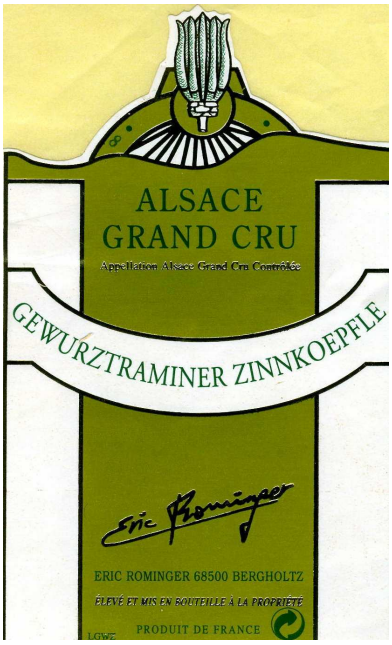
Deux étiquettes associent la géologie, la minéralogie, la gnomonique, la viticulture et pour terminer l'œnologie ! Article de Jean-Marie Nick, publié dans *L'Est agricole et viticole* le 6 décembre 1996 et le 23 février 1998, dans *L'Alsace du Lundi* (Etiquettes amicalement remises par M. E. Rominger) et rapporté par Maurice Kieffer avec l'autorisation de l'auteur pour publication dans cadran Info.

DU MUSCHELKALK AU CADRAN SOLAIRE

Eric Rominger, viticulteur à Bergholtz nous propose aujourd'hui deux étiquettes particulièrement étudiées. Ici tout est symbole. Essayons de décrypter ces énigmatiques images.

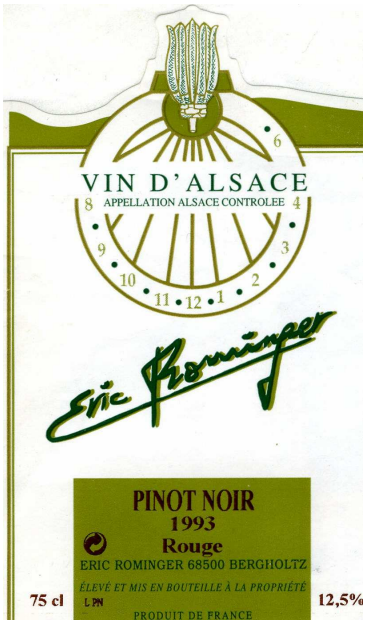
Au commencement, les "Somme Irle". Pour saisir ce que cachent ces images, il faut se rappeler que le Zinnkœpflé, la célèbre colline sous-vosgienne qui domine Soultzmatt et

Westhalten, est un site calcaire composé de roches du Muschelkalk superposées et dont la formation remonte à l'ère secondaire, plus particulièrement au trias moyen. La roche la plus proche du sol est le calcaire à entroques qui renferme des fossiles de céphalopode (mollusques nageurs) et du lis de mer (encrinus liliiformis), un animal de la famille des étoiles de mer, fixé au sol marin par une tige et présentant un calice tentaculaire. Ces fossiles cassés horizontalement font penser à un cadran solaire, d'où leur dénomination de Sonne Irle (petite montre solaire). Ils portent encore le nom de "Sinnele", c'est-à-dire petits soleils.



L'étiquette grand cru: le lis des mers domine le cadran solaire-soleil se levant sur la silhouette des collines sous-vosgiennes de la vallée noble.

Le cadran solaire qui a inspiré Eric Rominger se trouve sur le mur méridional du presbytère protestant de Bischwiller près de Haguenau et date de 1830 (Photo JMN).



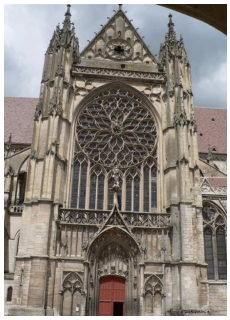
L'étiquette vins de cépage: le "Sonne Irle" (petit cadran solaire) ou "Sinnele" (petit soleil) évoque le lys des mers du Zinnkœpflé

L'étiquette "Grand cru". Elle veut avant tout mettre en valeur le terroir Zinnkœpflé. De haut en bas, on y voit le lis des mers, épanoui comme une tulipe de vignoble. Il couronne le cadran solaire symbolisant le Sonne Irle coupé horizontalement, comme nous l'avons expliqué plus haut. Ce cadran solaire représente aussi le soleil se levant sur les massifs du Zinnkœpflé et du Strangenberg. La zone ondulée de l'image dominée par le cadran solaire-soleil levant représente pour le viticulteur la silhouette des collines sous-vosgiennes de la vallée de l'Ohmbach (ou Vallée noble), avec de gauche à droite le Heidenberg, le Zinnkœpflé, le vallon de Westhalten et le Strangenberg. Quant au profil général de l'étiquette et notamment la partie contenant l'appellation "gewurztraminner Zinnkœpflé", elle évoque le pourtour du cadran solaire de la cave viticole de Beblenheim.

L'étiquette vins de cépage. Elle fait d'emblée penser à l'ensoleillement des vignes. La silhouette des collines sous-vosgiennes évoquées précédemment est encore présente, mais bien plus discrètement. Ici encore, le lis des mers, image forte rappelant les terrains où sont élevés les différents cépages, domine l'étiquette. Mais juste en dessous nous trouvons le cadran solaire qui semble commander l'ensemble de l'image. Eric Rominger a dû voyager loin pour dénicher celui qui lui conviendrait le mieux. Ainsi, le cadran qui illustre son étiquette est celui qui est conservé sur la façade arrière (côté sud) du presbytère protestant de Bischwiller, commune située dans le Bas-Rhin, près de Haguenau. Il date de 1830!

Tout est symbole. Pour mettre en valeur sa production, Eric Rominger a su manier avec un art consommé les images fortes qu'il av0ait sous les yeux. Il a compris que les symboles s'interpénètrent et qu'ils ont chacun plusieurs dimensions. Ce symbolisme n'est d'ailleurs cultivé que pour rendre hommage au vin. Or, les philosophes considèrent souvent le vin comme symbole de la connaissance et de l'initiation. Dans ce cas précis, le monde minéral du Zinnkœpflé se fond, pour le transcender, dans le monde végétal des nobles cépages. Leurs fruits connaîtront la transmutation de ce qui est terrestre et végétatif au service non seulement du bonheur de Homme, mais aussi de l'élévation de son esprit.

° Enquête sur le cadran de la cathédrale de Sens (J.Aubry)



La cathédrale de Sens possède sur le pilier de gauche un cadran multifaces enchassé à une hauteur de dix-neuf mètres, peu lisible même aux jumelles.

Il a été identifié en 1958? par E.Zimmer, puis par P.Bourgeois en 1965, qui le décrit comme un cadran a 2 faces, 2 syles polaires avec calice trifolié. En 1975, R.Sagot indique dans son inventaire: <<cadran quadruple composé de 2 cadrans véticaux déclinants, un style polaire, celui de gauche est tordu. Deux cadrans polaires (1/4 de cercle?) style en pierre cassé en partie supérieure>>.

Le 18 mars 2006 est découvert par hasard sur une photographie, des chiffres arabes sur la table équatoriale ainsi que des lignes en continuitées des lignes horaires. Les chiffres 2,4,5 et 7 sont particuliers et une recherche sur leur forme indiquerait en accord avec l'époque de construction du transept supportant le cadran, que ce dernier pourrait être conçu avant 149? Ce qui en ferait un des premiers cadrans solaires français à style polaire (celui dela cathédrale de Strasbourg est daté 1493).

Des recheches sont encore à mener au niveau du graphisme des chiffres, de l'utilisation de ce cadran a une telle hauteur, de cadrans similaires etc.

Du travail à mener avec les monuments historiques et peut-être un espoir d'approcher le cadran de plus prêt.

° Premier méridien d'Italie: une plaque au Vatican (information de M. Kieffer)

Mgr Giovanni Lajolo, président du Gouvernorat de la Cité du Vatican a présidé, le 23 février, l'inauguration d'une plaque marquant le premier méridien d'Italie, sur le territoire du Vatican, au pied de la statue de Saint Pierre. Une méridienne existe dans la salle principale du premier étage de la Tour des Vents. Elle est constituée d'une ligne droite en marbre blanc courant sur le plancher. C'est à partir de cette méridienne qu'Ignazio Danti a pu démonter au pape Grégoire XIII que l'équinoxe de printemps ne tombait plus le 21 mars, mais le 11 mars, avec les conséquences qui en découlent pour la détermination de la date de Pâques», a rappelé Mgr Lajolo. Ce dernier a également mentionné la méridienne de la basilique Sainte-Marie-des-Anges : « C'est sur cette base, qu'au début de 1770, Francesco Bianchini a pu vérifier pour le pape Clément XI la validité de la réforme du calendrier grégorien, et que se sont réglée les horloges de Rome au coup de canon du Janicule, mis en place en 1840 pour annonce midi ».

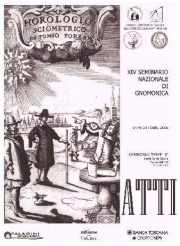
Photo sur le site du Vatican, (http://asv.vatican.va)

Gnomonique du Monde

En plus des bulletins que nous adressent nos amis des autres sociétés gnomoniques d'Europe et d'Amérique du Nord, dont Madame Gotteland nous communique le sommaire dans sa bibliographie jointe au compte-rendu de nos réunions semestrielles, voici quelques compléments.

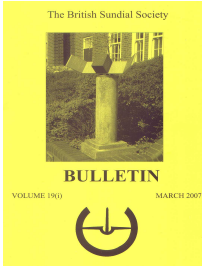
° **Eric Daled** nous informe que **La Zonnewijzerkring Vlaanderen** a publié en 2006, quatre bulletins "Zonnetijdingen". Edités en néerlandais, nous retrouvons les photos ou descriptions de quelques cadrans français (Paris, Mont Sainte-Odile, Alsace).

D'autre part, grâce à une étroite coopération entre membres néerlandophones et francophones, le site www.gnomonica.be est dorénavant consultable en français, néerlandais et anglais. Il présente les cadrans solaires de toute la Belgique. Le nombre de cadrans progresse régulièrement.

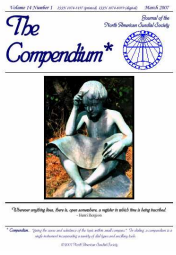


° **M.Del Favero** nous a transmis les présentations faites lors du **XIVème seminario nazionale di gnomonica** en octobre 2006 (CDrom). Près d'une trentaine d'articles riches et variés sont présentés.

° Rappelons le CD Sonnenuhren-Handbuch" (en allemand) publié par la **Deutsche Gesellschaft für Chronometrie**, prof. **Dr.Gerhard Aulenbacher**.

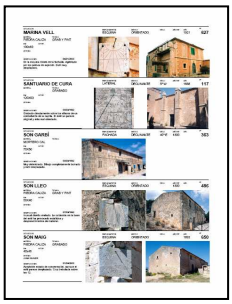


° La **British Sundial Society** a tenu sa réunion les 13,14, 15 avril 2007. Conférences, visites, remise de prix au meilleur auteur et à la plus belle photographie. A noter les présentations d'Alain Ferreira sur les cadrans décimaux de l'époque révolutionnaire et de Bernard Rouxel sur les heures de lever et de coucher du soleil sur un cadran analemmatique.



° **Fred Sawyer** président de la **NASS** nous adresse régulièrement "The Compendium" sur CDrom. Le numéro de Mars comporte 39 pages présentant 16 articles. Nous retrouvons "un cadran solaire sur un œuf" de B. Rouxel et "les cadrans cylindriques" de J. Robic.

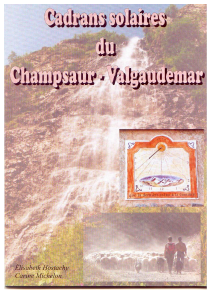
° **Miguel A.Garcia Arrando** a réalisé un inventaire des cadrans de l'ile de Mallorque sous le titre **Los relojes de sol de Mallorca 2006".** Près de 830 cadrans sont décrits et photographiés dans leur environnement et en gros plan. Une introduction présente un rapide historique de la mesure du temps, puis les statistiques gnomoniques de Mallorque (bibliographie, répartition, devises….). Un catalogue sur CDrom (format PDF) à ne pas manquer: mgarrando@tele2.es



° Lorsque nous aurons mentionné que **Miquel Dorca** de la **Societat Catalana de Gnomònica** prévoit une visite à Paris pour les 8-9 Septembre, preuve sera donnée des échanges particulièrement riches entre nos sociétés de part le monde.

Des livres et des revues

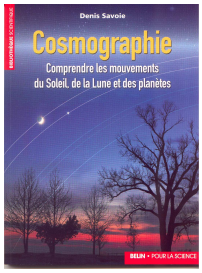
■ CADRANS SOLAIRES DU CHAMPSAUR-VALGAUDEMAR
(E. HOSTACHY & C MICHELON)



Petit livret faisant découvrir à traver des parcours pédestres ou en voiture dans le Champsaur et le Valgaudemar les cadrans solaires qui ornent les villages de cette région située au nord de Gap.

Des descriptions rapides des paysages, des curiosités, des cadrans invitent au tourisme tranquille. (Imprimerie T.I.G.COM mai 2006; 11euros)

■ COSMOGRAPHIE (DENIS SAVOIE))



La cosmographie est en quelque sorte "l'échafaudage" de l'astronomie. De nombreux schémas clairs et précis décrivent les fondements de l'astronomie, des notions élémentaires de mathématiques et de physique viennent compléter l'ouvrage.

Il ne s'agit pas d'un traité de gnomonique mais qui conque souhaite réaliser un cadran solaire a intèrêt à lire ce livre pour comprendre les mouvenents du soleil, pourquoi pas ceux de la lune et faire connaissance avec la trigonométrie sphérique. Facile à lire. (Belin pour la science; 24 euros)

■ LE PAROLE DEL TEMPO (E CORREGGIA & F GARNERO)

135 pages agrémentées de photos de cadrans solaires et de devoises, le tout en italien, français et anglais. La poésie est vue dans les *Mots du Temps*. (L'Artistica Editrice, via Torino 197 – 12038 Savigliano (Italie)

Dans le prochain Cadran info…

Outre les présentations de la "réunion de Printemps" reprises dans le détail, des articles attendent leur publication dans le prochain cadran Info N°16 d'octobre 2007.

A citer pour le moment : **"Etude de l'ombre et de la pénombre" (M. Ferrari,** traduction **de Mme Gotelland/Ph.Sauvageot),** les **"Instruments solaires de la Rome antique" (Mme Gotteland), "A propos d'une courbe en 8 réalisée par G. Camus" (M. Goude),** un **"Cadran analemmatique à Rasht en Iran" (M. Kriegler,** traduction de **M. Pineau), un "Cadran équatorial à Francfort" (M. Kriegler,** traduction de **M. Pineau), "Quelques réalisations gnomoniques virtuelles" (Luigi Massimo Ghia** et **Tonino tasselli),** comment réaliser un **"cadran solaire avec une boule de pétanque" (M. Rouxel).**

****