

Au Sommaire :

- **Changement d'heure en 2012 ?**
- **Tout sur les œillets et leurs projections**

- **Histoire :**

cadrans pour Catharina,
canoniaux de Thaon,
les multifaces,
le cadranier inconnu.

- **Réalisations:**

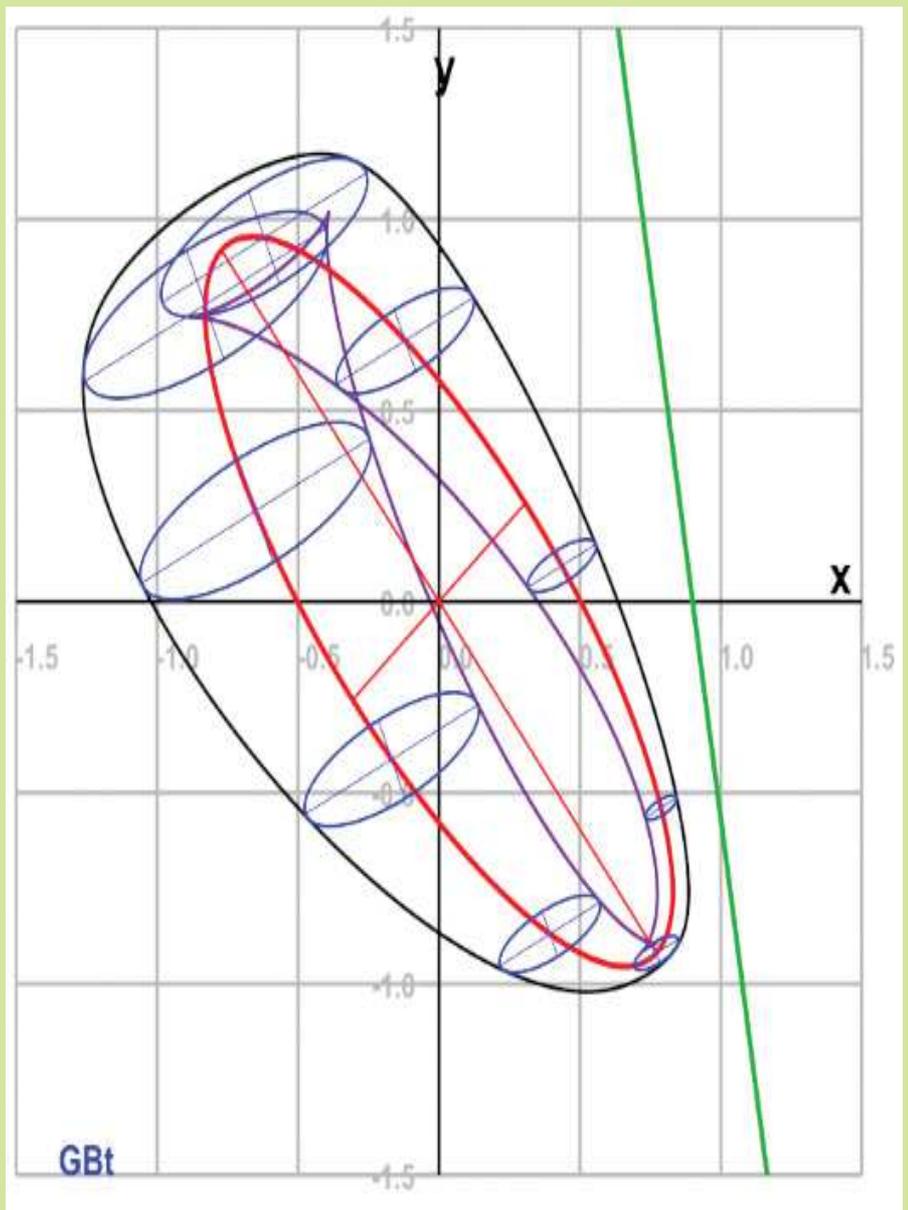
cadran rosace,
analemme inverse,
cadran sur parabolôïde,
cadran équi-curvilignes,
mise en place d'un style.

- **Découvertes :**

trois méridiennes,
ceci est vrai.

- **Informations :**

dernières réalisations,
présentations de cadrans,
lignes de midi inclinées,
astrolabes/heures égales,
méridienne de Versailles,
le cadran de Pingré,
revues étrangères.





Sommaire du N° 24

2 La réforme de l'heure		Savoie Denis	4
3 Cadran en forme de rosace		Bérriot Sébastien	12
4 Cadran analemmatique circulaire inverse		Cornec J.P & Guérin O	26
5 Trois méridiennes		Kieffer Maurice	33
6 Cadrans pour Henriette Catharina		Kriegler Reinhold	36
7 Mise en place d'un style		Pakhomoff Jean	44
8 Cadran à tracé équi-curvilignes (suite)		Reyman Francis	46
9 Oeilleton et tache de lumière		Savoie Denis	48
10 Oeilleton et tache de lumière		Goutaudier Marc	58
11 Méridienne à oeilleton elliptique de Loupian		Savoie Denis	68
12 Oeilleton, Ombre, Pénombre		Baillet Gérard	72
13 Oeilletons et courbes enveloppes		Baillet Gérard	88
14 Oeilletons et ellipses		Baillet Gérard	102
15 Canoniaux de Thaon		Schneider Denis	110
16 Et ceci est vrai		Theubet Joseph	114
17 Cadrans multifaces		Theubet Joseph	118
18 Le cadranier inconnu du Queyras (2ème partie)		Ugon Michel & Gagnaire Paul	129
19 cadran sur paraboloïde hyperbolique		Ziegeltrum Francis	141
20 Informations diverses Dernières réalisations Ils ont vu pourquoi la ligne de midi est incliné Les heures légales sur les astrolabes La méridienne du château de Versailles Le cadran de Pingré Heures à Nuremberg Gnomonique du Monde,	 	Contributeurs à cette rubrique: H.Alexandre, G.Bouteville, P.J.Dallet, M.Kieffer, R.Kriegler, M.Lalos, Ph.Sauvageot, D.Savoie, J.Theubet, Sociétés étrangères.	150

Version CDrom : Indique que l'étude détaillée ou le logiciel est inclus dans le dossier "annexe"
 Cliquer sur le titre de l'article pour ouvrir celui-ci (lien hypertexte)

Couverture de "Cadran Info" : Enveloppe d'une famille de taches projetées par un oeilleton circulaire, image "povray" de G. Baillet.

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" avec son article mensuel concernant les cadrans solaires et "Observations & travaux" qui présentent épisodiquement des sujets concernant la gnomonique.

CADRAN-INFO 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.

CADRAN-INFO paraît en Mai et en Octobre sous forme: papier (N&B ou en couleurs) et CD (les N°1 à 5 sont des scans des tirages papier).

A partir du N°11, la version CD comprend des annexes (logiciels, documents...)

La liste des articles parus depuis le premier numéro est disponible sur demande.

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

Ph. Sauvageot

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 la responsabilité de l'auteur.
- ◆ Les articles¹ sont à envoyer à Ph. Sauvageot par mail ou sur CDrom/DVD PC (Word, Excel, **PAS DE PDF**) éventuellement sur papier. Certains sujets pourront être repris dans "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.
- ◆ Les auteurs doivent obligatoirement indiquer leurs sources et/ou références si le sujet a déjà fait l'objet d'articles ou de communications récents.
- ◆ 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 nos articles ou informations

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



Vers une nouvelle échelle de temps ?

Conséquences pour la gnomonique

Par D. Savoie

Aujourd'hui, quantités d'activités dans le monde nécessitent de connaître l'heure avec une très haute précision, de façon stable et unilatérale (GPS américain, futur Galileo européen, systèmes informatiques, Internet, télécommunications, systèmes de surveillance géophysiques, pilotage des satellites, etc). Or les sauts de secondes (le dernier a eu lieu en 2008) qui permettent de maintenir en phase la rotation de la Terre et le temps des horloges atomiques, obligent les gestionnaires de ces systèmes à en tenir compte, ce qui n'est pas sans poser des problèmes, bien que jusque-là, tout ce soit parfaitement passé.

Depuis plusieurs années, **il est question de supprimer purement et simplement ces secondes intercalaires** et de les remplacer par des minutes intercalaires voire par une "heure intercalaire". Cette proposition a provoqué un tollé chez certains astronomes dans le monde entier.

Avant d'examiner les conséquences d'une telle **réforme de « l'heure »**, – qui semble imminente –, en particulier les répercussions pour tous les utilisateurs de cadrans solaires dans le monde puisque cela introduirait non seulement une quatrième quantité pour convertir le temps solaire en temps légal mais également **l'obsolescence à terme des cadrans à courbes en huit**, il est indispensable de se plonger dans les arcanes complexes des échelles de temps, en faisant au préalable un détour par les non moins complexes organisations qui gèrent le temps à l'échelle planétaire.

1 – Qui définit l'heure dans le monde ?

La gestion du temps mondial dépend de nombreuses organisations et laboratoires internationaux et nationaux qu'il est utile connaître car chacun a un rôle précis.

L'*Union Internationale des Télécommunications* (ITU), dont le siège est situé en Suisse à Genève, est une organisation internationale qui dépend des Nations-Unis¹. Elle

¹<http://www.itu.int/home/>

comprend trois composantes : Radiocommunication (ITU-R), Télécommunication-Standardisation (ITU-T) et Télécommunication-Développement (ITU-D). Cette *Union Internationale des Télécommunications* émet des recommandations sur des questions après examen par des comités internationaux d'experts. Pour qu'une recommandation devienne une recommandation de l'ITU-R, il faut qu'elle soit approuvée au moins par 70% des états-membres (192 pays actuellement). Pour la France, l'autorité de tutelle auprès de l'ITU est l'ANFR (*Agence Nationale des Fréquences*), dépendant du Premier Ministre². Les recommandations de l'ITU-R sont ensuite soumises à différentes organisations internationales avant d'être adoptées par les pays. C'est en 1999 qu'a été soumise à l'ITU-R la question de l'évolution de l'échelle de temps UTC (voir le chapitre 3).

L'*Union Astronomique Internationale* (UAI), qui regroupe les astronomes du monde entier³, comporte une commission "Temps" qui fait partie de la Division 1 (Astronomie Fondamentale, Commission 31). Son rôle est surtout d'assurer le lien entre la communauté "atomique" (celle des horloges) et l'astronomie. Il y a eu un Groupe de Travail spécial au sein de l'UAI (jusqu'en 2006) qui était chargé de réfléchir à l'évolution de l'échelle de temps UTC et qui a donné des recommandations (il n'y a pas eu de consensus) à l'UAI, laquelle en a fait part à l'ITU-R⁴.

Le *Bureau International des Poids et Mesures* est situé en France, au pavillon de Breteuil à Sèvres⁵. Sa mission est d'assurer l'uniformité mondiale des mesures et leur traçabilité au Système International d'Unités (SI). Au sein du BIPM, c'est le *Laboratoire National de Métrologie et d'Essais* (LNE) qui représente la France, depuis janvier 2005⁶. Ce Laboratoire a chargé le département du SYRTE (*SYstème de Référence Temps Espace*), situé à l'Observatoire de Paris, de s'occuper de la réalisation des références dans le domaine du temps-fréquence.

Au sein du SYRTE se trouvent deux services : le LNE-SYRTE, laboratoire national responsable de l'échelle de temps légal français⁷, et le *Service International de la Rotation de la Terre* de l'IERS, laboratoire international situé à l'Observatoire de Paris, responsable mondial de la détermination et de l'orientation de la Terre⁸. C'est l'IERS qui décide des sauts de secondes.

Tout ce dédale d'organisations ne doit pas faire perdre de vue une chose : la gestion du temps n'est pas centralisée et ne présente donc pas le risque de se voir confisquer par une nation ou une organisation, du moins en théorie. Le GPS américain, qui rappelons-le est un système militaire, et qui occupe une part croissante dans les activités mondiales, ne sera bientôt plus l'unique système de diffusion du temps grâce aux européens et leur Galileo.

2 – Les trois échelles de temps

On peut dire que trois échelles de temps concernent les activités "courantes" du monde entier : UT1, TAI et UTC.

2<http://www.anfr.fr/>

3<http://www.iau.org/>

4 <http://www.atnf.csiro.au/iau-comm31/activities.php>

5<http://www.bipm.fr/>

6<http://www.lne.fr/>

7<http://opdaf1.obspm.fr/>

8<http://hpiers.obspm.fr/>

Décrivons-les succinctement⁹.

UT1 (*Temps Universel*)¹⁰ est l'échelle de temps basée sur la rotation de la Terre autour de son axe. Longtemps considéré comme uniforme (UT1 était utilisé pour définir le temps légal jusqu'en 1972), UT1 présente en fait des irrégularités dont les plus importantes sont dues aux variations du régime des vents, à des variations de courants à l'intérieur du noyau terrestre et à l'action de la Lune et du Soleil. Concrètement, cela signifie que la rotation de la Terre sur elle-même est plus courte en août qu'en février (1 à 2 millisecondes de variation). UT1 est donc variable au cours de l'année mais également au fil des siècles : le jour est actuellement plus long de 2,5 millisecondes qu'en 1820. Toutes ces variations sont mesurées en permanence par l'utilisation du *Very Long Baselines Interferometry* (VLBI); UT1 est déterminé par l'IERS. En résumé, la rotation de la Terre connaît un ralentissement séculaire (en raison des marées océaniques) sur lequel se superposent des accélérations ou des ralentissements dus à des effets climatiques et géophysiques.

Le TAI (*Temps Atomique International*) est devenu officiel en 1971 lors de la quatorzième conférence générale des poids et mesures : *Le Temps atomique international est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau international de l'heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'unités*. Le TAI est donc établi par le *Bureau international des Poids et Mesures* (BIPM) à partir d'un parc d'environ 200 horloges atomiques réparties dans le monde. C'est donc une échelle de temps fabriquée par l'homme, parfaitement uniforme et d'une grande stabilité. En France, c'est le LNE-SYRTE qui contribue au TAI¹¹.

La troisième échelle de temps, UTC (*Temps Universel Coordonné*) a été créée en 1972. A cette époque, on a cru bon de ne pas perdre totalement la correspondance entre le temps et l'orientation de la Terre dans l'espace (définie par UT1), essentiellement pour les navigateurs qui avaient besoin, pour faire le point en mer, d'une heure liée à la position de la Terre dans l'espace. On a donc créé une échelle de temps hybride, qui possède les qualités d'uniformité du temps atomique par "morceaux", mais qui, grâce à des sauts de seconde appropriés, permet de maintenir en phase la rotation de la Terre et les horloges atomiques, ceci pour les applications relatives à la navigation, à l'astronomie et aux usages civils (fig. 1). En d'autres termes, dès que la Terre accélère ou ralentit, on ajoute (ou on supprime) une seconde.

Jusqu'à présent, on a seulement ajouté des secondes intercalaires. Selon ces conventions, on a :

$$\begin{aligned} \text{TAI} - \text{UTC} &= n \text{ secondes} \\ \text{UT1} - \text{UTC} &\leq 0,9 \text{ seconde} \end{aligned}$$

Au 1^{er} janvier 2011, la différence TAI – UTC est de 34 secondes¹². Il ne faut pas perdre de vue que la définition de UT1 a été conçue pour qu'il reste en phase, à long terme, avec le temps solaire (fig. 1).

⁹Voir D. Savoie, "Le temps des astronomes", *Revue du Palais de la découverte*, ... Voir également Tony JONES, *Combien dure une seconde ?*, éd. EDP Sciences, Paris, 2003.

¹⁰Le chiffre 1 signifie que c'est le pôle instantané de la Terre, donc mobile, qui est utilisé. En fait, on peut écrire UT au lieu de UT1 si la précision d'une seconde suffit. Le *Temps Universel* est le temps civil de Greenwich : c'est donc le temps solaire (indiqué par un cadran solaire par exemple situé sur le méridien de Greenwich) au sens d'angle horaire, augmenté de l'équation du temps et de 12 heures.

¹¹ En fait, TAI est une échelle de temps "papier" qui est calculée au BIPM, en différé, par rapport au temps délivré dans les laboratoires du monde entier.

¹²TAI et UTC ont été définis comme exactement synchrones en 1958.

Depuis l'instauration de ce système, on a dû ajouter 23 secondes à UTC. Ces sauts de seconde sont programmés soit pour le 1^{er} janvier, soit pour le 1^{er} juillet, à 0 heure. Notons que l'heure diffusée par l'horloge parlante est UTC, à laquelle on ajoute 1 heure en période "heure d'hiver" et 2 heures en période "heure d'été". En résumé, UTC n'est autre que TAI décalé d'un nombre entier de secondes de façon à se conformer approximativement à UT1.

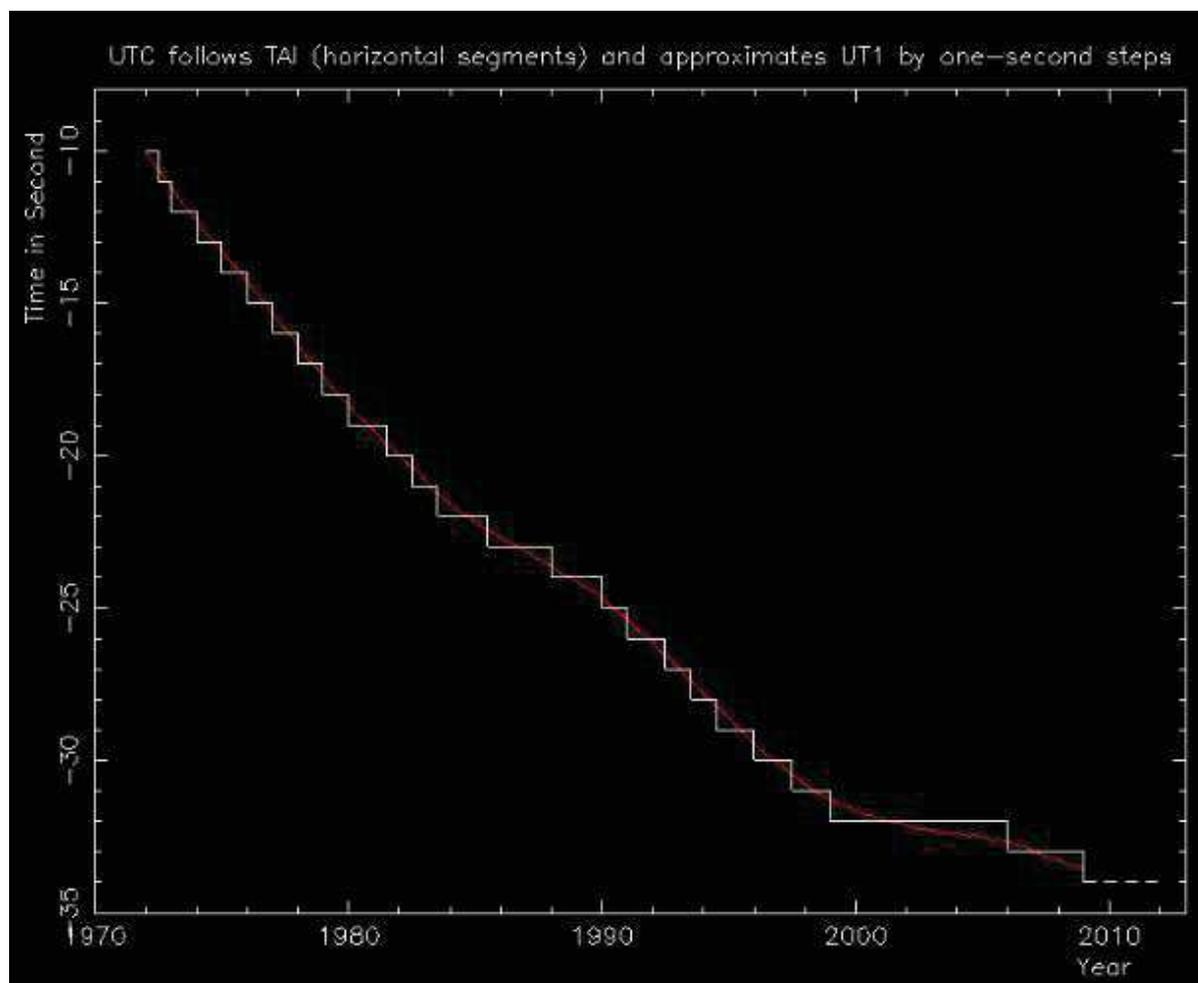


Fig 1 : Ecart depuis les années 1970 entre UTC et TAI. Le bord supérieur horizontal de la figure représente TAI, échelle de temps parfaitement uniforme. La courbe rouge représente UT1 ; enfin la courbe en escaliers est UTC

3 – Nouvelle proposition de la définition d'UTC : conséquences pour les cadrans solaires

Ces sauts de seconde, qu'il est difficile de prévoir longtemps à l'avance, ont été le point de départ, il y a quelques années, d'une proposition émanant d'organisations de télécommunications, d'astronomes américains de l'Observatoire Naval de Washington et du GPS américain, proposition soutenue en France par le Bureau des longitudes¹³. Selon ces

¹³ Il existe énormément d'articles sur ce sujet ; ceux qui suivent sont analytiques et se trouvent en pdf sur le Web. Voir en priorité R. A. Nelson *et al.*, « The leap second : its history and possible future », *Metrologia*, 2001, n° 38, p. 509-529. La communauté internationale des gnomonistes ne pèse pas lourd face au lobby du GPS et à ses supporters. Tous les astronomes, y compris en France, ne partagent pas la position du Bureau des longitudes. L'astronome et calculateur belge Jean Meeus a qualifié cette proposition de « désastre pour

détracteurs, les sauts de seconde posent des problèmes pour les systèmes électroniques et informatiques. De plus, l'argument des navigateurs n'est plus recevable aujourd'hui selon eux, la navigation commerciale (mer et air) utilisant les systèmes GPS, GLONASS (le "GPS" russe) voire d'autres systèmes de guidage comme le LORAN-C. En l'an 2000, l'*Union Internationale des Télécommunications* (ITU), en particulier la section Radio-Communication (ITU-R), a été saisie du problème et a nommé un rapporteur pour étudier la question.

En résumé, trois grandes options ont été proposées¹⁴ :

- *status quo*. Autrement dit, on ne change rien au système actuel
- on modifie la procédure d'ajout de seconde en introduisant des minutes ou des heures intercalaires
- on abandonne purement et simplement l'ajout de secondes intercalaires, ce qui signifie qu'on adopte de fait une échelle de temps parallèle à TAI et qu'on ne se préoccupe plus de la rotation de la Terre.

La question, finalement, est de savoir si on a besoin d'une échelle de temps internationale qui soit coordonnée avec la rotation de la Terre. C'est là que les avis divergent. L'ITU devra trancher cette question à son assemblée générale en janvier 2012.

Voyons les conséquences des deux dernières propositions. Aux yeux de certains astronomes (et gnomonistes !), la plus grave serait l'adoption pure et simple de l'échelle de temps parallèle à TAI sans aucun lien avec UT1. Car **pour la première fois dans l'histoire, on abandonnerait toute relation entre le temps astronomique et le temps civil lié au Soleil**. Que se passerait-il en effet si on supprimait des secondes intercalaires dès 2012 ? Le monde entier serait calé sur un temps parfaitement uniforme et très précis, d'origine artificielle, le (TAI + k) où k désigne un écart constant en secondes au moment de l'adoption. Plus précisément, on serait calé sur UTC de 2012, échelle indéfiniment parallèle à TAI. Notons que ce ne serait pas la première fois dans l'histoire du temps que l'homme modifie à sa convenance sa définition : il suffit de penser à l'introduction du temps moyen au XIX^e siècle, au calage du temps sur le méridien international de Greenwich, ou encore à l'introduction des heures d'été et d'hiver. Mais en adoptant froidement le UTC 2012 (ou celui d'une autre année), **on perd définitivement toute relation avec le Soleil**. En effet, si TAI est uniforme, UT1 ne l'est pas : ce qui veut dire qu'au fil des années, l'horloge Terre va dériver de plus en plus.

On sait que la durée du jour augmente de 1,6 ms/siècle (ralentissement séculaire). Ce qui correspond à un décalage (en secondes) de UT1 par rapport à TAI (au bout de t jours) de

l'astronomie classique » (Voir <http://www.mail-archive.com/leapsecs@rom.usno.navy.mil/msg00476.html>). Bien que deux pays sont opposés à la suppression des sauts de secondes dans UTC (la Grande-Bretagne et la Chine), il est probable que la proposition sera adoptée par l'ITU en 2012 et entrera en vigueur en 2017-2018. Une très bonne synthèse des avis pour et contre se trouve dans D. Finkleman, J. H. Seago, P. K. Seidelmann, « The Debate over UTC and Leap Seconds », *American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, août 2010, Toronto, Ontario, Canada.

¹⁴ Voir pour plus de détail D. D. MacCarthy, « Future of UTC : consequences in astronomy : report on the UTC working group and the latest developments », Capitaine, N. (ed.), *Proceedings of the Journées 2004 Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, Paris, 20-22 Septembre, 2004, Observatoire de Paris, 2005, p. 249-53.

($2,6 \cdot 10^{-13} \cdot t^2$), soit environ 2 minutes en 200 ans, auquel il faut rajouter les irrégularités de rotation¹⁵ (fig. 2).

Il se peut que l'ITU décide d'adopter des minutes intercalaires ou de laisser dériver l'écart jusqu'à ce qu'il atteigne 1 heure (ce qui nous mène loin dans le temps). En tout cas certains ont déjà trouvé un nom à cette nouvelle échelle de temps : le TI, Temps International.

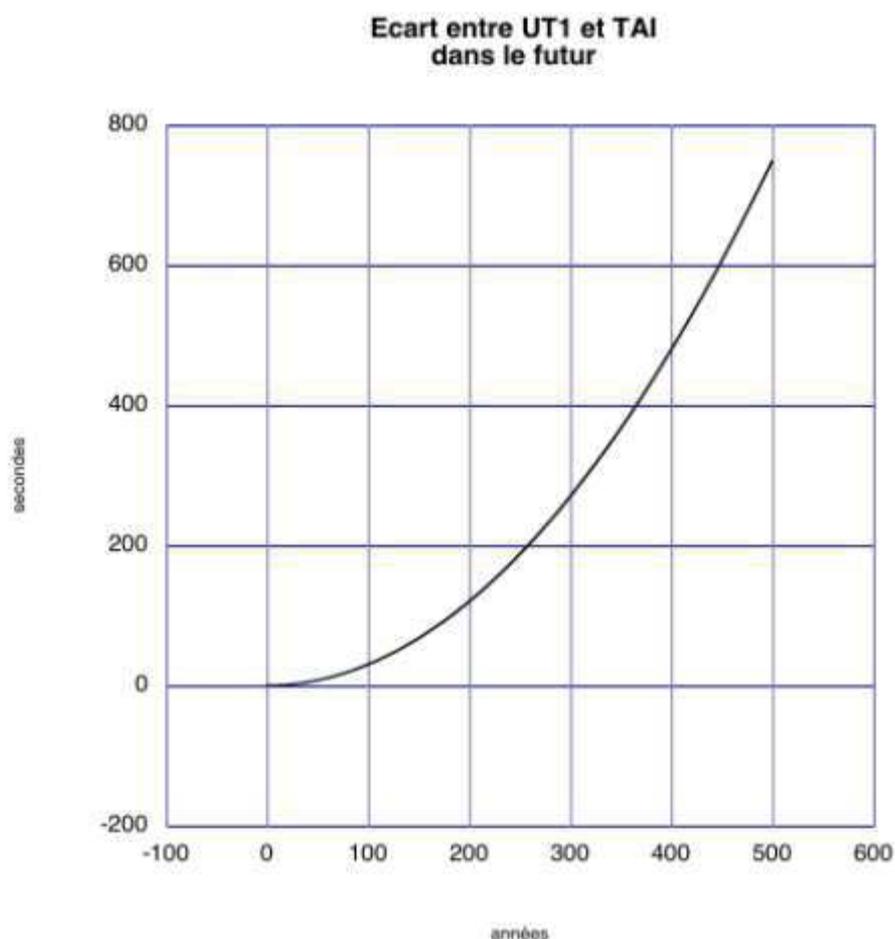


Fig. 2 : Ecart entre UT1 et TAI en prenant un ralentissement de la rotation de la Terre de 1,6 ms/siècle.

Lorsque l'on convertit l'heure lue à un cadran solaire en temps légal (diffusé par l'horloge parlante), on ajoute actuellement trois corrections (équation du temps, longitude du lieu, avance sur le Temps Universel). C'est comme ça en général que l'on juge si un cadran solaire est correct : une fois les corrections effectuées, on doit obtenir UTC + 1 h ou UTC + 2 h. Grâce à UTC, on garde le lien entre le temps solaire et la rotation de la Terre. Si au cours des prochaines années, on abandonne UTC et que l'on adopte une échelle de temps dérivée de

¹⁵ De 1972 à 2011, on a ajouté 23 secondes.

TAI, on devra **ajouter une quatrième correction** ΔE afin de pouvoir toujours comparer le temps solaire vrai au Soleil. Donc ΔE traduira l'écart entre UTC et UT1 et il est prévu que cet écart sera diffusé par l'IERS.

On aura lors :

Temps légal des montres = temps solaire vrai + équation du temps + longitude + (1 h ou 2 h) + ΔE .

La quantité ΔE précise, qui ne cessera de croître, ne pourra pas être connue des années à l'avance ; disons que 2 ou 3 ans sera un délais raisonnable.

En ce qui concerne les courbes en huit de midi moyen, on ne pourra plus observer la coïncidence parfaite entre l'instant où l'ombre (ou la tache solaire) coupe le huit et le « top » de l'horloge parlante : **il y aura un décalage qui va s'accroître au fil du temps.**

Soyons cependant réalistes : sauf dans quelques cadrans solaires particuliers, on attend de ces instruments une précision de l'ordre de la minute de temps. Il y a une certaine marge avant que ΔE n'atteigne cet ordre de grandeur (environ 140 ans si l'on ne prend en compte que le ralentissement séculaire).

Quant aux astronomes, ils utilisent dans leurs théories planétaires une autre échelle de temps, appelée TT (Temps Terrestre), telle que $TT = TAI + 32,184$ secondes¹⁶. Lorsque l'on calcule par exemple à quel instant tombe le solstice d'été (ou l'heure du coucher du Soleil), on utilise une théorie du mouvement de la Terre dont la variable est le Temps Terrestre (temps uniforme et parallèle à TAI). Le résultat obtenu est donc exprimé en TT. Mais comme nos horloges sont calées sur le UT (en fait sur UTC mais la différence on l'a vue est inférieure à la seconde), il faut exprimer le résultat dans cette échelle de temps. La différence $TT - UT$ est notée ΔT : on doit la soustraire du résultat pour l'exprimer en UT. Exemple : le solstice d'hiver en 2011 a eu lieu à 5 h 31 m TT, soit 5 h 30 m UT ($\Delta T = 67$ secondes en 2011). Dans les futurs calculs astronomiques (par exemple ceux concernant l'équation du temps, la position du Soleil, une éclipse, une occultation, etc), on devra intégrer ΔE à ΔT (fig. 3).

Il est clair que les conséquences de cet abandon des secondes intercalaires aura des répercussions scientifiques et sociales dont on n'a pas encore perçu les conséquences. Et cela prouve que la gestion du temps au niveau mondial peut être dominée par un lobby puissant.

¹⁶Ces 32,184 secondes sont dues au manque de coordination entre physiciens et astronomes lors de la mise en place de TAI. Ce décalage n'a aucune justification scientifique.

Le terme ΔT est en fait la somme de deux termes dont un est constant. Par exemple on a en 2011 : $TAI - UT = 34$ secondes. On a $TT = TAI + 32,184$. D'où $TT - UT = (TAI + 32,184) - (TAI - 34) = 66,184 \approx 67$ secondes.

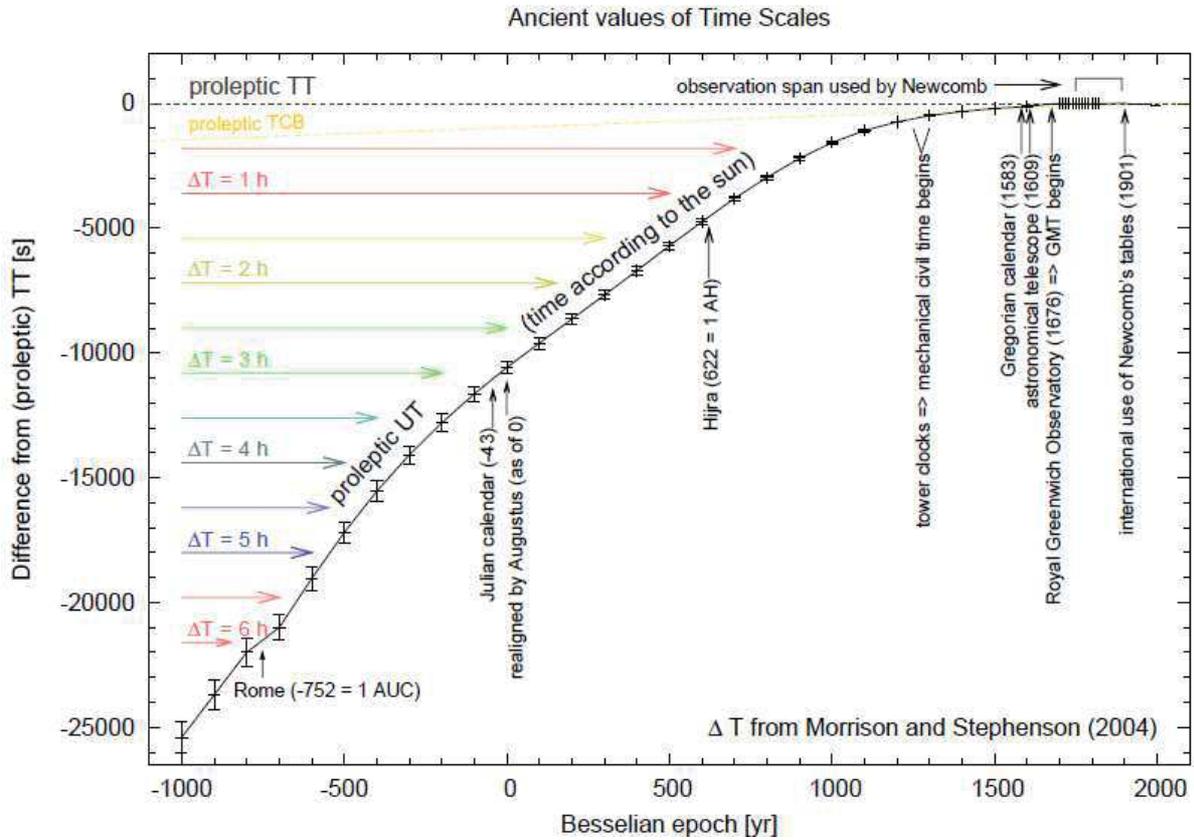


Fig 3 : Valeurs du ΔT dans les temps anciens. Lorsque l'on calcule une éclipse ou la position du Soleil dans le passé, on est obligé de tenir compte du ralentissement de la rotation de la Terre sans quoi on aboutit à des résultats qui peuvent être très erronés.

Denis Savoie
 Chef du Département Astronomie-Astrophysique
 Palais de la découverte

Juillet 2011



° Les images du titre sont tirées du site « Fotosearch »:
<http://www.fotosearch.fr/CSP494/k4943997/>
 et
<http://www.fotosearch.fr/CSP115/k1156506/>

° Les photos sont de Serge Grégori



Cadran en forme de "Rosace"

Par Sébastien Bérriot

Présentation de l'étude permettant de réaliser un cadran polaire en forme de « rosace ». L'auteur remercie Gérard Baillet qui a réalisé toutes les images de synthèse à l'aide du logiciel POVRAY.

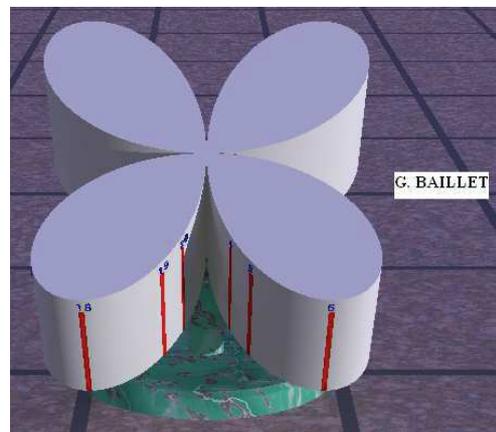
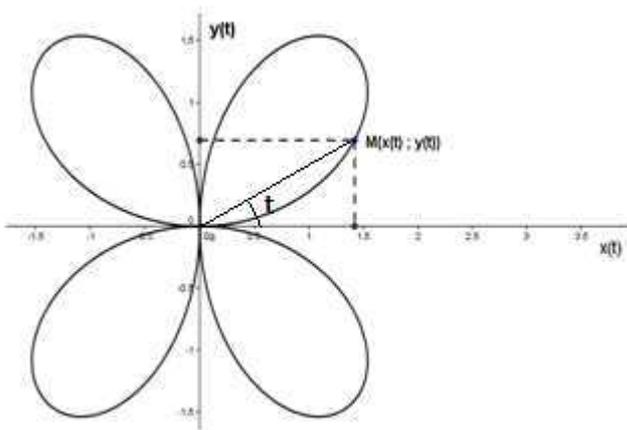
I) Pourquoi ce cadran est appelé « cadran rosace » ?

Si on considère les deux équations suivantes :

$$\begin{cases} X(t) = a \sin(2t) \cos(t) & \text{ou } a \text{ est une constante et } t \text{ un paramètre variant entre } 0 \text{ et } 2\pi \\ Y(t) = a \sin(2t) \sin(t) & t \text{ est l'angle entre l'axe } Ox \text{ et } OM \end{cases}$$

On considère le point M de coordonnées $x(t)$ et $y(t)$

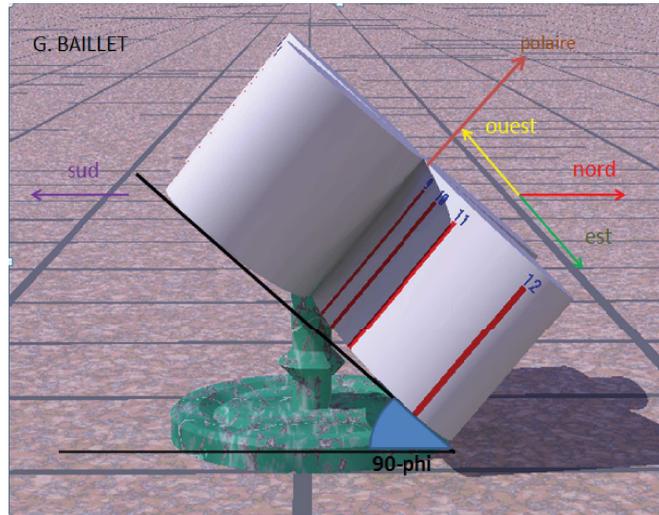
Si on choisit par exemple $a=2$ et on fait varier l'angle t entre 0 et 2π , le point M décrit une courbe, comme l'indique le graphique ci-dessous. L'angle t est en radian.



En mathématiques, la courbe obtenue est appelée « **une rosace** ». Sachant que le plan du cadran a cette forme, j'ai alors appelé ce cadran le cadran rosace.

II) Comment est positionné le cadran ?

La table du cadran est orientée comme l'indique l'image ci-dessous. Elle est inclinée d'un angle de $90-\psi$ avec l'horizontal.

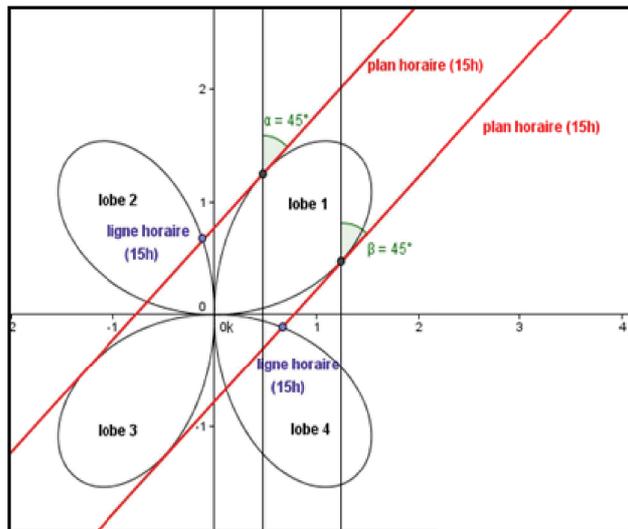


III) Quel est le principe de ce cadran solaire ?

Lorsque le cadran est éclairé, l'ombre d'un lobe se projette sur un ou deux autres lobes. L'heure se lit lorsque l'ombre recouvre une ligne horaire.

L'intersection entre le plan horaire et un lobe est une droite, donc les lignes horaires sont des segments de droite parallèles entre eux et parallèles à l'axe polaire

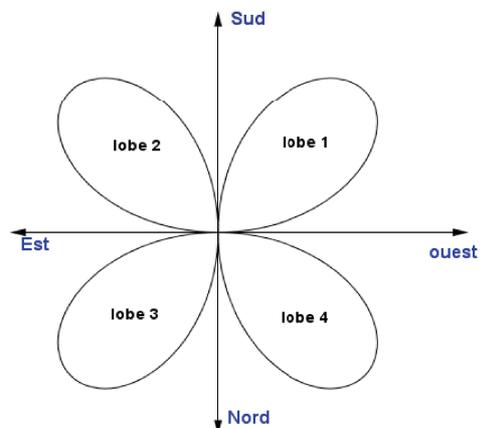
Ce cadran est par conséquent ni plus ni moins un cadran polaire

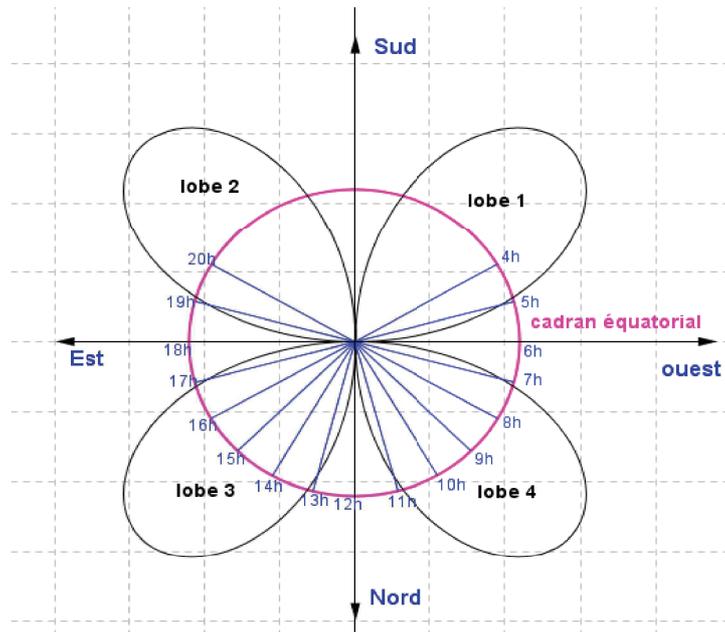


On peut décomposer la rosace en quatre lobes « lobe1 », « lobe2 », « lobe3 » et « lobe4 » comme l'indique la figure ci-contre.

D'autre part, puisque la table est inclinée d'un angle de $90-\psi$ avec l'horizontale comme un cadran équatorial, on peut imaginer un cadran équatorial fictif au centre de la rosace avec ses lignes horaires.

Ce dessin va nous aider à comprendre les différents exemples ci-dessous :



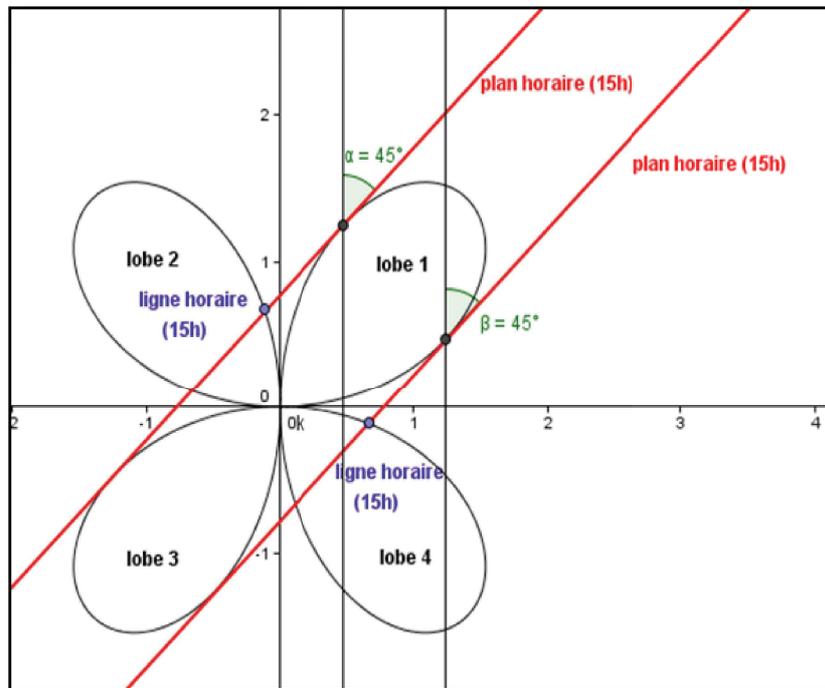


- Le soleil se lève du côté est pour se coucher vers le côté ouest.
- Les rayons émis par le soleil sont parallèles entre eux.

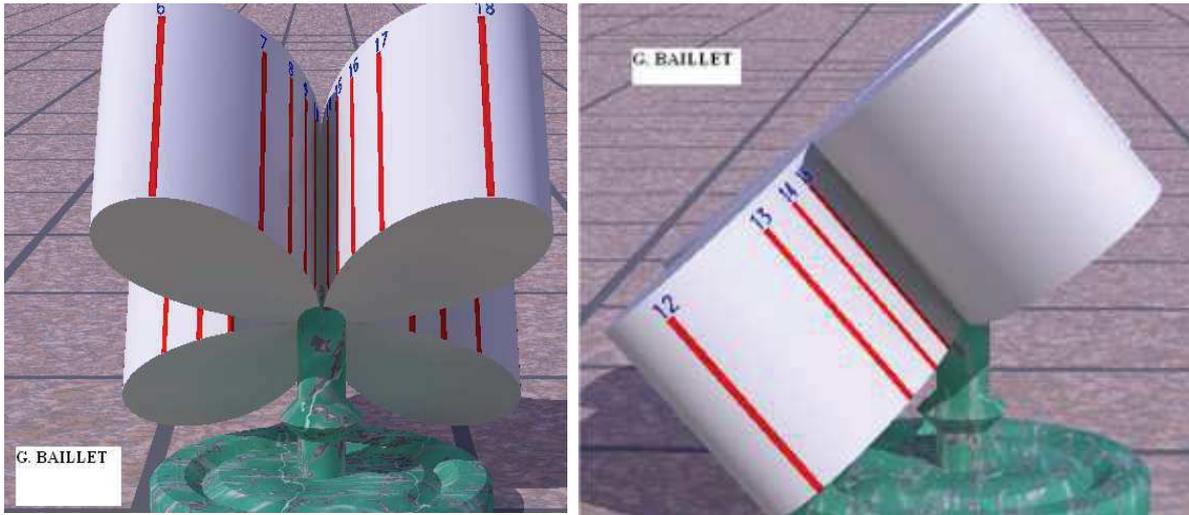
Exemples :

Lignes horaires de 15h

Lorsqu'il est par exemple 15h solaire vrai, les rayons du soleil sont parallèles à la ligne horaire de 15h et ils font donc un angle de 45° avec la ligne verticale comme l'indique le schéma ci-contre.



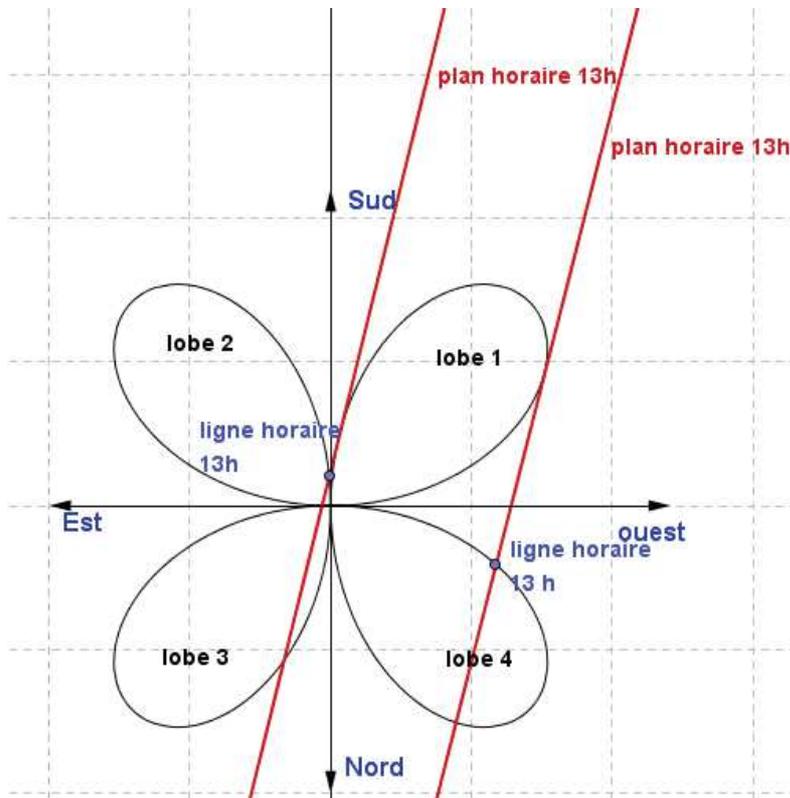
Sur ce schéma, les rayons lumineux, sont les traits rouges. On peut observer que l'ombre du lobe 1 se projette sur le lobe 2 et sur le lobe 3. Par conséquent, on pourra lire l'heure à deux endroits différents. Voir les deux images ci-dessous.



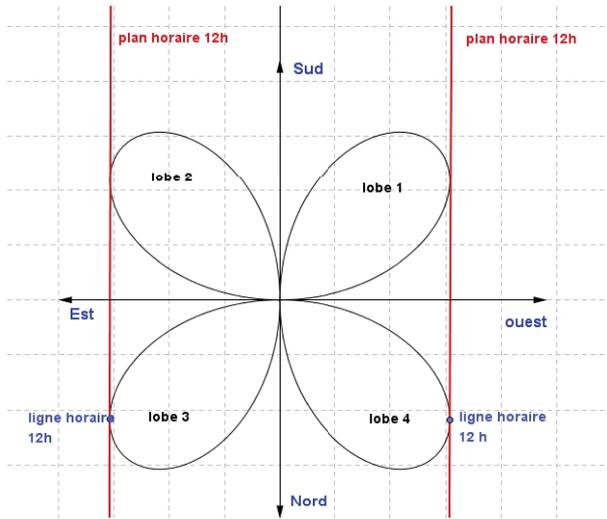
Ligne horaire de 13h

C'est exactement le même principe que pour la ligne horaire de 15h. Cependant on peut observer que l'ombre du lobe 1 sur le lobe 2 est très proche du centre du cadran et par conséquent la lecture de l'heure devient difficile. Donc la ligne horaire de 13h sur le lobe 2 ne sera pas indiquée sur le cadran et seule la ligne horaire sur le lobe 4 sera marquée.

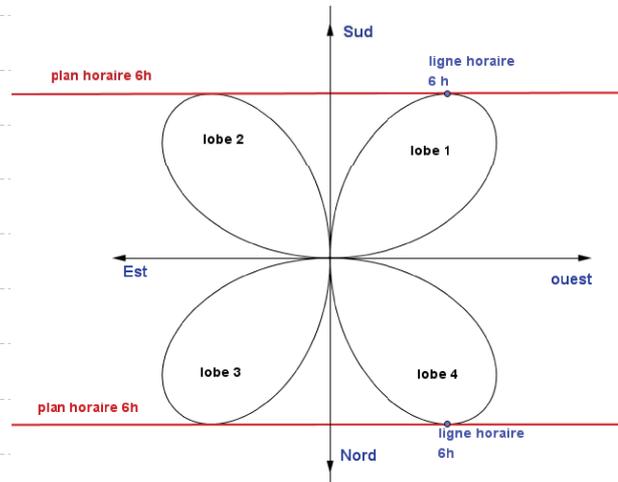
C'est pour cette raison que certaines lignes horaires ne seront marquées qu'une seule fois.



Ligne horaire de 12h



Ligne horaire de 6h



IV) Comment déterminer la position des lignes horaires ?

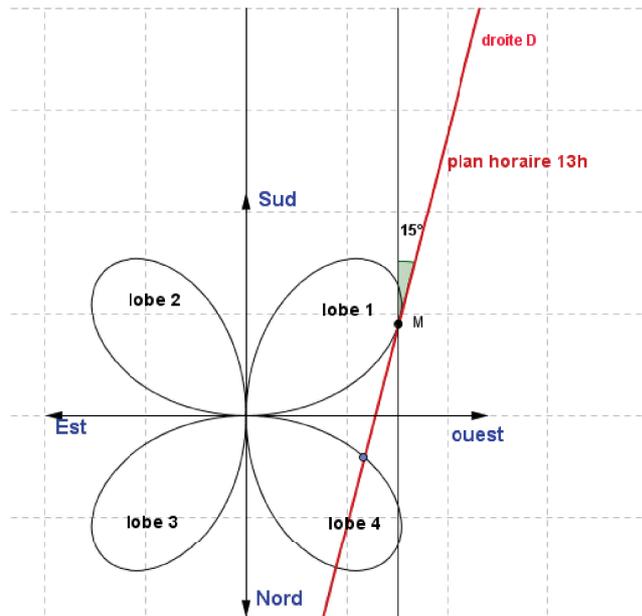
Je propose ici 3 méthodes.

Méthode 1 : utilisation du calcul mathématique.

Je donne seulement la méthodologie. Le développement serait trop long

Etape 1

J'ai tout d'abord déterminé pour chaque ligne horaire les coordonnées du point où la ligne horaire (droite D) est tangente à la courbe. Sur le schéma, c'est le point M.



Pour cela j'ai résolu l'équation $\frac{dy}{dx} = m$. Avec m la pente de la droite (D).

L'équation ne se simplifiant pas, je l'ai résolu graphiquement et je n'ai gardé uniquement les solutions qui m'intéressaient. J'ai ainsi déterminé les valeurs du paramètre t qui répondaient au problème. Connaissant t on pouvait déterminer x(t) et y(t) et placer le point M sur la courbe.

Etape 2

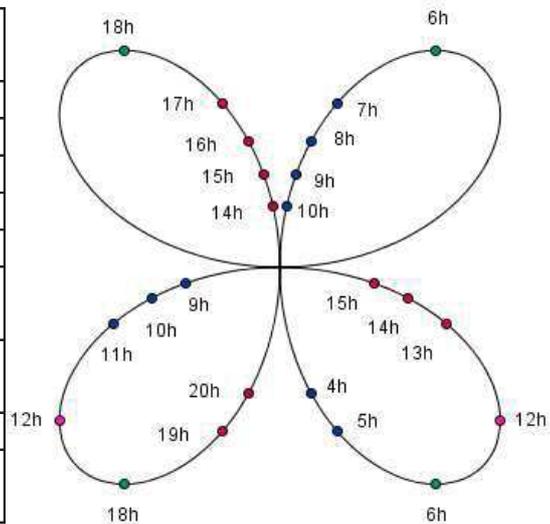
Connaissant les coordonnées du point M et la pente de la droite (D), il était facile d'en déterminer une équation cartésienne de la forme $ax(t) + by(t) + c=0$ ou a,b,c sont des coefficients.

Etape 3

Pour déterminer les coordonnées des points d'intersection de la droite D avec la courbe, j'ai remplacé les expressions de $x(t)$ et de $y(t)$ dans l'équation $ax(t) + by(t) + c=0$ et j'ai obtenue une jolie ! équation d'inconnue t . Cette équation ne se simplifiant pas, je l'ai résolu graphiquement et j'ai gardé uniquement les solutions qui répondaient au problème. On obtient ainsi les valeurs du paramètre t qui permettent de calculer $x(t)$ et $y(t)$ et positionner les lignes horaires.

Voici les valeurs du paramètre t pour les lignes horaires du matin de 6h jusqu'à 12h. La position des lignes horaires de l'après midi s'obtient par symétrie des lignes horaires du matin par rapport à l'axe des ordonnées.

Ligne horaire	Valeur(s) de t . t est un angle en radian
4h	1,80941268 (lobe4)
5h	1,90189801 (lobe4)
6h	0,95531661 (lobe 1)
7h	1,23969463 (lobe1)
8h	1,33217996 (lobe 1)
9h	1,40087806 (lobe1) et -2,971674198 (lobe3)
10h	1,46052814 (lobe1) et -2,902976292 (lobe3)
11h	-2,81049096 (lobe3)
12h	-2,526112954 (lobe3) et 2,526112954 (lobe4)



Méthode 2 : méthode géométrique.

La méthode que l'on a vue précédemment est une méthode lourde au niveau des calculs. On va voir une méthode par construction géométrique très simple et qui donne un résultat précis.

Cette méthode ne nécessite aucun calcul car on utilise uniquement une règle et une équerre.

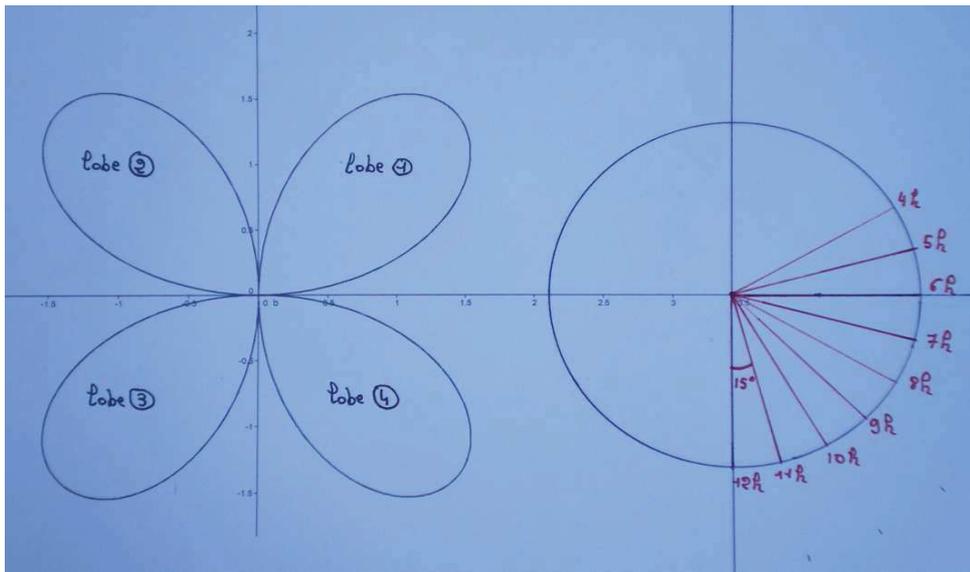
« Le but est de tracer une droite parallèle à une droite passant par un point »

Voici les différentes étapes :

Effectuer un tracé de la rosace à l'échelle voulue en utilisant de préférence un logiciel afin de respecter minutieusement la courbure de la rosace.

Fixer la feuille sur une table à l'aide de morceaux de scotch.

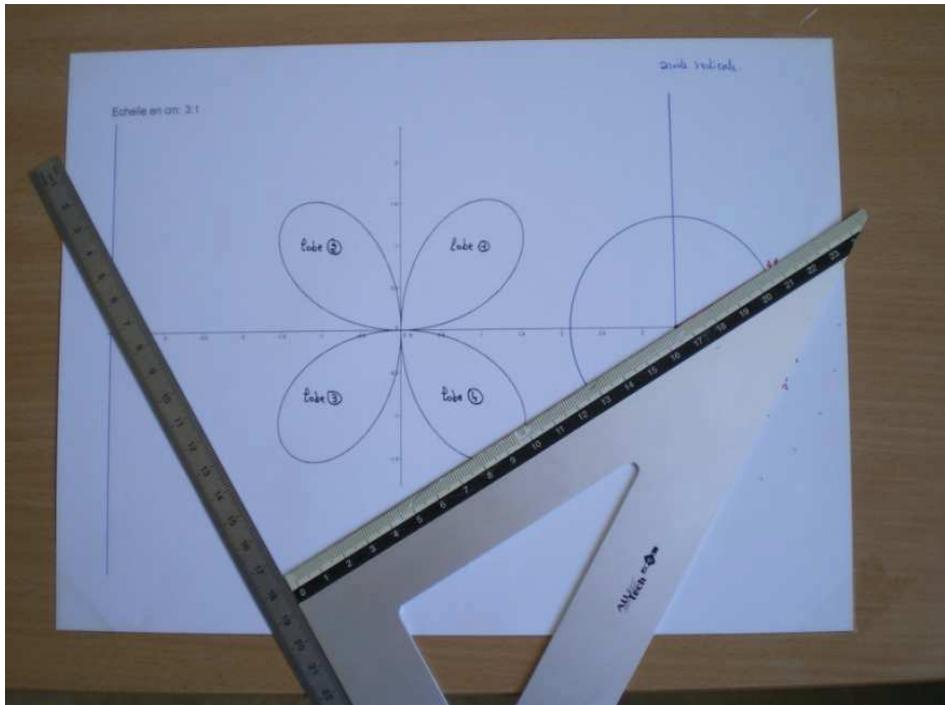
Dessiner sur la droite un cadran équatorial avec uniquement les heures du matin.



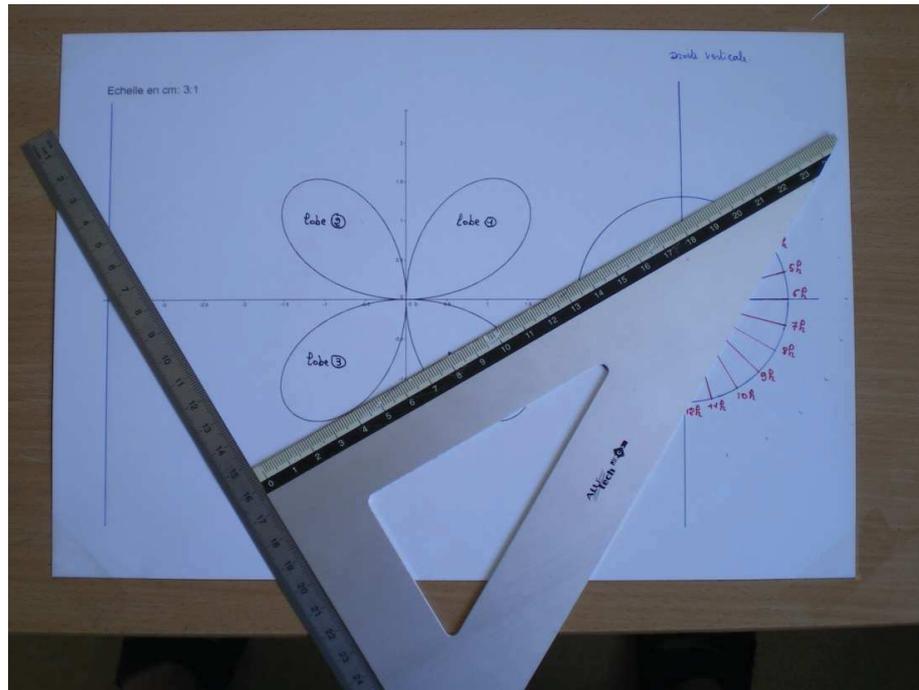
Exemple1 : tracé de la ligne horaire de 4h.

Positionner l'équerre et la règle comme l'indique le schéma ci-dessous

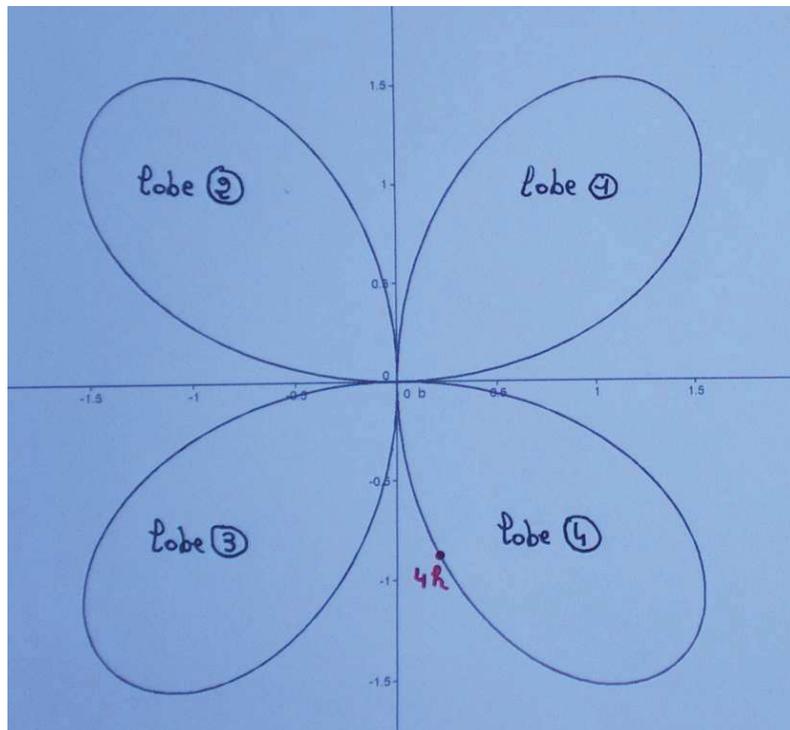
L'un des bords de l'équerre est parallèle à la ligne horaire de 4h et l'autre bord est collé contre la règle.



Maintenir la règle fixe et faire glisser l'équerre sur la règle de façon à ce que le bord de l'équerre soit **tangent** au lobe 3 comme l'indique la figure de la page suivante.

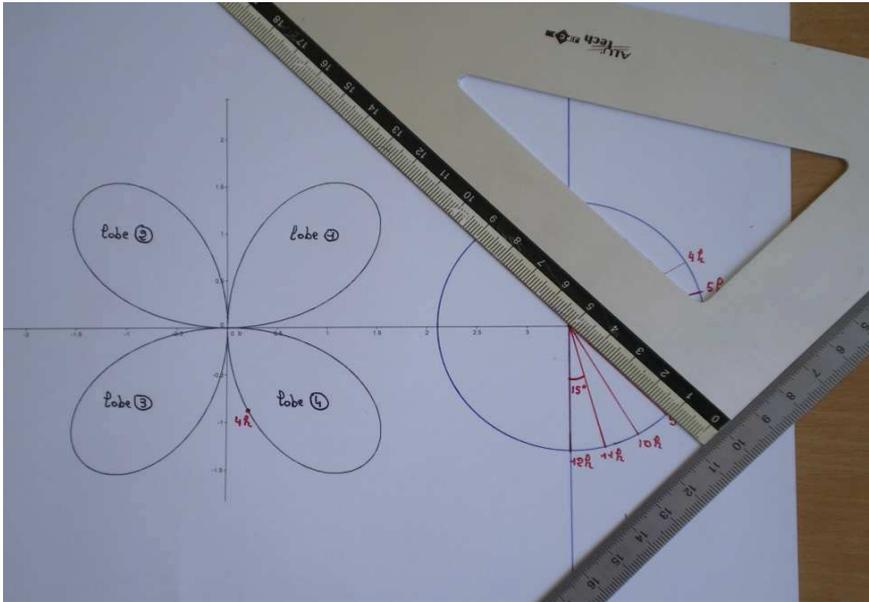


Repérer sur le lobe 4 la position de la ligne horaire



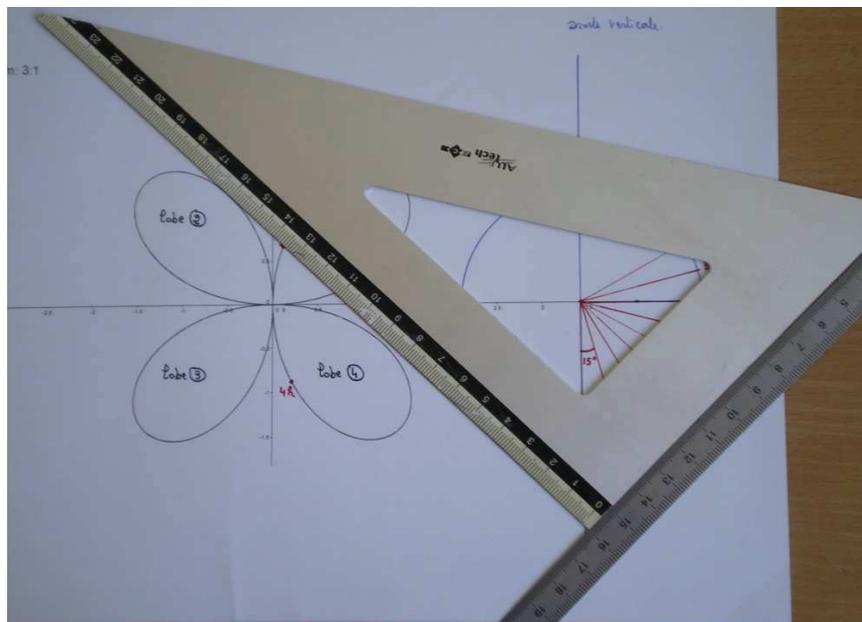
Exemple 2 : tracé des lignes horaires de 9h

On positionne la règle et l'équerre comme l'indique le schéma.

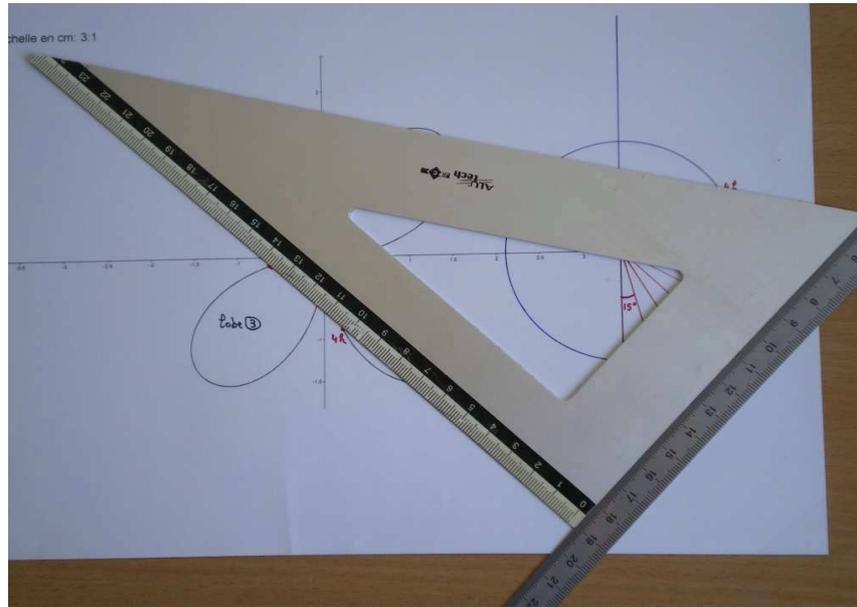


On fait glisser l'équerre de façon que le bord de l'équerre soit tangent au lobe 2.

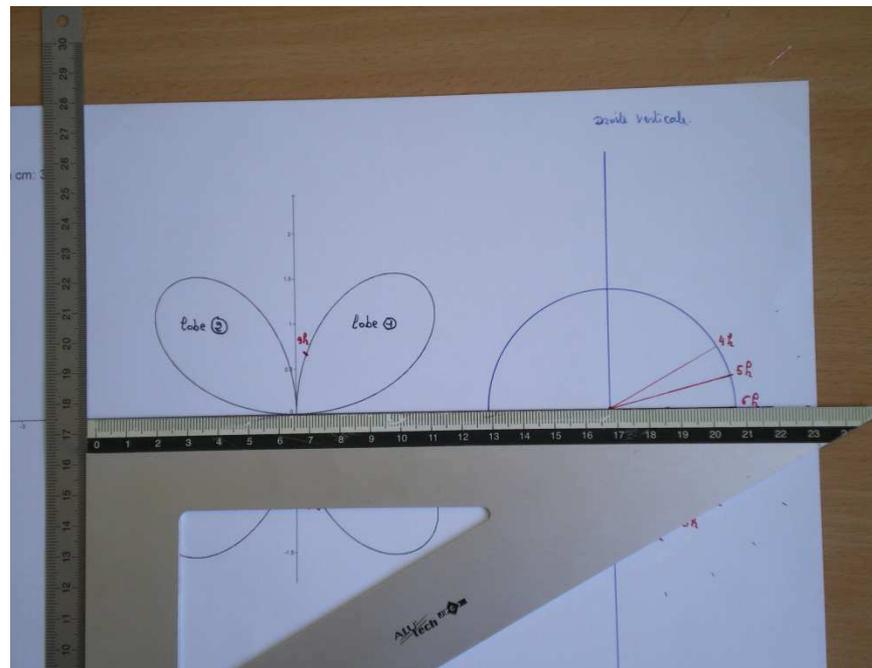
On repère l'une des lignes horaires sur le lobe 1.



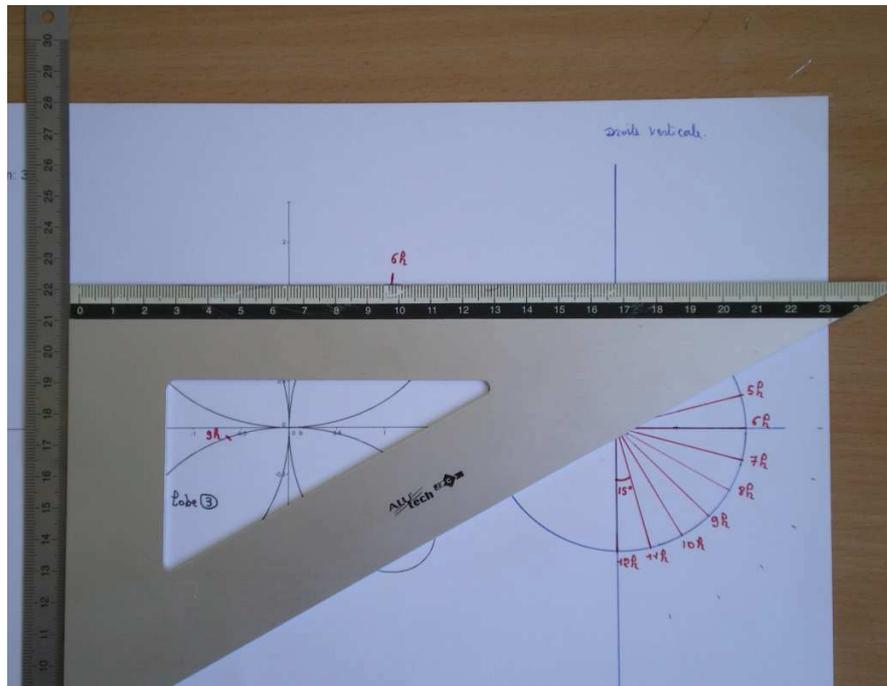
On continue de faire glisser l'équerre de façon à obtenir l'autre ligne de 9h. Le bord de l'équerre est toujours tangent au lobe 2. La deuxième ligne de 9h est sur le lobe 3.



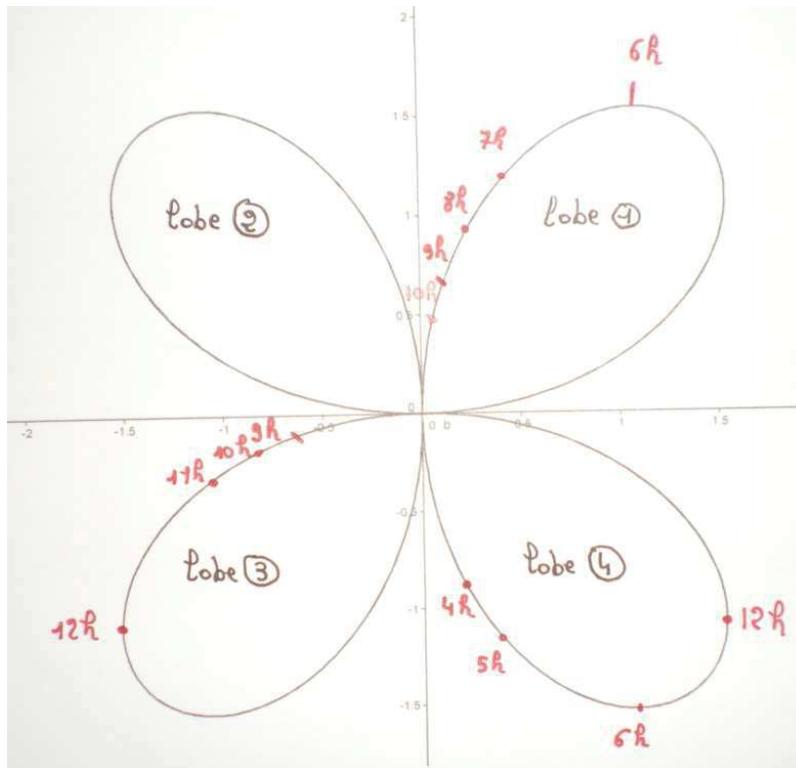
Exemple 3 : ligne horaire de 6h



Le bord de l'équerre est parallèle à la ligne horaire de 6h. On fait glisser l'équerre comme l'indique la figure ci-dessous pour obtenir la position de la 1^{ère} ligne horaire de 6h.



On obtient finalement pour les heures du matin.



La position des heures de l'après midi s'obtient par symétrie par rapport à l'axe vertical.

Méthode 3 : tracer des lignes horaires après construction de la rosace.

Pour cette méthode, il faut dans un premier temps avoir réalisé la rosace.

Positionner la rosace sur son socle de façon à ce qu'elle soit inclinée d'un angle de $90-\psi$ avec l'horizontale.

Maintenant comment tracer les lignes horaires ?

Pour chaque ligne horaire et pour un jour donné, en été de préférence pour obtenir toutes les lignes horaires, calculer l'heure de la montre en corrigeant l'heure solaire de l'équation du temps et de la longitude du lieu.

Dans la journée, lorsque la montre indique l'heure calculée, repérer sur la rosace la ou les lignes horaires.

Répéter cette opération sur plusieurs périodes de l'année de façon à obtenir un résultat précis.

Cette méthode m'a été suggérée par **Pierre Berriot**.

V) Réalisation du cadran

Pour ce cadran, le plus difficile est sa réalisation car il faut bien respecter la courbure de la rosace.

Je propose ici quelques idées qui ont encore besoin de mûrir avant toute réalisation.

Idée 1

- Réaliser un moule de la rosace en métal.
- Couler à l'intérieur un ciment blanc qui devient très dur.

Idée 2

Réalisation d'une maquette.

- Tracer sur plusieurs planches en bois un dessin de la rosace.
- Découper les rosaces à l'aide d'une scie à chantourner ou une machine à commande numérique préalablement programmée.
- Empiler les rosaces de façon à obtenir le bloc voulu.

Remarque importante :

Le bloc doit être suffisamment épais pour que l'ombre se projette aux deux solstices.

VI) Conclusion

Je pense que ce cadran polaire est un cadran original en raison de son aspect. Sachant que les lobes forment des pétales de fleurs, si on réalise un tel cadran et si on lui donne un aspect de fleur en réalisant par exemple un socle ayant la forme d'une tige de fleur ce cadran aurait toute sa place dans un jardin public.

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

Un diaporama donnant les images de synthèse pour chaque heure solaire vraie le jour du solstice d'été.

VII) Voici quelques exemples de devises possibles

« La douceur du jardin nous appartient » (en relation avec le jardin et sa tranquillité)

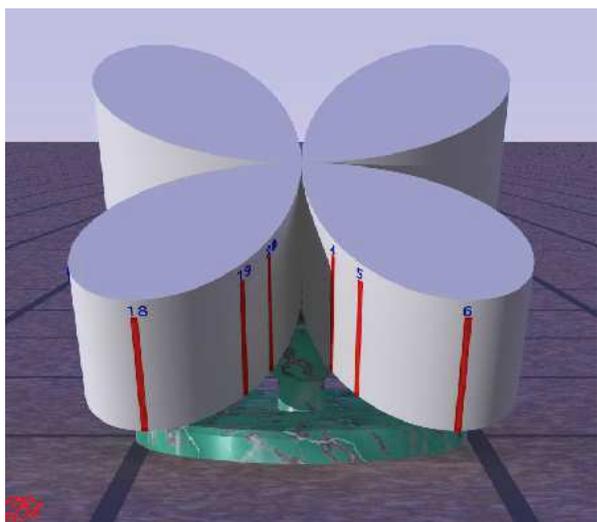
« Promeneur, trouves l'heure et je te porterai bonheur » (car la rosace à la forme d'un trèfle à 4 feuilles)

« Promeneur, prends ton temps et profites »

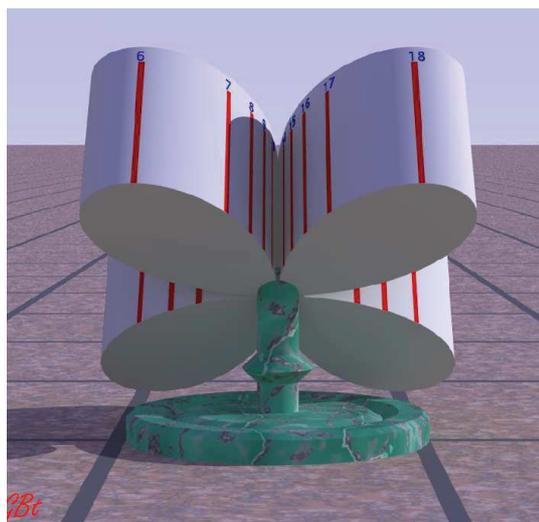
D'autres devises sont possibles.

VIII) Images du cadran solaire

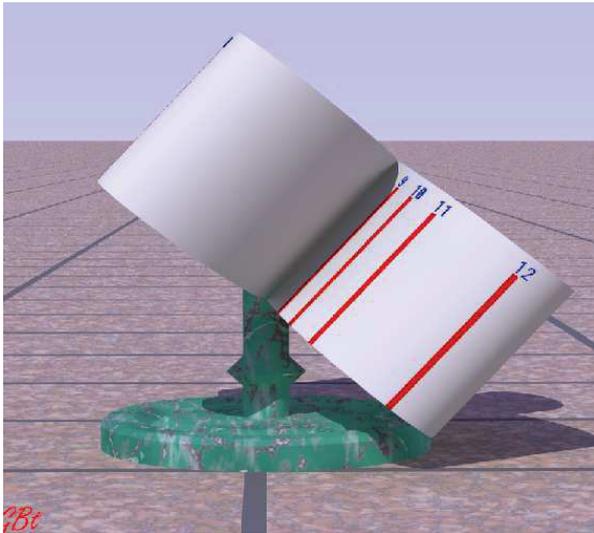
Ci-dessous et page suivante vous découvrirez le cadran présenté en « images Povray » de G. Baillet présentant les faces suivant les points cardinaux.



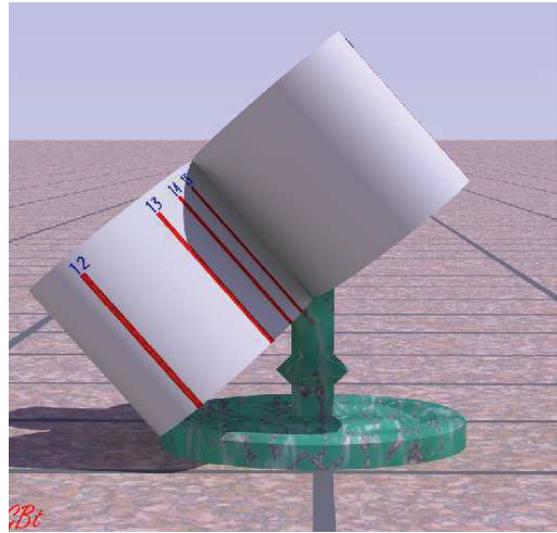
Nord



Sud



Est



Ouest



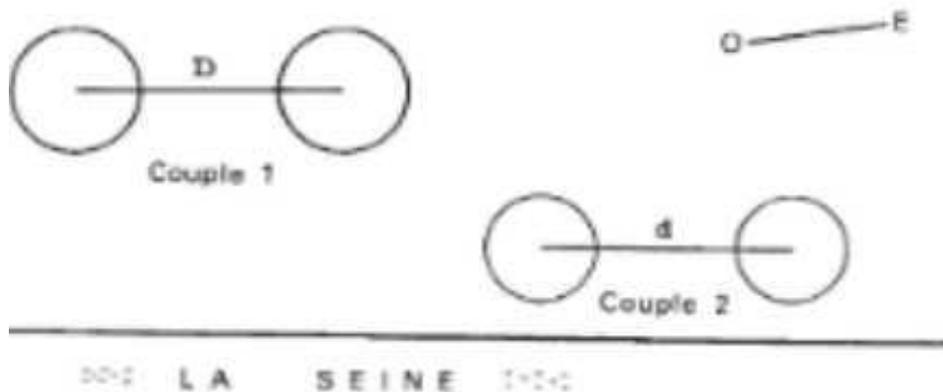
Jeu de l'été... 1983

La question ci-dessous a été posée aux membres de SAF en...1983. Sauriez-vous répondre?

<<La centrale électrique que EDF a installée à PORCHEVILLE (Yvelines) sur la rive droite de la seine attire l'attention des usagers de l'autoroute Paris-Normandie par ses 4 cheminées regroupées par paires. 2 plus petites près du fleuve, 2 plus élevées un peu plus éloignées, mais chaque groupe selon un axe approximativement parallèle à la rive.

Quel(s) jour(s) de l'année et à quelle heure l'ombre portée d'une cheminée couvre-t-elle le corps de sa sœur jumelle et quelle est la limite supérieure de cette ombre dans les différents cas de figure d'occultation trouvées? >>

Hauteur des cheminées couple 1 = 125 m; couple 2 = 220m Distance D = 130 m; Distance d = 59m



NB: La réponse devait tenir sur une feuille, comporter le numéro de sociétaire et être postée avant le 30 septembre 1983 (cachet de la poste).



Cadran analemmatique circulaire inverse

Par Jean-Paul Cornec et Odile Guérin

Au mois de juillet 2011 a été inauguré sur la promenade de la plage de Tresmeur à Trébeurden (Côtes-d'Armor) un ensemble basé sur une rose des vents : le Géosolmar. Il entend à l'origine mettre en valeur la richesse géologique de Trébeurden, puisqu'il est composé de 24 sortes différentes de pierres, toutes présentes sur la commune. Plusieurs autres aspects sont mis en valeur et matérialisés sur la surface de la rose : géographie, géodésie, géomagnétisme, astronomie et les marées.



L'entourage de la rose des vents est formé de 24 pierres qui constituent un cadran solaire grâce auquel les passants peuvent indiquer l'heure avec leur ombre. Il diffère d'un analemmatique classique en ce sens qu'il fonctionne à l'inverse et que son tracé, habituellement elliptique, a été approximé par une couronne circulaire.

Nous allons d'abord décrire ce cadran solaire, puis nous présenterons l'ensemble qui constitue le Géosolmar voir Figure 1 ci-contre..

Un cadran inverse

L'usage du cadran analemmatique classique "à style humain" est bien connu. La personne repère la date du jour sur l'échelle centrale des dates, s'y place, tourne le dos au Soleil et le point où le centre de son ombre coupe la couronne elliptique lui indique l'heure solaire. Le plus souvent cette couronne elliptique est limitée aux heures des lever et coucher du Soleil au solstice d'été pour la latitude du lieu où le cadran est implanté. Elle est ouverte en direction du sud.

Histoire de compléter l'ellipse, il arrive que certains cadrans soient conçus avec la totalité des 24 heures de la journée. C'est le cas par exemple du célèbre cadran de Brou ou du cadran récemment restauré de Besançon. Cette graduation complète fait ressortir la symétrie de l'ellipse par rapport au centre du cadran en ce qui concerne les heures si celles ci sont marquées en 2 fois douze heures. Des heures distantes de 12 heures se correspondent de part et d'autre du centre. Si on retire les indications de dates sur les graduations de l'échelle centrale celle ci participe aussi à la symétrie par rapport au centre, à condition de l'avoir graduée avec des valeurs de la déclinaison mensuelle symétriques par rapport aux équinoxes.

Mais un tel cadran dans son dessin général peut fonctionner à l'inverse. Supposons une personne debout sur l'échelle des dates (figure 2 a), son ombre intercepte l'ellipse à une

certaine heure. Demandons- lui de se déplacer sur l'échelle à la position symétrique par rapport au centre. Par exemple si elle est sur la marque "Mai-Juillet" elle va se placer sur la marque "Janvier-Novembre" (figure 2 b). Son ombre garde la même direction. Ensuite elle va se déplacer à reculons dans la direction de son ombre; il suffit pour cela de veiller à maintenir cette ombre sur la marque d'où elle part (figure 2 c). Une fois arrivée sur la couronne elliptique, elle s'arrête. Elle est à la position symétrique de l'endroit où son ombre coupait initialement l'ellipse. Ses pieds indiquent alors une heure identique (à 12 h près) à celle que son ombre indiquait à sa position initiale : si son ombre indiquait 10h 30, ses pieds indiquent aussi 10h30 (figure 2 d).

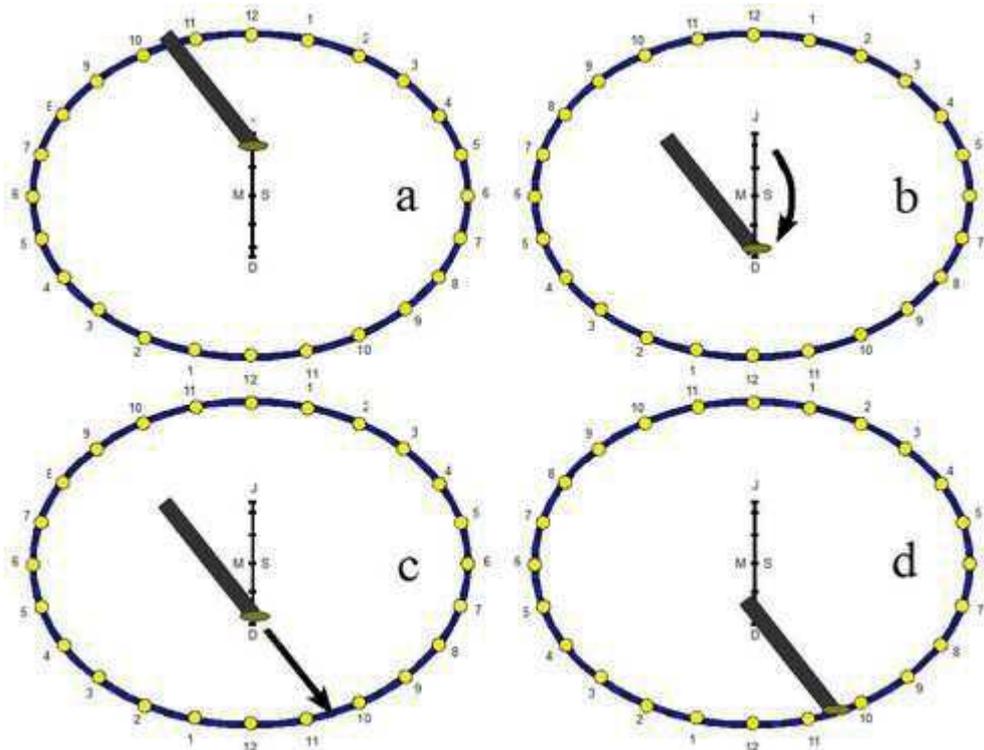


Figure 2

Pour compléter il suffit alors d'inverser les graduations de l'échelle centrale : le solstice de juin vient à l'extrémité sud et le solstice de décembre à l'extrémité nord.

On passe à un usage plus dynamique du cadran. Les instructions deviennent : "Repérez le point de la date du jour sur l'échelle des dates , déplacez vous sur la couronne elliptique; quand votre ombre passe par la date du jour, vos pieds indiquent l'heure". Le "style humain" accompagne le Soleil dans son déplacement quotidien : il se trouve à l'Est quand le Soleil y est, il est au sud quand le Soleil est au méridien. Naturellement on peut aussi utiliser une tige verticale qu'on déplacera sur la couronne; l'indication sera plus précise.

Aspect théorique

La figure 3 présente la construction du cadran analemmatique classique elliptique et horizontal (A) par la projection verticale d'un cadran équatorial (E) circulaire¹. Soit D le point efficace du style qui vient porter ombre tout au long de la journée sur la couronne périphérique de l'équatorial. On suppose comme d'habitude que la déclinaison du Soleil ne change pas durant la journée. A un instant donné son ombre est le point horaire M. Le style

¹ R. SAGOT : Le cadran analemmatique. Cadran-Info N°22, Octobre 2010, pp77-89.

mobile du cadran analemmatique est la droite DD' suivie par D lors de la projection. Le point M vient se projeter en M' : c'est le point horaire de l'analemmatique correspondant à M.

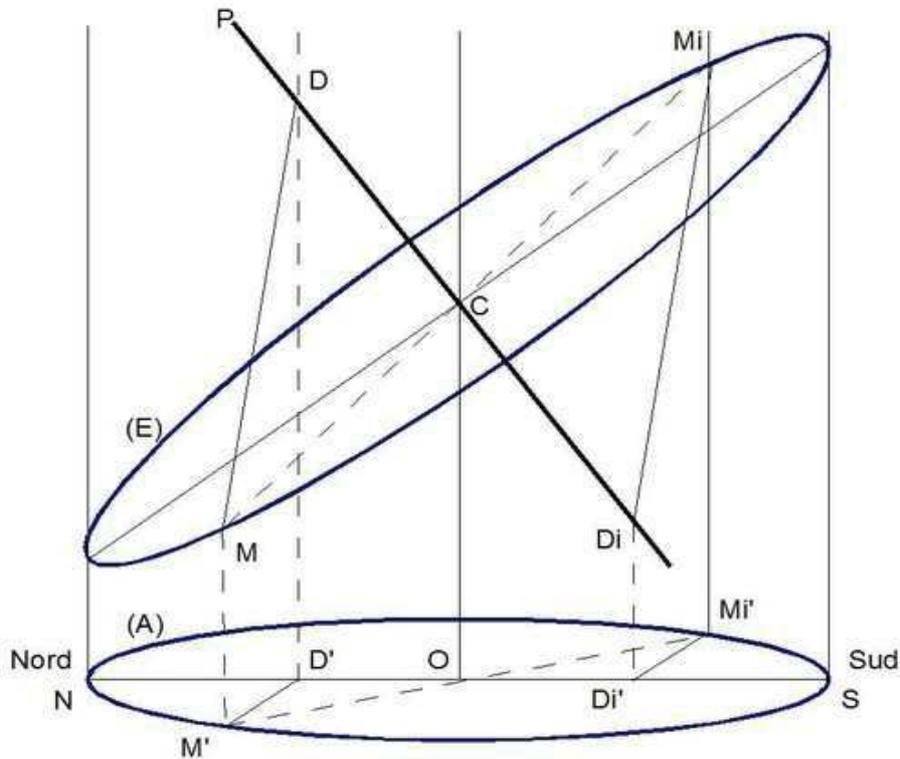


Figure 3

L'ellipse générale de l'analemmatique, présente une symétrie par rapport à son centre O, tout comme l'équatorial par rapport à C. Soit Mi le point symétrique de M sur l'équatorial. Au cours de la journée ce point parcourt la couronne de l'équatorial de sorte que C Mi reste pointé vers le Soleil. Son ombre atteint le style au point Di symétrique de D par rapport à C. De même elle y restera tout au long d'une journée. Sa projection verticale Mi' va parcourir la portion sud de l'ellipse de l'analemmatique en symétrie du point M'. Elle aussi reste pointée vers le Soleil dans une direction qui passe toute la journée par le point Di', projection de Di. Si on utilise la droite de projection Mi-Mi' comme style, l'ombre de ce style passera par Di'. Le comportement de Mi' est bien symétrique de celui de M', sauf que M' reçoit une ombre, tandis que Mi' est source d'une ombre. L'ensemble des positions du point Di' au fil des saisons définit une échelle des dates inverse de l'échelle du cadran classique : l'extrémité correspondant au solstice de juin est du côté sud.

Ce cadran inverse se représente alors par une portion d'ellipse, limitée aux heures des lever et coucher du Soleil au solstice d'été, ouverte vers le nord. Elle inclut une échelle centrale graduée, par exemple, de mois en mois d'un solstice à l'autre. Le style vertical est placé et maintenu sur la couronne elliptique; pour marquer l'heure, un jour donné, il est déplacé jusqu'à ce que son ombre passe par le point correspondant de l'échelle centrale des dates.

A ce stade on peut se demander si un tel cadran est encore "analemmatique" au sens des définitions données dans la note 1 ou 2. Oui de façon limite, s'il s'agit de la première définition :

2 D. SAVOIE : La Gnomonique. Ed. Les Belles-Lettres, 2001.

« Cadran à style mobile dont l'ombre marque l'heure par son intersection avec une ellipse ». dans la mesure où l'ombre du style coupe l'ellipse au pied du style. Par contre il ne satisfait pas du tout la définition plus générale :

« Cadran plan dans lequel l'heure se lit à l'intersection d'une ellipse et de l'ombre d'un style rectiligne qui, en fonction de la déclinaison du Soleil, est déplacé parallèlement à lui-même sur un diamètre de l'ellipse sans cesser de s'appuyer sur l'axe du monde ».

puisqu'ici le style se déplace sur l'ellipse et ne s'appuie pas sur l'axe du monde.

Avec un cadran analemmatique classique il est d'usage d'établir une hauteur minimale du style mobile afin que l'extrémité de son ombre tombe exactement sur la couronne elliptique au point N quand la longueur de cette ombre est minimale, c'est-à-dire le jour du solstice d'été à midi. On peut aussi calculer une hauteur optimale du style pour le solstice d'hiver et les équinoxes, à nouveau pour que l'extrémité de l'ombre tombe sur l'ellipse à midi aux jours concernés. On sait que l'extrémité de l'ombre des styles, placés aux endroits adéquats de l'échelle centrale, va sous nos latitudes parcourir une hyperbole au cours de la journée, arc diurne d'un cadran classique horizontal.

Pour notre cadran inverse on peut de la même façon établir des hauteurs optimales de style en fonction de la saison. Ici il faut que l'ombre du style placé au point S tombe sur les marques correspondantes de l'échelle des dates. On retrouve naturellement les mêmes valeurs que pour un cadran classique puisque la géométrie est la même. La différence est que tous les styles sont confondus à 12 h, au lieu d'être répartis sur

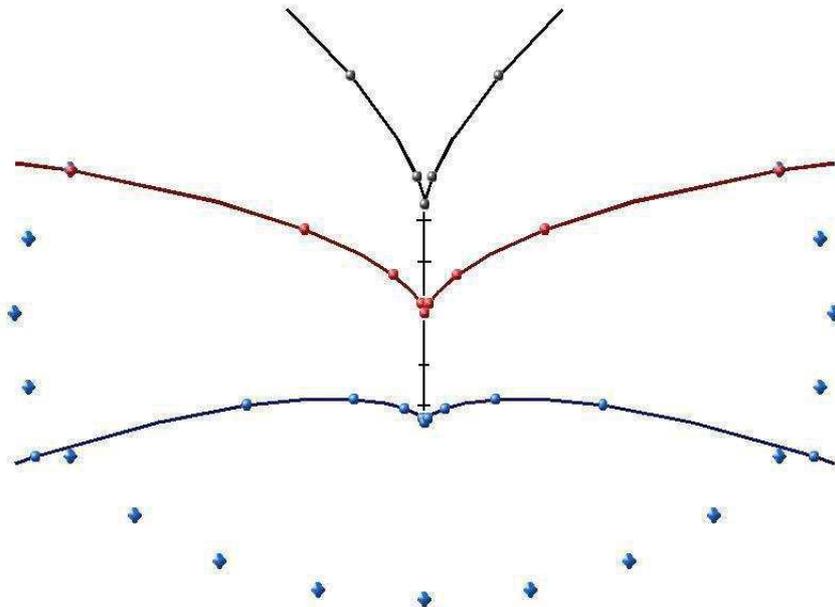


Figure 4

l'échelle centrale. Il est intéressant de représenter la trajectoire suivie par l'extrémité de l'ombre de ces trois styles au cours de la journée, au fur et à mesure qu'ils seront déplacés sur la couronne en restant face au Soleil par rapport au point correspondant de l'échelle centrale. Ces trajectoires, aux allures de caustique, sont données sur la figure 4. Les ombres du matin sont à gauche, celles de l'après-midi à droite. Les points marquent les positions de l'ombre d'heure en heure. La courbe bleue est celle suivie par l'ombre du style du solstice d'été, la rouge par celui des équinoxes et la noire par celui du solstice d'hiver.

La couronne circulaire

C'est donc le principe du cadran inverse que nous avons envisagé d'appliquer à l'entourage de la rose des vents lors de la conception de l'ensemble. Mais ici nous avons une

contrainte forte : le cadran devait s'adapter à la forme circulaire de la couronne (figure 5)

Le diamètre extérieur de la couronne de pierres est de 1,55 m (diamètre intérieur 1,28 m). Si nous prenons cette valeur comme dimension du grand axe d'un cadran analemmatique, le petit axe vaut 1,17 m. Les extrémités du petit axe sont quelque peu en dehors de la couronne. Néanmoins nous avons admis que l'ellipse était contenue dans la couronne circulaire. Initialement les 24 pierres étaient prévues avec une largeur angulaire de 15° chacune. Comme le montre la partie gauche de la figure 5 il n'y a aucune correspondance, même approchée, avec les divisions horaires du cadran analemmatique. Nous avons donc dû modifier la largeur angulaire des pierres pour arriver à une correspondance très acceptable (partie droite de la figure 5) et telle que les points horaires soient au milieu des pierres retaillées. *C'est acceptable dans la mesure où, ici, c'est la direction d'une ombre qui importe.* Nous avons conservé l'indication de la totalité des 24 heures, dans un but didactique, afin de montrer où se trouve le Soleil entre son coucher et son lever.

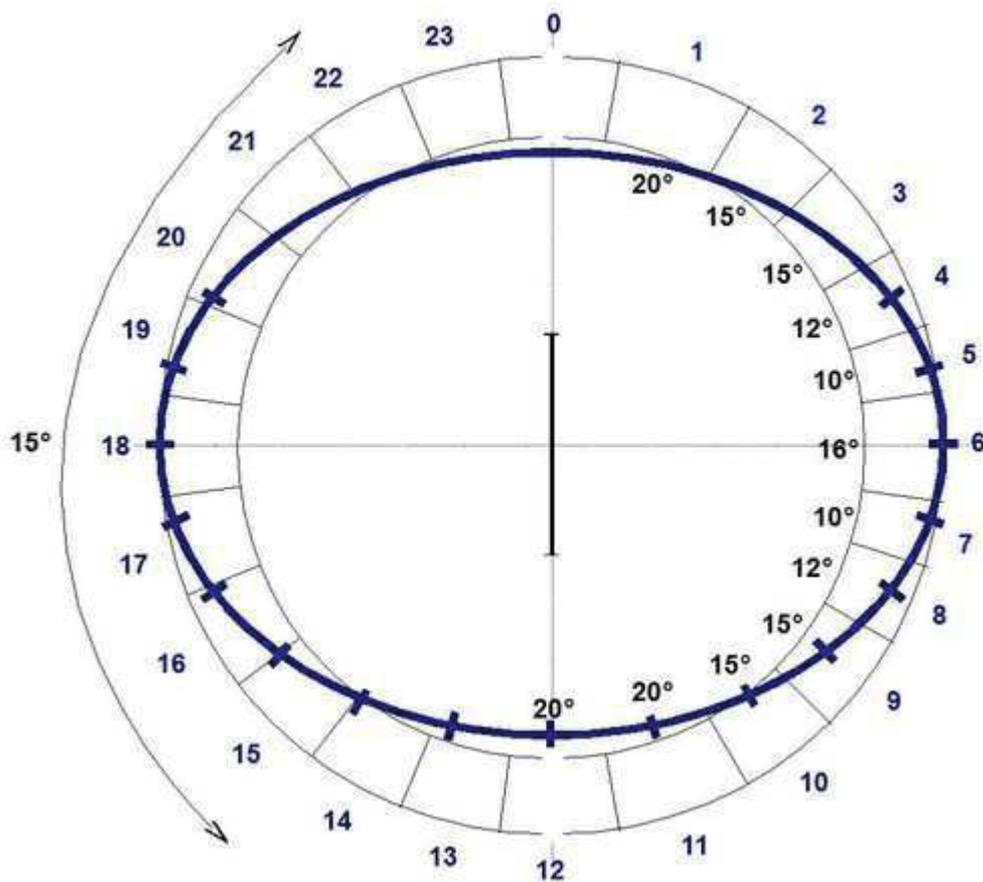


Figure 5

Le Geosolmar

Son nom est la réunion de *Géo* comme géologie, géographie, géodésie et géomagnétisme; *Sol* comme Soleil (et Lune) et cadran solaire, *Mar* comme maritime. C'est à l'origine une rose des vents qui ne devait indiquer que les huit directions cardinales principales (figure 1).

Géo

La rose elle-même et l'entourage sont donc réalisés avec 24 sortes de pierres différentes qui se trouvent toutes sur la commune de Trébeurden. Les pierres centrales sont en

3 granites issus de plusieurs carrières. On retrouve ces trois mêmes granites dans les pierres de la couronne.

Les 24 pierres du pourtour, numérotées de 0 à 23, se répartissent en trois groupes. Le premier, (Pierres 0 à 3; roches métamorphiques, para et orthogneiss, schiste) réunit des pierres témoignant de l'orogénèse icartienne (2 milliards d'années pour la pierre 3, plus de 2 milliards d'années pour les trois autres mais sans datation précise). Le deuxième groupe (Pierres 4 à 8; microgranite et lave) est formé de roches magmatiques témoins de l'orogénèse cadomienne (autour de 615 millions d'années). Les pierres 9 et 10 ont un âge indéterminé compris entre le deuxième et le troisième groupe. Ce dernier, (pierres 11 à 23) est formé de roches magmatiques (gabbro, granites, microgranites, microgranodiorite), représentant les derniers soubresauts de l'orogénèse hercynienne (293 millions d'années). Enfin un petit silex (âge probable autour de 100 millions d'années), tel qu'on en trouve fréquemment sur les plages de la région rappelle que le Bassin Parisien débute à moins de 20 km au large !

De plus les latitude, longitude et altitude sont marquées; cette dernière repérée par rapport au zéro des cartes IGN et au zéro des cartes marines (5 m d'écart à Trébeurden). Le Nord magnétique pour 2011 est indiqué (2°22' W).

Sol

La partie centrale est graduée tous les 10° par un petit point. Les directions des lever et coucher du Soleil aux dates des solstices et des équinoxes sont indiquées par des Soleils oranges. A cette latitude l'amplitude annuelle balayée est d'environ 74° entre l'été et l'hiver. De même sont indiqués par des croissants blancs les azimuts extrêmes atteints par la Lune à ses lever et coucher tous les 18,62 ans, lorsque sa déclinaison peut atteindre $\pm 28,7^\circ$. L'amplitude mensuelle en azimut balayée dépasse alors 90°. Quelques rares cadrans solaires comportent les arcs diurnes correspondants, qui sont parcourus la nuit à la lumière lunaire pendant quelques mois tous les 18 ans..... Les azimuts liés à la déclinaison extrême atteinte 9 ans plus tard ($\pm 18,3^\circ$) n'a pas été indiquée pour des raisons de place.

Le cadran solaire inclut donc les heures inscrites en jaune sur les 24 pierres et l'échelle centrale des mois en chiffres romains également en jaune.

Mar

Enfin des indications concernant la marée ont été incluses³: établissement du port, valeur des coefficients en vives et mortes-eaux, calcul du marnage à partir du coefficient de marée, règle des douzièmes. L'établissement d'un port est une caractéristique propre à ce port : c'est l'heure solaire à laquelle se produit la Pleine Mer les jours de Pleine et de Nouvelle Lune. Des cadrans modernes à marées qui y ont recours ont été récemment réalisés⁴. Cette notion se retrouve sur des correcteurs inscrits sur d'anciens cadrans solaires⁵ et⁶; ils permettaient d'avoir une bonne estimation de l'heure de la pleine mer en fonction de l'âge de la Lune. Leur maniement était similaire à celui des correcteurs lunaires (note 6).

Conclusion

Le cadran solaire inclus dans l'ensemble que nous avons décrit est unique dans sa conception et dans son fonctionnement. Bien qu'il ne satisfasse pas, à proprement parler, à la définition d'un cadran analemmatique son usage est analogue. Malgré sa taille réduite imposée par les contraintes techniques liées à la dimension des pierres de la couronne,

3 O. GUERIN : Tout savoir sur les Marées. Ed. Ouest-France, 2004.

4 J. ROBIC : Un cadran expérimental à marées. Cadran-Info N°14, Octobre 2006, pp 57-60.

5 J. HOURRIERE : Le cadran solaire du Domaine de Clairmont. L'Astronomie, Vol. 97, octobre 1983, p. 437.

6 J.-P. CORNEC, P. LABAT : Cadrans Solaires de Bretagne. Ed. Skol Vreizh, 2010, p. 32.



Figure 6a: Du bon usage des pelles à sable....

l'expérience montre que l'heure indiquée par le cadran est précise au pire à 30 minutes près une fois que la correction concernant les heures d'été / heure d'hiver a été apportée puisque bien sûr, l'heure lue est solaire. Si l'on introduit la correction liée à la longitude (+14 mn), la précision s'améliore d'autant. Avec l'Equation du temps, on atteint une précision à quelques minutes. L'Equation du temps et la longitude sont mentionnées pour mémoire dans la notice. L'usage montre que les utilisateurs en sont très satisfaits (Figure 6 a et b).



Figure 6b: Du bon usage de l'ombre de son corps....





Trois méridiennes

Par Maurice Kieffer

Présentation de trois méridienne en hommage à Madame Gotteland.

Début 2010 j'ai été invité par un lycée horticole pour réaliser un ensemble gnomonique. Pour la partie théorique, j'avais fait une maquette qui permet de comprendre le cheminement de l'heure solaire vraie à l'heure légale de notre montre. Pratiquement c'est devenu une méridienne que je vous présenterai en deuxième partie.

En attendant cette réalisation et dans la même idée j'ai conçu une méridienne sur une façade déclinante de -36° . Dans cette application j'ai avant tout recherché la précision.

1- Méridienne sur façade déclinante de -36° .

a- Conception

Le calcul a été fait sur une feuille Excel et le tracé à l'échelle 1 sur Autocad. Grâce à ce fichier, l'impression numérique sur un support métalloplastique* a pu être réalisée avec une grande précision. Naturellement cette technique a une espérance de vie limitée !

La plaque est fixée sur un châssis en inox. Le point fixe est le pied du style droit. Un jeu de 2 mm permet la dilatation aux 6 autres points de fixation. Le coefficient de dilatation de la plaque est nettement supérieur à celui de l'inox. L'amplitude de température en Alsace est d'environ 60° . L'erreur de lecture calculée en fonction de l'allongement du style et de la plaque en alu n'est alors que de 2/10ème de mm au point le plus éloigné.

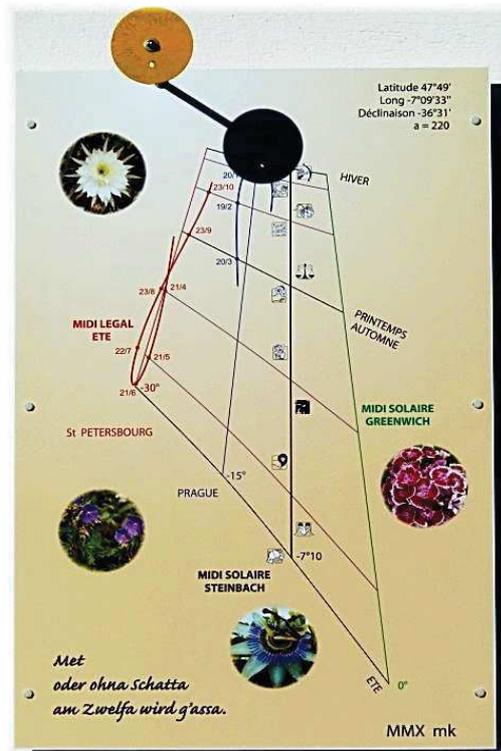
b- Correction du temps

- Première correction : Quand le soleil est au plus haut, il est midi solaire sur la méridienne (ligne verticale noire). La terre continue de tourner et à un certain moment le rayon lumineux de l'œilleton arrive sur la ligne verte, il est midi solaire à Greenwich. Il s'est écoulé $4 \times -7,169 = -28'38''$.

- Deuxième correction : Le méridien $+1 \text{ h}$ (15° Est) qui passe par Prague est notre méridien de référence pour l'heure d'Hiver. Le méridien $+2$ (30° Est) qui passe par Saint-Pétersbourg est notre méridien de référence pour l'heure d'Eté

- Troisième correction : L'équation du temps (que je ne vais pas développer ici), est la courbe

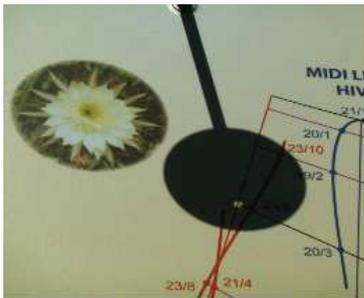
en bleu pour l'hiver et la courbe en rouge pour l'été. Ces 2 courbes nous donnent le midi légal de notre montre.



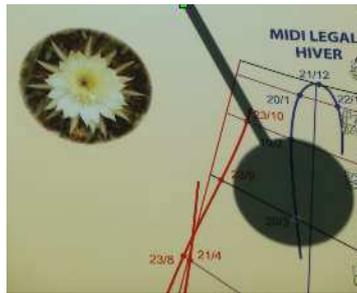
c- Décor

Figure également les courbes du zodiaque ainsi que leurs symboles. Des fleurs qui s'ouvrent : à 10h pour la fleur d'amour, à 11h pour le géranium sauvage, à midi pour la passiflore, et à 13h pour l'œillet du poète. Olivier Escuder qui m'a donné ces renseignements m'a suggéré de mettre une devise en Alsacien. Comme on aime bien manger en Alsace comme dans toute la France j'ai mis : Met oder ohna Schatta am Zwelfa wird g'assa (Avec ou sans soleil, à midi, on mange)

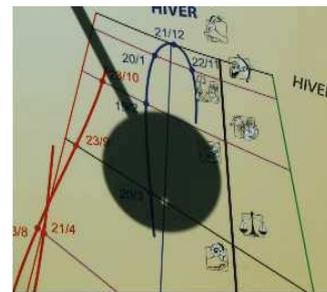
d- Vérification de la précision le 20 mars



Midi solaire à Saint Petersburg (-30°) 11h 07min 35sec



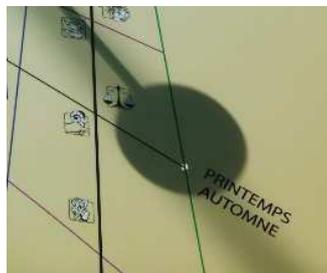
Midi Légal (horaire d'hiver) 12h



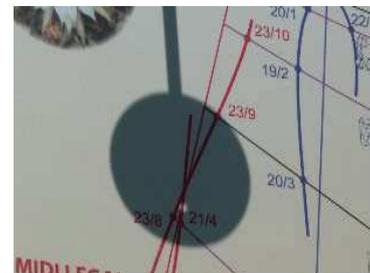
Midi solaire à Prague (-15°) 12h 07min 35s



Midi solaire à Steinbach (-7°9'33'') 12h 38min 57s



Midi solaire à Greenwich 13h 07min 35sec



Ici le 16 avril l'équation du temps était nul, il est midi sur notre montre quand il est midi solaire à Saint Petersburg !

2- Méridienne du Lycée Horticole

a- Revenons au projet gnomonique du Lycée horticole.

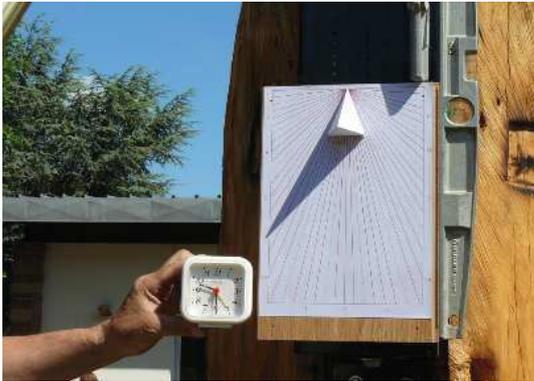
Initialement j'avais prévu de couler une fondation avec trois tiges filetées pour le réglage de l'horizontalité d'une plaque de base.

Une autre plaque solidaire du tronc d'arbre était réglable en rotation autour d'un pivot central. Comme le budget du projet fut divisé par deux, on m'a imposé de noyer directement l'ensemble dans le béton. Comme il est impossible de mettre d'aplomb le tronc et de l'orienter plein sud en quelques secondes à midi, j'ai cherché une solution pendant quelques nuits d'insomnie.

b- Réalisation

Finalement j'ai trouvé une solution en mettant deux niveaux magnétiques sur le caisson de la méridienne et en ajoutant provisoirement un cadran solaire très précis et gradué en quart' heure. Sur cette photo on peut voir l'heure solaire sur le réveil et le petit cadran solaire (9h30) et les deux niveaux à bulle. Le réglage et l'ablocage fut rapidement achevés.

Il ne restait plus qu'à couler le béton.



3- Une méridienne monumentale : La Colonne Lambert

En 1828 en souvenir du centième anniversaire de la naissance de Lambert à Mulhouse, on a érigé une colonne avec une méridienne. Mais suite à la démolition de l'église réformée proche en 1858, la colonne a été déplacée rue de Belfort devant le collège Lambert dans la même ville. La plus haute église réformée de France a été construite à la place de l'ancienne. Et c'est à la fin du siècle dernier que la colonne a retrouvé son emplacement.

Avec Francis Reymann nous avons constaté que le midi solaire était juste. Mais en appliquant le petit cadran solaire sur le socle, on a remarqué qu'il était déclinant. Sur cette photo on voit bien que l'ensemble sphère style n'est pas centré. Comme la colonne est déclinante, la courbe de Fouchy ne peut pas être juste.

Les personnes qui ont implanté cette colonne étaient confrontées au même problème que cité précédemment.

Impression numérique sur vinyle adhésif mat avec film de protection sur plaque DIBOND 2 faces en aluminium laqués blanc épaisseur 3mm

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

° Le diaporama de M. Kieffer présenté lors de la réunion en mai 2011 à la réunion de Rouen.





Cadrans pour Henriette Catharina

Par Reinhold R. Kriegler

Voici l'histoire et la description des deux cadrans solaires de la charmante princesse hollandaise Henriette Catharina von Anhalt-Dessau au château de Oranienbaum en Allemagne de l'Est.



The young princess H. Catharina
Photo: KsDW, Bildarchiv, Aufnahme:
Heinz Fräßdorf



Cadran côté Sud, Photo: KsDW,
Bildarchiv, Aufnahme: Heinz Fräßdorf

Henriette Catharina d'Anhalt-Dessau de Den Haag, épouse de Johann Georg von Anhalt-Dessau, a construit le château et le parc de Oranienbaum dans les années 1683-1685. L'ensemble a été agrandi jusqu'en 1698.

Quand j'ai commencé mes recherches, j'ai supposé que la paire de cadrans solaires (un couple vraiment rare), avait été conçu et mis en place sur les murs Sud et Nord de ce qui est appelé les deux "Kavalierhäuser", vers 1685 ou quelques années plus tard.

Malheureusement, aucune preuve écrite de la réalisation n'est parvenue jusqu'à nous.

La photo de la face Sud (ci-contre à gauche) du cadran de plus de 300ans a été prise en 2005, lors de la décision de remplacer ce cadran solaire, peint sur une feuille de plomb par une copie qui serait également peinte sur du plomb.

Si nous regardons avec attention la table du cadran, un détail de construction nous interpelle immédiatement. Tout semble avoir été coupé très près du cadre à droite et à gauche de la construction.

Nous pouvons également voir facilement les lignes des heures de 7 à

12 à 6, ce qui signifie un azimut de 15 °. Le cadran solaire est calculé pour l'heure locale apparente avec les heures italiques et babyloniens. Lever, coucher de soleil, de jour et la nuit sont indiqués. Comme décoration, nous voyons le soleil en haut et une figure féminine volante, avec deux guirlandes vertes.



La Princesse avec trois de ses dix enfants [Photo: Marie-Luise Werwick]



Cadran côté Sud, recalculé par Joan Serra

Quand je pensais, il y quelques années, à l'écriture d'un article sur les deux cadrans solaires pour un magazine allemand et espagnol, Joan Serra de Majorque m'avait aimablement recalculé pour moi, ces cadrans. Nous pouvons constater qu'il y avait eu seulement des erreurs légères pour les lignes de l'après-midi par exemple et les hyperboles zodiacales. Cela n'a certainement pas dérangé la princesse lorsqu'elle passait dans la cour et qu'elle comparait l'ombre du style avec l'indication de sa « montre-bracelet chronomètre!! ».

Si nous marchons vers le "Kavalierhaus", aile opposée du château, nous pouvons voir la face Nord face, c'est à dire le « mari » de ce couple très inhabituel de cadrans. Immédiatement nous allons sourire, car comme nous le savons tous, l'ombre du style septentrional n'a aucune chance de recouvrir tout le tracé des lignes horaires, qu'elles soient italiques ou babyloniennes. Mais il s'agit d'un miroir de la réalité des hommes: Jour et nuit, ils pensent à leurs femmes aimées...



Cadran côté Nord du Oranienbaum Kavalierhaus

Si nous nous approchons plus près de ce cadran, nous voyons que le soleil en décoration est désormais placé sur le sol et l'imaginaire "Victoria" sort d'une construction qui pourrait être quelque chose comme un obus. Là aussi cette Victoria, porte deux guirlandes vertes dans ses mains.

Nous voyons une construction miroir du cadran orienté au Sud avec les détails déjà connus concernant les lignes horaires de 7 à 12 puis à 6, etc.

Je me suis permis de sourire en lisant les deux dernières lignes du texte descriptif de ce cadran solaire dans la revue allemande de la DGC, qui informe ainsi le lecteur: "Anmerk: gleiches Zbl. wie auf Südseite, également

unpassend! Trotz aufgerichtetem Stab (DGC6828) " qui signifie: Remarque: Même l'horloge de la face Sud est inapproprié, malgré l'implantation de la tige. (DGC 6828).



Cadran côté Nord, recalculé par Joan Serra

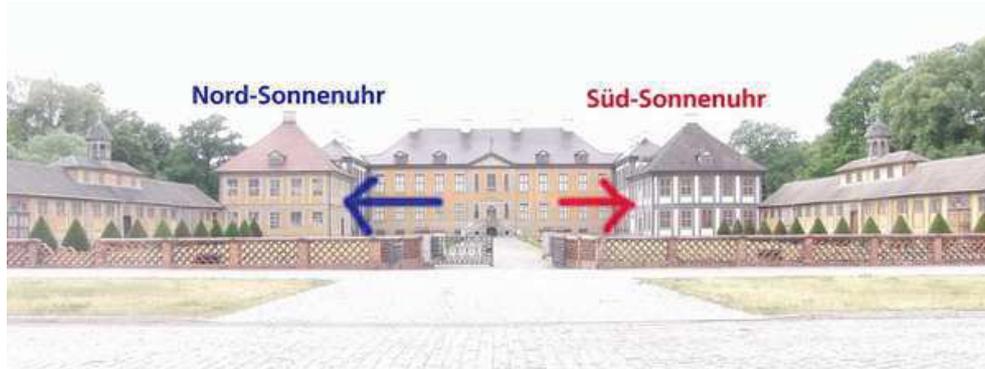
Laissez-moi également, vous montrer pour ce cadran, le nouveau tracé effectué par Joan Serra (ci-contre à gauche).

Joan Serra écrit dans sa note jointe à son calcul (traduction): «*En fait, le cadran Nord est l'exact prolongation des lignes horaires du cadran Sud et a numérotation est inversée. Si donc, le mur avait été transparent, un observateur situé en face du cadran Nord verrait les heures du matin: l'après-midi, et l'inverse s'il se situait côté Sud* » .

«En Realidad, ONU Reloj de Sol Septentrional, es una exactamente prolongación hacia arriba de Las Lineas de l'ONU horarias reloj Meridional y los números de las Horas pasan al lado

contrario de modo Qué SI La Pared fuera transparente, non Observador situado en la cara Norte Veria Las horas de Mañana Tarde y en el mismo sector Qué estarían en el Meridional ».

Joan Serra avait imaginé que ces deux cadrans avaient été construits pour la face avant et la façade arrière d'un même bâtiment et non pour deux bâtiments différents, face à face.



Localisation des deux cadrans “Kavalierhäuser”



Regardez en particulier la construction du côté gauche.
Photo: KsDW, Bildarchiv,
Aufnahme: Heinz Fräßdorf

Voici maintenant une série de cinq photos montrant l'état de la demeure et celui des cadrans solaires avant la restauration commencé en 2006.



La construction avec un container rouge devant.
Photo: KsDW, Bildarchiv,
Aufnahme: Heinz Fräßdorf



Le Kavalierhaus avant la restauration du cadran en 2006.



Cadran face Nord avant restauration.



Détail supérieur du cadran Nord avant restauration.

Photographies de KsDW, Bildarchiv, Aufnahme: Heinz Fräßdorf

Je suis heureux qu'ils aient - après un examen attentif - décidé que ce cadran pouvait être restauré, tandis que pour le cadran Sud, qui était dans un tel mauvais état avec au moins quatre

couches de peinture recouvrant celle originale, il serait nécessaire de commander une copie et de remettre le cadran solaire d'origine.

La date d'inauguration de la nouvelle peinture du cadran Sud est facile à retenir, il s'agit du 7 juillet 2007, soit 07/07/07 !!

Comme vous vous en souvenez, j'ai choisi le cadran Sud pour jouer le rôle de la femme au sein de ce couple dans mon histoire de « cadran Oranienbaum » et je dois l'avouer lors d'un premier regard rapide sur cette nouvelle version, j'ai eu à l'esprit ces femmes qui vont chez leur chirurgien esthétique... et souvent ces procédés de « lifting » induisent des visages dramatiquement autres. un visage radicalement changé ...

Jetez un oeil sur les photos ci-dessous.

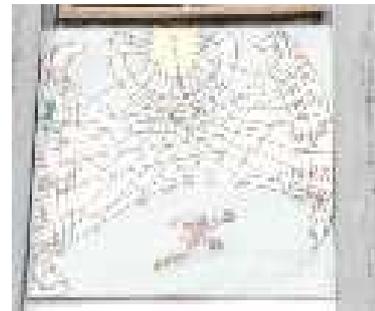


Dévoilement du nouveau cadran solaire



Etat en 2006

Les 3 Photographies sont de KsDW, Bildarchiv, Aufnahme: Heinz Fräßdorf



Etat après le travail du chirurgien esthétique

J'ai demandé à Fer J. de Fries, gnomoniste hollandais bien connu, s'il pouvait y avoir une recherche similaire sur les cadrans datant de 300 ans environ dans les Pays-Bas. Je suppose, en effet que la princesse Henriette Catharina avait consulté également un architecte néerlandais pour son château et un hollandais pour la construire du couple de cadrans solaires.

Il m'a répondu très amicalement qu'il y aurait une réunion de la société néerlandaise des cadrans solaires dans quelques jours et que ma question serait posée aux membres Zonnewijzerkring. J'ai été très heureux de ce soutien.

Cependant Fer de Vries ferdevries@onsneteindhoven.nl m'a rapporté peu après que les membres de la société néerlandaise n'étaient pas intéressés à ma question historique. (mail 21/03/2011 16:54)

Reinhold,

At our Saturday meeting in Utrecht nobody wanted to take the chance to look at the sundial in details.

I myself am not so good in historical facts so I also don't take the chance for historical research but I have another remark.

Looking at the patterns I get the idea that the signs of the zodiac calendar aren't well placed.

On the south facing dial, starting at the right side of the photo, just below the equinox line, I see the sign Taurus and just above the equinox line the sign Aries.

The sequence there is: Aries; Taurus; Gemini; Cancer

That sounds correct but Aries should be below the equinox line. It is the first sign of spring.

The sequence continues at the left top of the photo: Leo; Virgo; Libra etc.

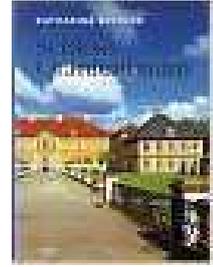
But Leo is a sign in summer and here the sign is at the winter side of the sundial.

Continuing we see the sign of Capricornia down at the summer side of the dial but it belongs to the winter.

I can't imagine that in the past the signs were placed like this. Went something wrong when the dial was once restored?

Best wishes, Fer.

Peu de temps après ce mail, j'ai reçu le livre que j'avais commandé: Schloss Oranienbaum écrit par Katharina Bechler, thèse qui a été publiée en 2002.



Aux pages 39 et 40, j'ai été choqué lorsque j'ai lu, que les deux cadrans solaires étaient de toute évidence mis en place en 1782 sur les deux bâtiment. Ce qui signifierait que les cadrans présumés avoir plus de 300 ans, auraient rajeuni d'une centaine d'année par rapport à mon idée initiale. Et pire que tout, les cadrans n'auraient été ni commandés par Henriette Catharina ni

construits par un gnomoniste néerlandais attachés aux deux "Kavalierhäuser" dans le style local et n'avaient plus aucun lien avec la précédente architecture de style hollandais du château.

J'avoue être frustré que ma belle histoire de la princesse henriette fonde soudainement. Pendant un moment je me sentais comme dans le titre du film allemand de Alexander Kluge "Artistes Die in der Zirkuskuppel: ratlos" (Les artistes dans la coupole du cirque: impuissants ».

Cependant, mon grand espoir était que si je me rendais moi même au château de Oranienbaum et si je demandais directement aux experts sans passer par des mails, des lettres ou autres lectures de livres et de magazines, je pourrais obtenir une réponse différente.

Les 27 et 28 mai j'ai finalement visité le château d'Oranienbaum. Le vendredi après-midi, le très sympathique et coopératif archiviste Dipl. Bibliothécaire Ute Winkelmann avait organisé une réunion spécifique avec Herr Robert Hartmann, le restaurateur en chef du patrimoine mondial "Gartenreich Wörlitzer" et ses châteaux.

Il ouvrit amicalement la porte de fer du dépôt et peu après je me tenais devant l'original du cadran Sud, peint sur le plomb.



Cadran Sud original dans le dépôt



Détail du cadran original dans le dépôt



Second détail du cadran original dans le dépôt

Sur la table en face de l'horloge solaire il y avait aussi la construction d'un style polaire (version prise sur le cadran solaire préalablement suspendus et il y avait deux triangles jaunes indiquant les valeurs calculées pour une installation correcte de la copie de cadran).

Celle-ci a été probablement fournis par deux membres de la DGC qui regrettaient l'absence de calculs. Mais leur proposition était venu trop tard, tout était déjà peint ...

Détails des triangles de

De M. Hartmann j'ai su que ces « Kavalierhäuser »



positionnement du style du cadran Sud, entreposé.

avaient été réellement commandés et construits durant la vie d'Henriette Catharina. J'ai également eu une splendide explication concernant l'idée du cadran Nord. A l'époque baroque, la *symétrie* était un élément primordial de toutes les constructions architecturales. En conséquence, s'il y avait un cadran solaire sur le bâtiment plein sud, il se devait d'installer un autre cadran sur le bâtiment face Nord, de l'autre côté de la cour du château. Ce principe de symétrie conduisit à ne pas tracer seulement les quelques lignes d'heures d'ensoleillement possible (entre 3:30 et 6:00 p.m) mais d'imaginer un tracé-miroir du cadran solaire plein sud avec toutes ses lignes.

Imagination pure et fascinante, ne devenant jamais réalité avec le mouvement réel de l'ombre du style.

Quelle merveille! quelle rare invention! Je ne connais pas d'autre inventions similaire de cette période Baroque.

Je dois insérer ici une petite remarque. Après avoir connu l'intention de restauration, j'avais proposé par courriel à une personne du château d'Oranienbaum de contacter le Dr Richter, un excellent gnomoniste et calculateur pointu de cadrans solaires vivant à Radebeul. J'avais contacté ce dernier dans le passé au sujet d'une autre restauration à Gamig. A Gamig le maçon qui avait fait la splendide restauration du cadran solaire détérioré par une inondation était sage et il avait accepté ma proposition et mon soutien. Au contraire, le conseil d'administration du



L'ancien style polaire

château d'Oranienbaum pensait que cela ne se justifiait pas pour simplement recopier les lignes de l'ancien cadran et qu'il suffisait de relever les trous du style polaire et obtenir ainsi de bonnes valeurs pour la copie du cadran.

Ainsi le restaurateur se concentra simplement sur la partie technique de repeindre ce cadran: quel genre de peinture utiliser, quel nouveau poly-ethan nécessaire?, comment fixer le bronze doré sur le plomb, etc.



◀▲ Angela Günther painting the new sundial. Photo: A. G.



Atelier de Angela Günther

Ce que je ne comprends pas vraiment, c'est pourquoi il a été demandé à Angela Günther, le restaurateur local, de donner un "nouveau look" aux détails et éléments décoratifs de ce vieux cadran solaire de 300 ans d'âge plutôt que d'essayer de retrouver une bonne copie de cette figure



d e "Victoria » figure, mais aussi des formes des signes zodiacaux, ainsi que de leur ordre. Si l'on compare les traces restantes du cadran original avec ce qui a été finalement peintes: à gauche: avant, à droite: après.



Aussi, si l'on porte un jugement modéré, on peut difficilement dire que ce fut une bonne idée et un bon résultat.

Lorsque je me tenais devant le nouveau cadran solaire, le soleil brilla seulement une courte période, mais à en juger par les quelques photos que je pouvais prendre de l'ombre pâle, j'ai pu constater facilement voir que cette copie n'indiquait pas correctement l'heure. Cela est à la fois une honte et une pitié. Depuis 2007, quand le cadran solaire fut dévoilé d'une manière pittoresque lors de cette mémorable 7-7-7 (je vous ai montré l'image de l'inauguration sans que personne, évidemment, ne blâme la mauvaise indication horaire) je n'ai rien dit, voulant me comporter comme modeste un invité.

En regardant plus de 300 ans en arrière durant lesquels ces cadrans solaires existent, il est bon que le curieux cadran Nord ne soit pas repeint, mais il pourrait être restauré et fixé pour les 20 prochaines années comme Angela Günther a écrit dans son rapport de restauration.



Photographies: U. Winkelmann

Conclusion:

1) C'est Henriette Catharina qui a commandé ce couple de cadrans solaires. Elle devait être une personne très cultivée et énergique, qui n'a pas seulement inspirer l'architecte Cornelis Ryckwart, mais aussi la gnomoniste (éventuellement) hollandais qui a inventé et construit ces cadrans.

2) Le château de Oranienbaum Château a retrouvé au moins une partie de son charme d'antan après avoir été ruiné un grand nombre fois par ses utilisateurs.

3) Ce couple baroque de cadran solaires est une idée très rare et une magnifique réalisation gnomonique!

4) Il serait bien si le conseil d'administration du château pouvait penser à une nécessaire correction de la nouvelle copie du cadran avant que la reine Beatrix de Holland ne vienne visiter le château de ses ancêtres royaux l'année prochaine.



Vue d'ensemble du Château d'Oranienbaum.
Photo: KsDW, Bildarchiv, Aufnahme: Heinz Fräßdorf

Post scriptum:

Pour clore cette présentation vous trouverez ci-dessous une copie de la fameuse "Dreispietz Potsdamer", invention du professeur Liebscher: cadran de Potsdam.

Il a gentiment calculé un cadran pour la commission des cadrans solaires de la SAF.

Vous trouverez facilement les liens « cadran Prof Liebscher » à www.ta-dip.de.

Vous pourrez également trouver un lien concernant << le couple de cadrans du château d'Oranienbaum>> ainsi qu'un autre lien sur un livret de photos sur le même thème.

Cadran du professeur Liebscher



Mon site internet

Über ta-dip

Sonnenuhren

Meine Bücher

Salon der Astronomen

Fäth Moschee

Über Mundorgeln

Dies und das...

Links

Über ta-dip

Günter Eich, Ein Tibeter in meinem Büro
49 Maulwürfe
SUHRKAMP © 1970

Günter Eich hat 1964 im schönen Regensburger Herzoghof eine Lesung gehalten, eingeladen von einem vorzüglichen Regensburger Buchhändler. Dessen herrlich anregende und gut gestaltete Schaufenster waren immer ein Labsal für meine Augen, aber das Geld war knapp und so war ich ein schlechter Kunde bei ihm.

Ich studierte damals in Regensburg und habe mir nach der Lesung Günter Eichs am Büchertisch des Händlers ein bis auf den heutigen Tag zauberhaftes schmales, graues Leinwandchen gekauft: Günter Eich, Zu den Akten, Gedichte... und mich zum Signieren



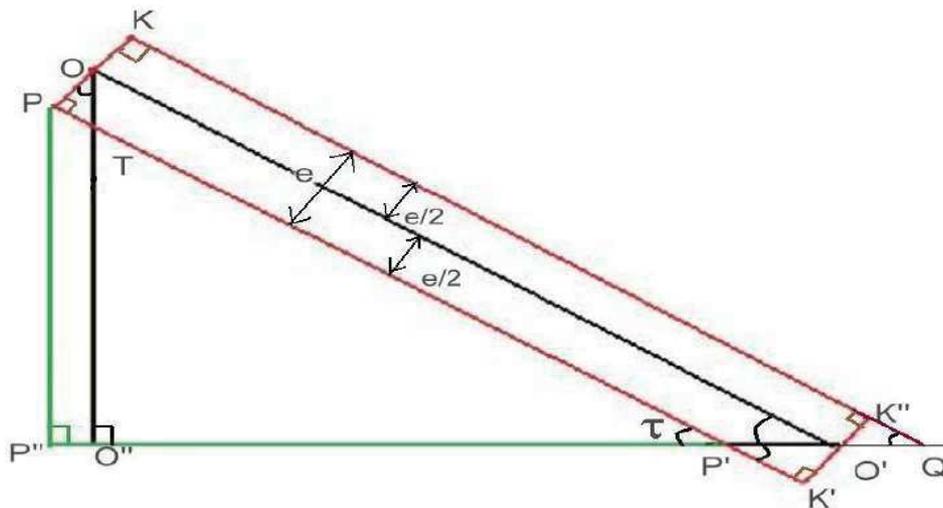
Mise en place d'un style

Par Jean Pakhomoff

Afin de réaliser un cadran septentrional à style polaire classique, J. Pakhomoff a rédigé les notes ci-dessous qu'il nous fait partager. Celles-ci correspondent à la mise en place d'un style sur le cadran solaire vertical déclinant ou inclinant.

Soit un style $O'O$ sortant du plan du cadran en O' et ayant son extrémité O dans l'espace. La projection orthogonale de O en O'' sur la sous-styloire donne le triangle rectangle $O'O''$. Le cadran est calculé en fonction de la ligne $O'O$ qui n'a pas d'épaisseur. C'est une ligne virtuelle. Le style réel est généralement matérialisé par une tige cylindrique PKK'' d'épaisseur e qui reconnaît OO' comme directrice.

Le gabarit nécessaire pour placer celle-ci correctement sera alors le triangle $PP'P''$.



L'angle τ fait par le style et la sous-styloire est connu et égal à l'arc tangente de la quantité:
 $\cos D / (\text{tg } F \text{ SQR}(1 + \sin D^2 / \text{tg}^2 F))$

De même $O'O'' = OO' \sin F \text{ SQR}(1 + \sin D^2 / \text{tg}^2 F)$ et $OO'' = OO' \cos F \text{ cod } D$ où F est la latitude du lieu, D la déclinaison gnomonique du cadran SQR signifiant "racine carrée".

$$\text{On a } P''O'' = OP \sin \tau = e/2 \sin \tau$$

$$O'K' = O'P' \sin \tau \Rightarrow e/2 = O'P' \sin \tau \text{ et } O'P' = e / 2 \sin \tau$$

$$O'K'' = O'Q \sin \tau \Rightarrow O'Q = e / 2 \sin \tau = O'P'$$

$$O'K'' / K''Q = \text{tg } \tau \Rightarrow K''Q = e / 2 \text{ tg } \tau$$

$$P'P'' = P'O'' + O''P''; P'O'' = O'O'' - O'P' \text{ et}$$

$$\mathbf{P'P'' = e \sin \tau / 2 + O'O'' - e / 2 \sin \tau}$$

$$PP'' / P'P'' = \text{tg } \tau \Rightarrow \mathbf{PP'' = P'P'' \text{ tg } \tau}$$

$$\mathbf{PP' = \text{SQR}(PP''^2 + P''P'^2)}$$

$$O'P'' = P'P'' + O'P'$$

Si, par le point O on désire obtenir des indications de dates par les arcs diurnes ou d'autres types d'heures comme les heures sidérales italiques ou babyloniennes, ou encore le tracé de l'équation du temps il conviendra de respecter scrupuleusement la longueur :

$$KQ = OO' + K''Q.$$

Cette longueur est mesurée sur la face supérieure du style. Elle permet d'avoir la bonne position de O sur OO'.

Exemple:

Style fait avec une tige filetée de 6 mm de diamètre.

On se donne $OO' = 200$ mm :

Tous calculs faits on trouve:

$$P'P'' = 175,74 \text{ mm}$$

$$PP'' = 80,92 \text{ mm}$$

$$PP' = 193,47 \text{ mm}$$

$$O'P' = 7,17 \text{ mm}$$

$$K''Q = 3,25 \text{ mm et}$$

$$KQ = 203,25 \text{ mm}$$

Cadran septentrional Ouest en cours de réalisation ►



En Août 2011 le cadran est installé sur la maison de J. Pakhomoff à Azille (Aude)



Pour suivre les phases de réalisation de ce cadran, rendez vous sur le site:

<http://www.pakhomoff.net/CadSeptAZ.html>



Cadran à tracé équi-curvilignes (suite)

Par Francis Reyman

Suite à son article présentant un cadran à tracé équi-curvilignes dans le n° 23 de cadran-Info, F. Reyman mets à disposition un nouveau fichier « CadranMulticurv.xls » pour tracer ce type de cadran¹.

Ce fichier Excel « CadranMulticurv.xls » a pour but de créer un tracé adaptable à une latitude, une longitude et à une déclinaison de mur vertical. Ces paramètres sont à indiquer dans la feuille « Données ». Le résultat est un graphique à l'échelle.

Le principe mis en œuvre consiste à tracer dans la zone d'éclairement du cadran des lignes dédiées à des dates données ; En parcourant ces lignes, l'ombre du style y détermine des événements propres à ces dates. Ici les heures montre (légales) qui tiennent compte – entre autres – de l'équation de temps, ainsi que les levers et couchers de soleil ; Mais d'autres paramètres pourraient y être repérés : lignes d'égales hauteurs (almucantaras ?) ou d'azimut etc... Les courbes sont prolongées au-delà de l'éclairement faisant ainsi office d'abaques.

Lignes de dates

L'ombre du style marque les heures montre (légales) sur 7 lignes de dates dédoublées. Ces heures sont attachées au méridien de référence à indiquer également dans la feuille « Données ».

Les courbes extrêmes comptent pour les solstices d'Hiver et d'Eté.

La courbe du milieu compte pour les équinoxes de Printemps et d'Automne.

Chaque courbe supporte les heures montre de 2 dates de même déclinaison du soleil.

En l'occurrence il s'agit chaque fois de dates correspondantes aux 21 (environ) des mois.

Le code couleur verte (vers la nature verte) est utilisé pour la course montante du soleil entre le tropique du Capricorne et le tropique du Cancer.(environ les 6 premiers mois de l'année).

Le code couleur rouge (vers les braises) est utilisé pour la course descendante du Soleil entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne (environ les 6 derniers mois de l'année).

Particularité

La particularité du cadran est que les lignes de dates sont telles que les distances curvilignes entre les heures sont égales. (d'où un terme qui semble adapté : « équicurviligne »)

Eclairement du cadran.

Le style ne peut porter une ombre que lorsque le soleil est levé et qu'il se trouve devant le plan du cadran.

L'ombre du style ne dépasse alors pas l'horizontale puisque le soleil se couche au-dessous de l'horizon.

¹ L'article « Oudemans' Curve » de Fred Swayer, paru dans The Compendium - Volume 8 Number 1 March 2001, traite de ce sujet.

Sur le tracé, pour chaque ligne de date :

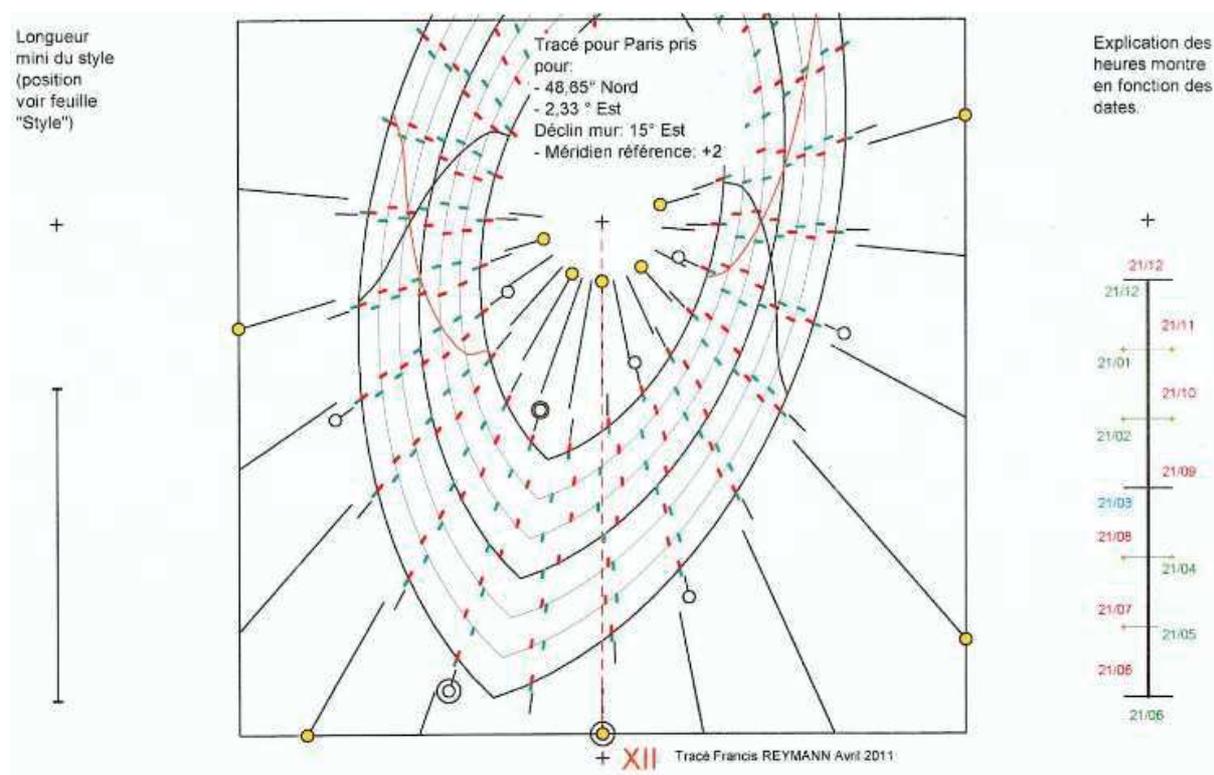
- Les courbes noires délimitent les heures où le soleil est devant le plan du cadran qu'il soit levé ou non.
- Les courbes rouges soulignent les levers et couchers de soleil.
- Une ombre de style n'est possible qu'aux heures situées en dessous des 2 courbes.

Finalement le tracé permet de prévoir :

- les éclairagements en fonction des dates.
- les levers et couchers de soleil (prolongement des courbes au dessus de l'implanture). Le tracé devient « abaque ».

Heures solaires

Afin de bien garder le lien avec les cadrans les plus répandus, un deuxième tracé permet d'encadrer le tracé *multicurviligne* avec les lignes classiques d'heures solaires.



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

- ° Le fichier Excel « CadranMulticurv.xls » de Francis Reymann
- ° L'article Oudemans' Curve de Fred Swayer



Tout savoir sur les œillets et les taches de lumières projetées, c'est être capable d'obtenir une projection de **qualité**, de définir ses **dimensions**, sa **forme** et pourquoi pas de maîtriser la **théorie générale** du phénomène.

La connaissance des critères d'obtention d'une bonne **qualité** de la tache solaire est indispensable à tous les gnomonistes utilisant un œillette principalement dans le cas de cadrans ou de méridiennes de grandes tailles. Les études ci-après compléteront les articles déjà présentés sur les phénomènes d'ombre, de pénombre et des dimensions d'un l'œillette¹.

La **dimension** de cette tache suivant la saison et les heures de la journée est un élément important dans une réalisation. Sous le titre "**Œillette et tache de lumière**" Denis Savoie a repris l'écriture de son article publié dans cadran-info n° 13 de 2006. L'étude de **Marc Goutaudier**, portant le même titre, aborde la problématique sous **l'aspect vectoriel**. Denis Savoie a apporté une innovation dans le tracé de la "**méridienne à Villiers-sur-Mer**" en matérialisant par deux lignes la variation du grand axe de l'ellipse (voir rubrique "informations" page 150).

Obtenir une **forme circulaire** avec l'installation d'un œillette elliptique devient du raffinement. A notre connaissance "**la méridienne de Loupian**" est une première mondiale.

Pour combler « une sorte de désert dans la littérature » concernant une **théorie générale** sur calcul des dimensions d'une tache de lumière faite par un trou circulaire et une source de lumière étendue (le soleil), **Gérard Baillet** s'est attaqué à ce sujet en relation avec quelques autres collègues de notre commission. << Les trois premiers textes ci-après sont les débuts de la **découverte du problème**. Pour le résoudre avec précision et d'une manière générale il manque la solution du problème de l'enveloppe d'une famille d'ellipse de dimension variable. Cette solution vient d'être trouvée par le calcul direct avec l'algèbre classique (image de couverture de ce bulletin). Il reste à expliquer ce calcul, à rassembler tous ces éléments et à les éditer de manière compréhensible et accessible à tous. Ce sera, je l'espère, pour la prochaine édition de cadran info (G.Baillet)>>. Que les débutants ou cadraniers amateurs ne soient donc pas inquiets par ces premières études.

¹ **Articles déjà parus sur le sujet** dans cadran-Info: Ombre et pénombre: (CI 09 D.Savoie); (CI 13, CI 16, CI 22 G.Ferrari); Dimensions: (CI 13 D.Savoie, article remplacé par la dernière version "Œillette et tache de lumière" présenté dans ce CI 24)



Œilleton et tache de lumière

Par Denis Savoie

Il nous a paru souhaitable de donner une nouvelle version, corrigée et étendue, de l'article paru dans Cadran-Info en 2006, consacré aux œilletons. Les formules suivantes permettent de calculer les dimensions d'une tache de lumière issue d'un œilleton circulaire avec un Soleil de diamètre apparent².

1 – Calculs préliminaires

Soit r le diamètre d'un œilleton circulaire de centre K situé à une distance a du plan considéré (sol, mur).

Soit R le demi-diamètre du Soleil ; celui-ci varie de $0^{\circ} 16' 16''$ début janvier à $0^{\circ} 15' 44''$ début juillet, soit près d'une demie-minute d'arc de variation. En général³, on prend $R = 0^{\circ} 16'$.

On utilise deux angles intermédiaires α et α' : pour le diamètre du Soleil, α est compté depuis le bord supérieur (fig. 1) dans le sens trigonométrique de 0° à 360° . Pour l'œilleton, α' est compté depuis le bord supérieur, dans le même sens.

On a : $\alpha' = \alpha + 180^{\circ}$.

On appellera h la hauteur du photocentre du Soleil, h_v sa hauteur apparente (c'est-à-dire affectée par la réfraction notée *refra*) et $h'v$ la hauteur apparente d'un bord du Soleil.

ϕ étant la latitude du lieu, δ la déclinaison du Soleil, H son angle horaire, on a :

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

$$h_v = h + \text{refra}$$

$$h'v = h_v + R \cos \alpha$$

La réfraction, en minute de degré, se calcule par : $\text{refra} = 1.02 / [\tan (h + 10.3 / (h + 5.11))]$

² On comparera les résultats obtenus ici avec les formulaires de G. Baillet et M. Goutaudier. Les décimales superflues dans les exemples numériques sont données uniquement pour vérifications. On consultera avec profit l'article de G. Ferrari, « Propriétés de l'ombre », *Cadran-info* n° 16, octobre 2007, p. 14-20, et, du même auteur, « Ombre et pénombre », *Cadran-info* n° 13, mai 2006, p. 27-33.

³ Si l'on veut être plus rigoureux, on peut calculer le diamètre apparent du Soleil par :

$$R = 16' + 16'' \cos M$$

M étant l'anomalie moyenne du Soleil ($0^{\circ} < M < 360^{\circ}$) que l'on calcule par :

$$M = 357^{\circ},528 + 0^{\circ},9856003 \times T, T \text{ étant le temps compté en jours depuis J2000.0 à 12 h UT.}$$

La valeur obtenue est celle correspondant à une pression atmosphérique de 1010 millibars et une température de 10° Celsius⁴. La réfraction atteint environ 3' pour des valeurs de la hauteur du Soleil voisines du solstice d'hiver sous nos latitudes.

Comme le Soleil n'est pas ponctuel, on doit faire intervenir l'azimut de son bord; soient A l'azimut de son photocentre et dA l'azimut d'un point de sa circonférence. On a :

$$\cos dA = (\cos R - \sin h_v \sin h'_v) / (\cos h_v \cos h'_v)$$

Si $0^\circ < \alpha' < 180^\circ$, alors $dA = -d\alpha'$.

L'azimut du photocentre du Soleil se calcule par :

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

A étant du même signe que H .

Le principe du calcul est le suivant (fig. 1) : un rayon solaire issu d'un point du bord du Soleil rencontre un point opposé d'un bord de l'ocilleton avant d'arriver sur la surface où elle forme une tache de lumière. On cherche les dimensions de cette tache en faisant tourner un rayon fictif autour du Soleil et autour de l'ocilleton, donc en engendrant un conoïde.

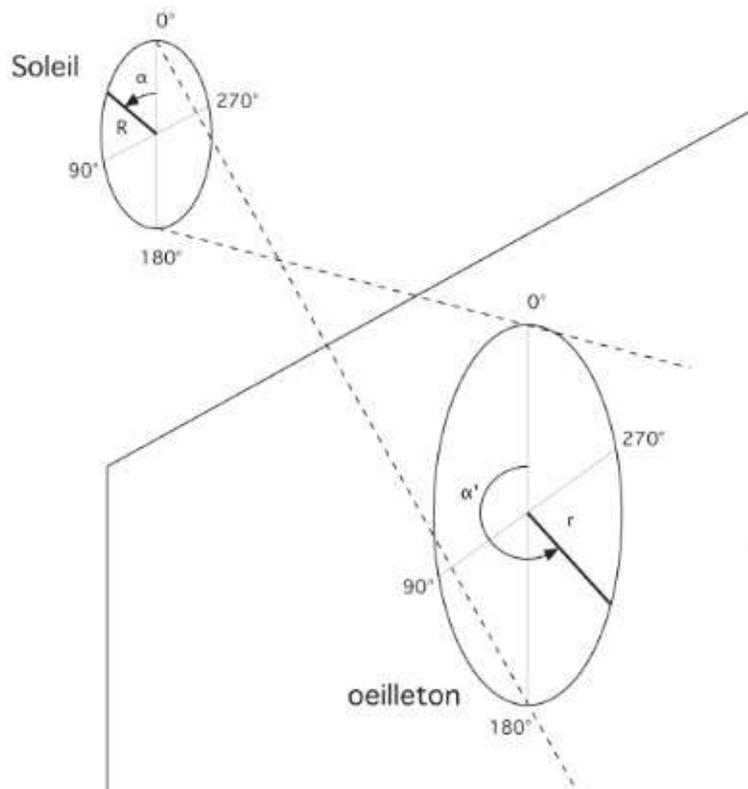


Figure 1

⁴Pour d'autres valeurs de la température T et de la pression P , on multiplie la réfraction par un terme correctif : .

2 – Cas d'un oeilleton vertical : image au sol

Soit un mur de déclinaison gnomonique D muni d'un œilieton d'épaisseur négligeable, situé à une hauteur a du sol (fig. 2). Pour calculer les coordonnées X et Y de la tache du Soleil au sol, comptées depuis le pied de l'œilleton (axe des X dirigé vers l'Est, axe des Y vers le Nord), on calcule :

$$X = x' \cos D + y' \sin D; \quad Y = -x' \sin D + y' \cos D$$

avec

$$x' = (a + r \cos \alpha') \sin (A + dA - D) \cotan (h'v) - r \sin \alpha'$$

$$y' = (a + r \cos \alpha') \cos (A + dA - D) \cotan (h'v)$$

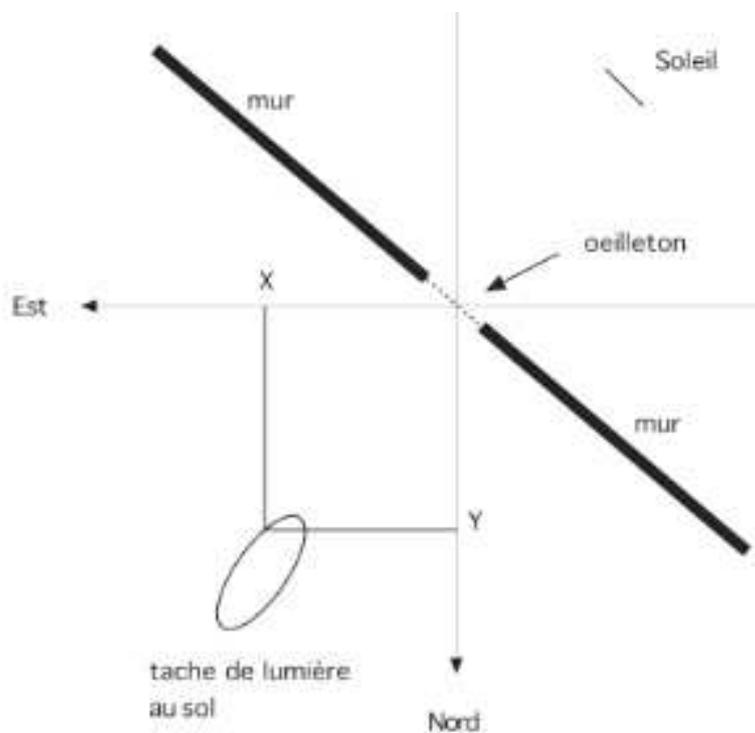


Figure 2 (Vue de dessus)

Si l'on ne s'intéresse qu'à l'image du Soleil à midi vrai, on fait $H = 0^\circ$. Mais on peut aussi calculer l'image du Soleil à midi moyen ($H = -E$, E étant l'équation du temps) ou à midi UT voire à n'importe quel autre instant de la journée.

L'image du Soleil au sol est plus ou moins elliptique selon le diamètre de l'œilleton, l'heure et la date. Mais la différence entre l'image au solstice d'été et celle du solstice d'hiver est considérable, surtout si l'œilleton est placé loin du sol.

On obtient les dimensions maximales de la tache de lumière en X en faisant $\alpha' = 90^\circ$ et 270° , et les dimensions maximales en Y en faisant $\alpha' = 0^\circ$ et 180° .

Exemple 1 : soit un œilleton placé sur un mur vertical méridional dont les paramètres sont $\phi = 48^\circ$, $D = 0^\circ$, $a = 800$ cm, $r = 1$ cm (diamètre = 2 cm). Calculons des points de son image au sol le jour du solstice d'hiver ($\delta = -23^\circ,439$ et $R = 0^\circ 16' 16''$) à midi solaire ($H = 0^\circ$).

On a par exemple :

$\alpha' = 0^\circ$; $A = 0^\circ$; $h = 18^\circ,561$; $\text{refra} = 0^\circ 2' 58''$; $h\nu = 18^\circ,61038$; $h'v = 18^\circ,33927$;
 $dA = 0^\circ$; d'où $X = 0$ cm et $Y = 2416,4$ cm.

$\alpha' = 90^\circ$; $A = 0^\circ$; $h = 18^\circ,561$; $\text{refra} = 0^\circ 2' 58''$; $h\nu = 18^\circ,61038$; $h'v = 18^\circ,61038$;
 $dA = -0^\circ,28607$; d'où $X = -12,86$ cm et $Y = 2375,7$ cm.

$\alpha' = 300^\circ$; $A = 0^\circ$; $h = 18^\circ,561$; $\text{refra} = 0^\circ 2' 58''$; $h\nu = 18^\circ,61038$; $h'v = 18^\circ,47483$;
 $dA = 0^\circ,24764$; d'où $X = -11,22$ cm et $Y = 2395,91$ cm.

Dans le cas présent, on obtient une tache très elliptique de 80,29 cm de long sur 25,72 cm de large.

Au même instant au solstice d'été ($\delta = +23^\circ,439$), la tache ne fait plus que 10,05 cm de large sur 9,76 cm de long, soit quasiment un cercle.

Si maintenant on applique la règle du millième, dite « de Cassini », l'œilleton fait donc 0,8 cm de diamètre (puisque $a = 800$ cm), soit $r = 0,4$ cm. Au solstice d'hiver à midi solaire, la tache de lumière mesure 76,7 cm de long sur 24,52 cm de large. Par rapport à un œilleton de 2 cm, le changement est donc très faible. Il vaut donc mieux prendre un œilleton plus grand, ce qui rend la tache bien plus lumineuse. Jérôme de Lalande⁵, dans son *Encyclopédie méthodique*, justifiait déjà par des arguments parfaitement clairs l'inadéquation de cette « règle » de Cassini : « *M. Cassini jugea que le diamètre du trou devait être en général la millième partie de la hauteur du gnomon ; mais je crois qu'il est souvent utile de le rendre plus grand, pour avoir plus de lumière ; l'inconvénient qui en résulte par l'augmentation de l'image, n'est pas considérable ; en augmentant le trou du gnomon d'une méridienne de 3 lignes, on n'ajoute que 3 lignes au diamètre de l'image, quelque grande qu'elle soit, et à quelle distance qu'elle soit du trou, et cependant on peut augmenter beaucoup la lumière* ».

Exemple 2 : soit un œilleton placé sur un mur vertical déclinant dont les paramètres sont $\phi = 48^\circ$, $D = 30^\circ$, $a = 800$ cm, $r = 1$ cm (diamètre = 2 cm). Calculons des points de son image au sol le jour du solstice d'été ($\delta = 23^\circ,439$ et $R = 0^\circ 15' 44''$) pour $H = 40^\circ$.

On a par exemple :

$\alpha' = 0^\circ$; $A = 66^\circ,52321$; $h = 49^\circ,98624$; $\text{refra} = 0^\circ 0' 51''$; $h\nu = 50^\circ,00042$;
 $h'v = 49^\circ,73819$; $dA = 0^\circ$; d'où $X = 622,22$ cm et $Y = 270,25$ cm.

$\alpha' = 90^\circ$; $A = 66^\circ,52321$; $h = 49^\circ,98624$; $\text{refra} = 0^\circ 0' 51''$; $h\nu = 50^\circ,00042$;
 $h'v = 50^\circ,00042$; $dA = -0^\circ,40795$; d'où $X = 612,92$ cm et $Y = 272,3$ cm.

⁵ Jérôme de Lalande, *Encyclopédie méthodique*, t. 2, Paris, 1785, p. 384. On consultera avec intérêt l'article de G. Ferrari, « L'image du soleil dans les cadrans solaires à chambre obscure », *Cadran-Info* n° 21, mai 2010, p. 55-65, qui s'intéresse particulièrement à la luminosité de la tache solaire dans les grandes méridiennes italiennes.

$\alpha' = 240^\circ$; $A = 66^\circ,52321$; $h = 49^\circ,98624$; $\text{refra} = 0^\circ 0' 51''$; $h'v = 50^\circ,00042$;
 $h'v = 50^\circ,13153$; $dA = 0^\circ,35378$; d'où $X = 614,84$ cm et $Y = 261,79$ cm.

3 – Cas d'un œilleton vertical : image sur un mur

a) L'image du Soleil passant par l'œilleton vertical peut dans certains cas se projeter sur un mur. On supposera tout d'abord que le mur sur lequel se projette la tache de lumière est parallèle à l'œilleton (donc l'œilleton est vertical). Soit D la déclinaison gnomonique du mur; appelons a la distance de l'œilleton de centre K au point P sur le mur (fig. 3).

Les coordonnées X et Y de l'enveloppe de la tache de lumière, depuis le pied du style droit fictif P , s'obtiennent par (axe des X vers la droite, Y vers le haut) :

$$X = [a (\cos D \tan (A + dA) - \sin D) / (\cos D + \tan (A + dA) \sin D)] - r \sin \alpha'$$

$$Y = - [a \tan h'v / (\cos (A + dA - D))] + r \cos \alpha'$$

Exemple : en prenant comme paramètres $\phi = 48^\circ$, $D = + 30^\circ$, $a = 500$ cm, $r = 1$ cm, $R = 0^\circ 15' 44''$, $H = 45^\circ$, $\delta = + 23^\circ,433$, $\text{refra} = 57''$, on a :

$\alpha' = 180^\circ$	$X = 443,64$ cm	$Y = - 721,23$ cm
$\alpha' = 270^\circ$	$X = 450,67$	$Y = - 717,93$
$\alpha' = 0^\circ$	$X = 443,64$	$Y = - 706,14$
$\alpha' = 90^\circ$	$X = 436,7$	$Y = - 709,45$

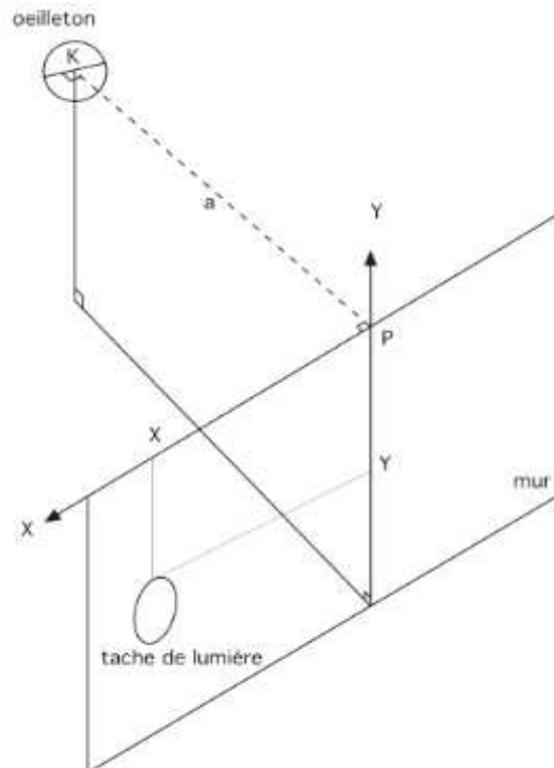


Figure 3

b) Imaginons maintenant que l'œilleton vertical ne soit pas parallèle au mur (fig. 4) ; appelons D la déclinaison gnomonique du mur où se projette la tache de lumière et D' la déclinaison gnomonique de l'œilleton. Soit a la distance entre le centre de l'œilleton et le mur (a est perpendiculaire au mur).

Les coordonnées X et Y de l'enveloppe de la tache de lumière, depuis le pied du style droit fictif P , s'obtiennent par (axe des X vers la droite, Y vers le haut) :

$$X = [a'(\tan(A + dA) - \tan D)/(1 + \tan(A + dA) \tan D)] - r \sin \alpha' \cos(D - D')$$

$$Y = -[a' \tan h'v/(\cos(A + dA - D))] + r \cos \alpha' \cos(D - D')$$

avec: $a' = a + r \sin(D - D') \sin \alpha'$

Exemple : en prenant comme paramètres $\phi = 48^\circ$, $D = +30^\circ$, $D' = -40^\circ$, $a = 300$ cm, $r = 1$ cm, $R = 0^\circ 16'$, $H = 20^\circ$, $\delta = +15^\circ$, $\text{refra} = 46''$, on a :

$$\alpha' = 190^\circ$$

$$X = 18,19 \text{ cm}$$

$$Y = -404,45 \text{ cm}$$

$$\alpha' = 320^\circ$$

$$X = 19,41 \text{ cm}$$

$$Y = -396,55 \text{ cm}$$

$$\alpha' = 50^\circ$$

$$X = 15,73 \text{ cm}$$

$$Y = -398,57 \text{ cm}$$

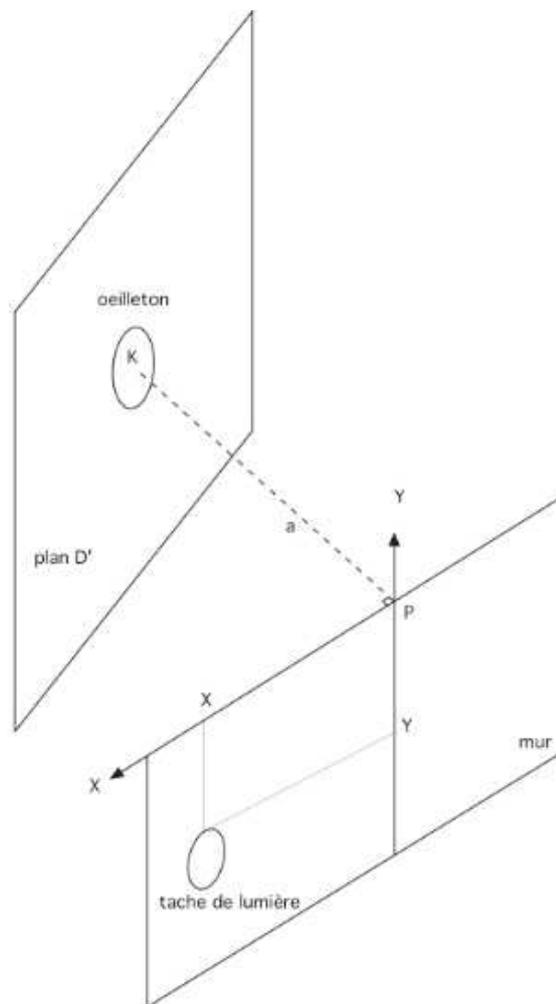


Figure 4 ►

4 – Cas d'un œilleton horizontal

a) image au sol:

Dans le cas d'un œilleton horizontal, placé sur un toit par exemple (fig. 5), à la distance a du sol, on obtient les coordonnées X et Y de la tache de lumière au sol depuis le nadir P du centre de l'œilleton par (axe des X vers l'Est et axe des Y vers le Nord) :

$$X = a \sin (A + dA) \cotan (h'v) - r \sin \alpha'$$

$$Y = a \cos (A + dA) \cotan (h'v) + r \cos \alpha'$$

Exemple : en prenant les paramètres $\phi = 48^\circ$ et $\delta = -23^\circ,443$ mais en supposant que l'œilleton est horizontal de rayon 1,5 cm à 800 cm du sol, on a :

$H = 0^\circ$; $A = 0^\circ$; $h = 18^\circ,557$; $\text{refra} = 0^\circ 2' 58''$; $h'v = 18^\circ,60639$; $R = 0^\circ 16' 16''$. Si $\alpha' = 60^\circ$, on a $h'v = 18^\circ,47084$; $dA = -0^\circ,24764$; d'où $X = -11,65$ cm et $Y = 2395,73$ cm. La tache elliptique mesure 77,4 cm sur 26,7 cm.

Si $\delta = +10^\circ$ et $H = -35^\circ$,
on a pour $\alpha' = 150^\circ$:
 $X = -672,22$ cm
et
 $Y = 569,53$ cm.

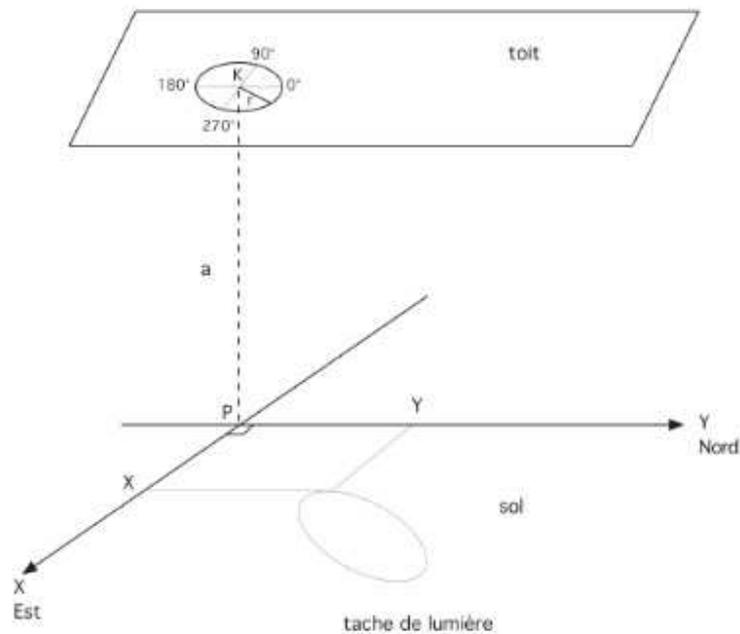


Figure 5 ►

b) image sur un mur:

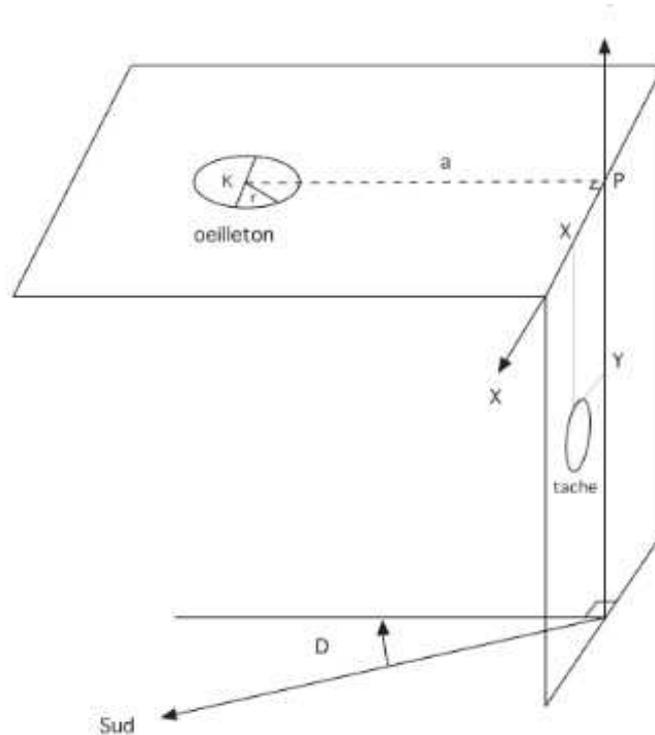
Si la surface sur laquelle se projette la tache de lumière est un mur de déclinaison gnomonique D , l'œilleton étant situé à la distance a du mur (fig. 6), on obtient les coordonnées de la tache de lumière depuis le point P, intersection de la droite passant par le centre de l'œilleton et le mur (axe des X vers la droite et axe des Y vers le haut) par :

$$X = [a' \tan (A + dA - D)] - r \sin \alpha'$$

$$Y = [-a' \tan (h'v) / \cos (A + dA - D)] + r \cos \alpha'$$

avec $a' = a - r \cos \alpha'$

Exemple : en prenant les paramètres $\phi = 48^\circ$, $D = 30^\circ$, $r = 1,5$ cm, $a = 900$ cm, $R = 0^\circ 16' 16''$ et $\delta = -5^\circ$ et $H = 20^\circ$, on obtient avec $\text{refra} = 0^\circ 2' 58''$ et $\alpha' = 230^\circ$: $X = -84,51$ cm et $Y = -619,87$ cm.



5 – Cas d'un œilleton polaire : image sur un mur

Imaginons un cadran solaire vertical (fig. 7) muni d'un style polaire dont l'extrémité se termine par un œilleton de rayon r , de centre K , situé à la distance $PK = a$ du mur déclinant (l'œilleton est dans la continuité du style, donc polaire). L'inclinaison de l'œilleton sur la sous-styloire est égal à f , avec $\sin f = \cos \phi \cos D$. L'angle tabulaire de la sous-styloire S' se calcule par : $\tan S' = \sin D / \tan \phi$.

Les coordonnées X et Y de l'enveloppe de la tache de lumière, depuis le pied du style droit P , s'obtiennent par (axe des X vers la droite, Y vers le haut) :

$$X = [a'(\cos D \tan(A + dA) - \sin D) / (\cos D + \tan(A + dA) \sin D)] + dx$$

$$Y = - [a' \tan h'v / (\cos(A + dA - D))] + dy$$

avec $a' = a - r \sin f \cos \alpha'$

$$dx = -r \cos f \sin(\alpha' + S'); \quad dy = r \cos f \cos(\alpha' + S')$$

Exemple : le cadran solaire de l'Observatoire Flammarion de Juvisy a comme paramètres : $\phi = 48^\circ 41' 37''$, $D = +6^\circ 57'$, $a = 57,2$ cm, $r = 1$ cm. Calculons les dimensions de la tache de lumière le jour de l'équinoxe à midi vrai ($H = 0^\circ$, $\delta = 0^\circ$) en prenant $R = 0^\circ 16'$:

$\alpha' = 180^\circ$; $A = 0^\circ$; $h = 41^\circ,30639$; réfraction = $0^\circ 1' 9''$; $h_v = 41^\circ,32558$; $h'v = 41^\circ,59225$; $dA = 0^\circ$; $a' = 57,85524$ cm ; $dx = 0,07987$; $dy = -0,75119$; d'où $X = -6,97261$ cm et $Y = -52,48361$ cm.

$\alpha' = 0^\circ$	$X = -6,97261$ cm	$Y = -48,86920$ cm.
$\alpha' = 90^\circ$	$X = -8,08385$ cm	$Y = -50,78817$ cm.
$\alpha' = 270^\circ$	$X = -5,86192$ cm	$Y = -50,55186$ cm.

En calculant l'intégralité des points, on obtient une tache de lumière de 3,6 cm de long sur 2 cm de large environ. Il est évidemment possible de simuler la tache de lumière tout au long d'une journée : pour une heure et une déclinaison données, on fait varier α' de 0° à 360° de un en un degré. On pourra également vérifier que la tache de lumière en été peut être assez elliptique.

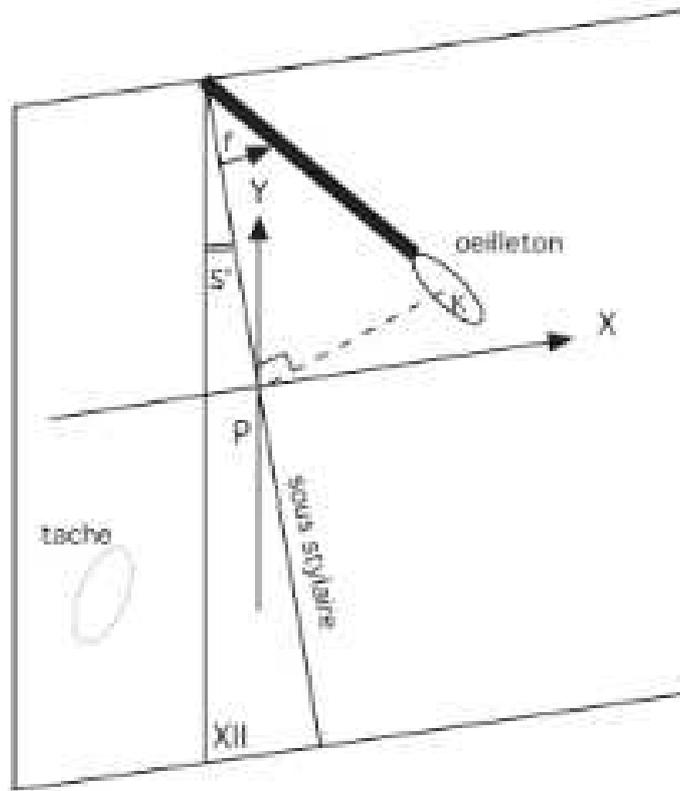


Figure 7





Ouilleton et tache de lumière

Par Marc Goutaudier

De nombreux cadrans solaires ou méridiennes sont munis d'ouïleton dont l'ombre portée délimite une tache de lumière sur le plan du cadran. La lecture de l'heure se fait alors en estimant le centre de la tache de lumière sur le cadran. Il existe des méridiennes qui s'intéressent au pourtour de cette tache, soit pour une meilleure appréciation de l'instant du midi, soit comme marqueur des solstices, éventuellement des équinoxes. Dans des cas extrêmes, la forme de la tache réserve cependant certaines surprises.

Tache de lumière et ombre portée d'un ouïleton

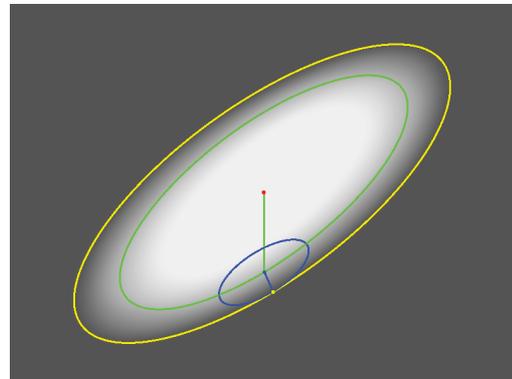
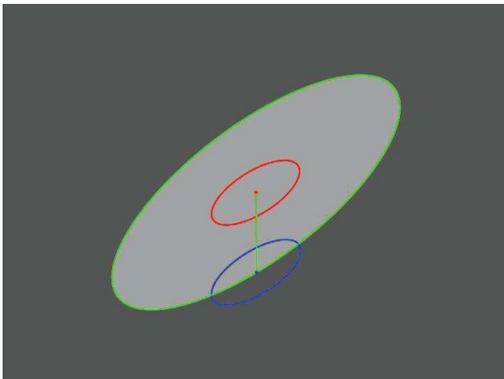
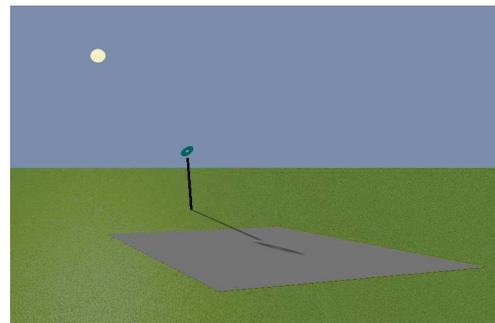
Nous nous intéresserons ainsi au cas général d'un ouïleton circulaire incliné déclinant portant ombre et pénombre sur un plan horizontal¹.

Les illustrations ont été réalisées à l'aide du logiciel libre POV-Ray².

La tache de lumière

La tache de lumière sur le cadran peut être considérée comme l'ensemble des taches générées

par une multitude de sténopés « points trou de l'ouïleton ». Ce qui se résume à un ensemble d'ellipses puisque que tout sténopé engendre un cône qu'intercepte le plan horizontal. En particulier, un point quelconque du bord interne de l'ouïleton forme une ellipse tangente au bord de la tache. La difficulté réside dans la détermination du point de tangence. Mis à part le cas idéal d'un ouïleton orienté exactement vers le soleil, la tache de lumière au sol n'est pas rigoureusement une ellipse et s'en détache nettement lorsque la normale à l'ouïleton est très différente de la direction du Soleil.

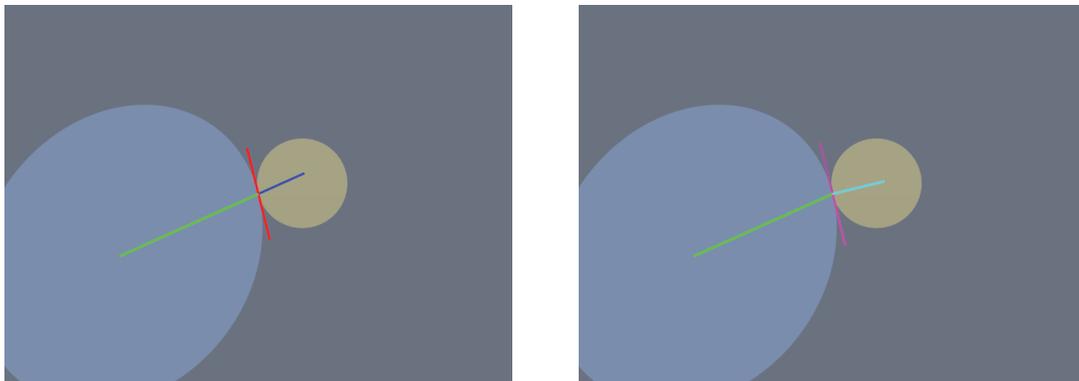


¹ Etendre l'étude à un plan quelconque ne présenterait pas de grandes difficultés mais n'apporterait rien pour le sujet abordé.

² Je tiens à remercier Gérard Baillet pour m'avoir fait découvrir ce puissant logiciel et avoir mis à ma disposition les nombreuses et ingénieuses procédures qu'il a développées.

Le photocentre solaire engendre avec le bord interne de l'œilleton un cône de lumière formant sur le plan du cadran une tache de lumière (à gauche) au contour elliptique (en vert). Le disque solaire à tout «points trou de l'œilleton» forme de même une ellipse. En particulier pour le point «centre de l'œilleton» (en rouge) et pour un point quelconque du bord (en bleu). L'intégralité de la lumière solaire passant par l'œilleton forme une tache de lumière (en jaune) qui n'est pas une ellipse (à droite).

Imaginons-nous en un point du bord de la tache et observons vers le Soleil. Nous pouvons voir ce dernier « tangenter » le bord interne de l'œilleton. La tangente du bord de l'œilleton est contenue dans le plan de l'œilleton mais comme ce dernier n'est pas orienté vers le Soleil ce n'est pas elle qui nous permettra de déterminer le rai de lumière qui nous intéresse. Il convient ainsi de considérer deux tangentes distinctes. Celle de l'œilleton et celle relative au Soleil. Ces deux tangentes sont concourantes au point de l'œilleton considéré mais la tangente pour le Soleil et la projection de celle de l'œilleton dans un plan perpendiculaire à la direction du Soleil.



Le bord de l'œilleton, bien que circulaire, est vue de biais et apparait sous la forme d'une ellipse. Le Soleil lui garde son aspect d'un disque circulaire. Pour un point de l'œilleton, les vecteurs tangents et normaux relatifs au bord de l'œilleton (à gauche) ne sont pas les mêmes que ceux relatifs au faisceau de lumière engendré par le Soleil et passant par ce point (à droite).

Approche vectorielle

Soit le repère (R) dont l'origine est le centre de l'œilleton et les axes x, y, z pointent respectivement vers l'Ouest, le Sud et le Zénith.

Soient A l'azimut du Soleil, et h sa hauteur, le vecteur $\vec{\text{sun}}$ pointe vers le Soleil.

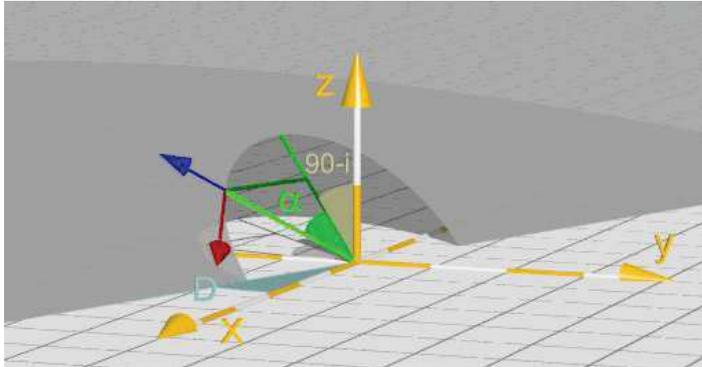
$$\vec{\text{sun}} = \begin{bmatrix} \sin(A) \cdot \cos(h) \\ \cos(A) \cdot \cos(h) \\ \sin(h) \end{bmatrix}_R$$

Soient r le rayon de l'œilleton, D sa déclinaison gnomonique et i son inclinaison (la distance zénithale de la normale au plan de l'œilleton)³, nous balayerons l'œilleton suivant l'angle α ayant pour origine le point le plus haut de l'œilleton et progressant d'Est en Ouest.

Les points de l'œilleton sont alors :

³ Il convient de s'assurer que la normale à l'œilleton ne fait pas un angle supérieur à 90° avec le Soleil. Dans le cas contraire substituer 180°+D à D et 180°-i à i..

$$O(\alpha) = \begin{bmatrix} x_\alpha \\ y_\alpha \\ z_\alpha \end{bmatrix} = r \cdot \left(\begin{bmatrix} -\cos(i) \cdot \sin(D) \cdot \cos(\alpha) \\ -\cos(i) \cdot \cos(D) \cdot \cos(\alpha) \\ \sin(i) \cdot \cos(\alpha) \end{bmatrix}_R + \begin{bmatrix} \cos(D) \cdot \sin(\alpha) \\ -\sin(D) \cdot \sin(\alpha) \\ 0 \end{bmatrix}_R \right)$$



Les vecteurs normal (en bleu) et tangent (en rouge) au bord interne de l'œilleton sont respectivement :

$$\vec{N}(\alpha) = \begin{bmatrix} -\cos(i) \cdot \sin(D) \cdot \cos(\alpha) + \cos(D) \cdot \sin(\alpha) \\ -\cos(i) \cdot \cos(D) \cdot \cos(\alpha) - \sin(D) \cdot \sin(\alpha) \\ \sin(i) \cdot \cos(\alpha) \end{bmatrix}_R \quad \vec{T}(\alpha) = \frac{\partial \vec{N}(\alpha)}{\partial \alpha} = \begin{bmatrix} \cos(i) \cdot \sin(D) \cdot \sin(\alpha) + \cos(D) \cdot \cos(\alpha) \\ \cos(i) \cdot \cos(D) \cdot \sin(\alpha) - \sin(D) \cdot \cos(\alpha) \\ -\sin(i) \cdot \sin(\alpha) \end{bmatrix}_R$$

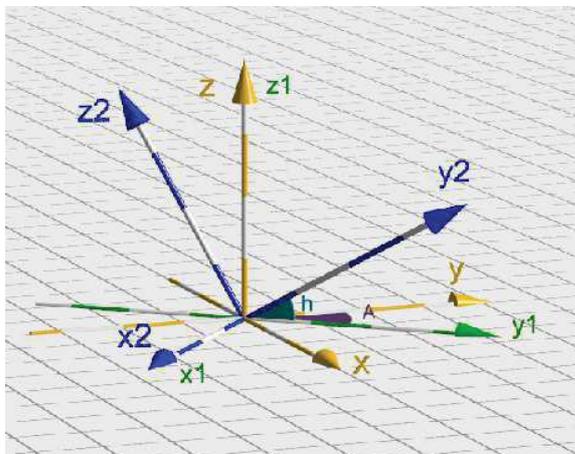
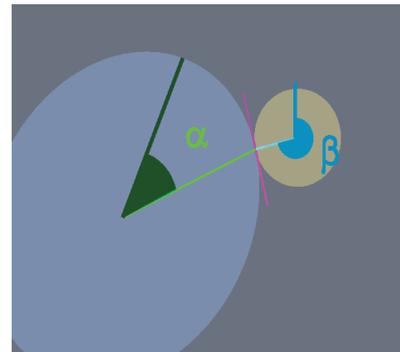
Le disque solaire, de rayon apparent s , sera balayé par l'angle β dont l'origine est le sommet du disque solaire balayé d'Est en Ouest.

Définissons le repère R2, solide du Soleil :
Son origine est le centre de l'œilleton, l'axe y_2 pointe vers le centre du Soleil.

L'axe z_2 lui est perpendiculaire et dans le plan vertical contenant le centre du Soleil.

L'axe x_2 est l'axe complémentaire perpendiculaire à y_2 et z_2 .

Le plan (x_2, z_2) est ainsi perpendiculaire à la direction du Soleil.



Soit, de plus, R1 repère transitoire d'axe x_1, y_1, z_1 .

x_1 et y_1 sont x et y tournés de l'angle A vers l'ouest et z_1 est z .

$$\begin{aligned} \vec{x}_1 &= \cos(A) \cdot \vec{x} - \sin(A) \cdot \vec{y} \\ \vec{y}_1 &= \sin(A) \cdot \vec{x} + \cos(A) \cdot \vec{y} \\ \vec{z}_1 &= \vec{z} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{x}_2 &= \vec{x}_1 & \vec{y}_2 &= \cos(h) \cdot \vec{y}_1 + \sin(h) \cdot \vec{z}_1 & \vec{z}_2 &= -\sin(h) \cdot \vec{y}_1 + \cos(h) \cdot \vec{z}_1 \end{aligned}$$

Ce qui nous donne la correspondance suivante entre R2 et R :

$$\vec{x}_2 = \cos(A).\vec{x} - \sin(A).\vec{y} \quad \vec{y}_2 = \cos(h).\sin(A).\vec{x} + \cos(h).\cos(A).\vec{y} + \sin(h).\vec{z}$$

$$\vec{z}_2 = -\sin(h).\sin(A).\vec{x} - \sin(h).\cos(A).\vec{y} + \cos(h).\vec{z}$$

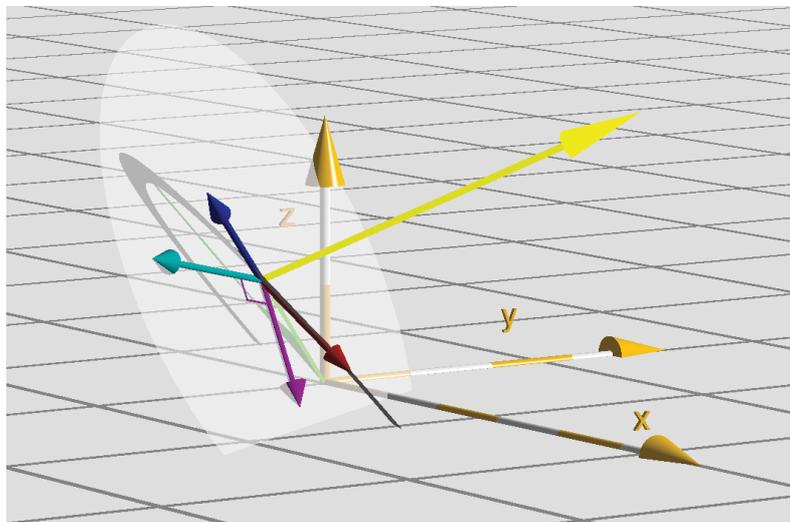
De même on trouvera les relations permettant de passer de R à R2 :

$$\vec{x} = \cos(A).\vec{x}_2 + \cos(h).\sin(A).\vec{y}_2 - \sin(h).\sin(A).\vec{z}_2 \quad \vec{z} = \sin(h).\vec{y}_2 + \cos(h).\vec{z}_2$$

$$\vec{y} = -\sin(A).\vec{x}_2 + \cos(h).\cos(A).\vec{y}_2 - \sin(h).\cos(A).\vec{z}_2$$

Exprimons $\vec{T}(\alpha)$ dans R2 et ne retenons que les coordonnées en x_2 et z_2 . Nous aurons ainsi la projection du vecteur normal au Soleil recherché. Nous l'appellerons $\vec{T}_\perp(\alpha)$

$$\vec{T}(\alpha) = \begin{bmatrix} [\cos(i).\sin(D).\sin(\alpha) + \cos(D).\cos(\alpha)]\cos(A) - [\cos(i).\cos(D).\sin(\alpha) - \sin(D).\cos(\alpha)]\sin(A) \\ [\cos(i).\sin(D).\sin(\alpha) + \cos(D).\cos(\alpha)]\cos(h).\sin(A) + [\cos(i).\cos(D).\sin(\alpha) - \sin(D).\cos(\alpha)]\cosh.\cos(A) - \sin(i).\sin(\alpha).\sin(h) \\ - [\cos(i).\sin(D).\sin(\alpha) + \cos(D).\cos(\alpha)]\sin(h).\sin(A) - [\cos(i).\cos(D).\sin(\alpha) - \sin(D).\cos(\alpha)]\sin(h).\cos(A) - \sin(i).\sin(\alpha).\cos(h) \end{bmatrix}_{R2}$$



Le vecteur tangent au faisceau de lumière solaire (en mauve) est la projection du vecteur tangent à l'ocillon (en rouge) dans un plan perpendiculaire à la direction du Soleil (en jaune). La normale (en turquoise) est, dans ce même plan, le vecteur perpendiculaire.

Soit après simplifications malheureusement minimales :

$$\vec{T}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(D-A).\cos(\alpha) + \cos(i).\sin(D-A).\sin(\alpha) \\ -\sin(D-A).\cos(h).\cos(\alpha) + [\cos(i).\cos(D-A).\cos(h) - \sin(h).\sin(i)]\sin(\alpha) \\ \sin(D-A).\sin(h).\cos(\alpha) + [-\cos(i).\cos(D-A).\sin(h) - \cos(h).\sin(i)]\sin(\alpha) \end{bmatrix}_{R2}$$

Nous trouvons en fin de compte la tangente au faisceau de lumière :

$$\vec{T}_\perp(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(D-A).\cos(\alpha) + \cos(i).\sin(D-A).\sin(\alpha) \\ 0 \\ \sin(D-A).\sin(h).\cos(\alpha) + [-\cos(i).\cos(D-A).\sin(h) - \cos(h)\sin(i)].\sin(\alpha) \end{bmatrix}_{R_2}$$

associée à sa normale⁴

$$\vec{N}_\perp(\alpha) = \vec{T}_\perp(\alpha) \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}_{R_2}$$

$$\vec{N}_\perp(\alpha) = \begin{bmatrix} -\sin(D-A).\sin(h).\cos(\alpha) + [\cos(i).\cos(D-A).\sin(h) + \cos(h)\sin(i)].\sin(\alpha) \\ 0 \\ \cos(D-A).\cos(\alpha) + \cos(i).\sin(D-A).\sin(\alpha) \end{bmatrix}_{R_2}$$

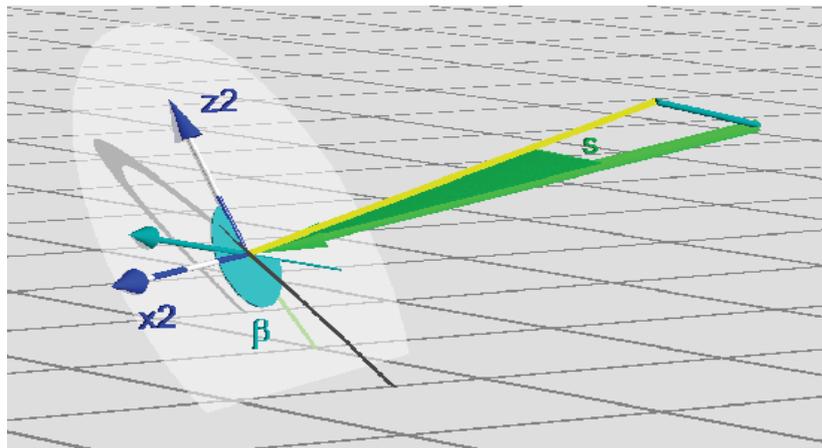
Notons que ces deux vecteurs ne sont pas normés.

Nous pouvons alors l'exprimer dans le repère R, en utilisant les formules de passage décrites plus haut et après avoir simplifié par des identités trigonométriques.

$$\vec{N}_\perp(\alpha) = \begin{bmatrix} -\sin(D).\sin(h).\cos(\alpha) + [\cos(i).\cos(D).\sin(h) + \cos(A).\sin(i).\cos(h)].\sin(\alpha) \\ -\cos(D).\sin(h).\cos(\alpha) + [-\cos(i).\sin(D).\sin(h) - \sin(A).\sin(i).\cos(h)].\sin(\alpha) \\ \cos(h).\cos(D-A).\cos(\alpha) + \cos(h).\cos(i).\sin(D-A).\sin(\alpha) \end{bmatrix}_R$$

Relation œilleton / bord solaire / pourtour de la tache de lumière

Pour tout point du $O(\alpha)$ du bord interne de l'œilleton, le point recherché en bord de la tache de lumière sur le cadran sera celui issue du point $S(\beta)$ du bord solaire et passant par $O(\alpha)$ avant de venir frapper le cadran.



Le vecteur vert est le vecteur directeur de la droite qui passe par le bord de l'œilleton et vient sur le cadran en bord de la tache de lumière.

Les angles α et β sont reliés par⁵ :

⁴ Remarquons que le vecteur normal au Soleil n'est pas la projection dans le plan du vecteur normal à l'œilleton.

⁵ atan est la fonction arctangente, elle comporte une ambiguïté de cadran sur le cercle trigonométrique. De nombreuses applications proposent la fonction atan2 qui, par la connaissance des valeurs algébriques des cotés opposé et adjacent à l'angle permet de lever l'ambiguïté.

$$\beta = 180^\circ + \mathbf{atan}\left[\mathbf{N}_{\perp x2}(\alpha) / \mathbf{N}_{\perp z2}(\alpha)\right]$$

Soit

$$\beta = 180^\circ + \mathbf{atan}\left(\frac{-\sin(D-A).\sin(h).\mathbf{cos}(\alpha) + [\cos(i).\cos(D-A).\sin(h) + \cos(h)\sin(i)].\mathbf{sin}(\alpha)}{\cos(D-A).\mathbf{cos}(\alpha) + \cos(i).\sin(D-A).\mathbf{sin}(\alpha)}\right)$$

Alors que l'angle α balaye l'œilleton les points de bord de la tache de lumière sur le cadran sont les points $C(\alpha)$ appartenant au cadran et à une droite $D(\alpha)$ passant par $O(\alpha)$ et de vecteur directeur $\vec{\text{bord}}(\alpha)$ tel que :

$$\vec{\text{bord}}(\alpha) = -\vec{\text{sun}} + \tan(s) \cdot \frac{\mathbf{N}_{\perp}(\alpha)}{\|\mathbf{N}_{\perp}(\alpha)\|}$$

Application pratique

Considérons un œilleton vertical ($i=90^\circ$) et méridional ($D=0^\circ$). Un tel choix permet de simplifier le vecteur normal associé au faisceau de lumière.

$$\vec{\mathbf{N}}_{\perp}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos(A).\cos(h).\mathbf{sin}(\alpha) \\ -\sin(h).\mathbf{cos}(\alpha) - \sin(A).\cos(h).\mathbf{sin}(\alpha) \\ \cos(A).\cos(h).\mathbf{cos}(\alpha) \end{bmatrix}_{\mathbf{R}}$$

Sa norme est alors

$$\|\mathbf{N}_{\perp}(\alpha)\| = \sqrt{[\cos(A).\cos(h).\sin(\alpha)]^2 + [\sin(h).\cos(\alpha) + \sin(A).\cos(h).\sin(\alpha)]^2 + [\cos(A).\cos(h).\cos(\alpha)]^2}$$

La droite $D(\alpha)$, définie précédemment, est l'ensemble des points vérifiant pour toute valeur de $k(\alpha)$:

$$\begin{bmatrix} x(\alpha) \\ y(\alpha) \\ z(\alpha) \end{bmatrix}_{\mathbf{R}} = \begin{bmatrix} r.\sin(\alpha) \\ 0 \\ r.\cos(\alpha) \end{bmatrix}_{\mathbf{R}} + k(\alpha) \cdot \left(\begin{bmatrix} \sin(A).\cos(h) \\ \cos(A).\cos(h) \\ \sin(h) \end{bmatrix}_{\mathbf{R}} + \frac{\tan(s)}{\|\mathbf{N}_{\perp}(\alpha)\|} \begin{bmatrix} \cos(A).\cos(h).\mathbf{sin}(\alpha) \\ -\sin(h).\mathbf{cos}(\alpha) - \sin(A).\cos(h).\mathbf{sin}(\alpha) \\ \cos(A).\cos(h).\mathbf{cos}(\alpha) \end{bmatrix}_{\mathbf{R}} \right)$$

Comme pour tout point du cadran $z = -H$

$$k(\alpha) = \frac{-H - r.\cos(\alpha)}{-\sin(h) + \frac{\tan(s)}{\|\mathbf{N}_{\perp}(\alpha)\|} \cdot \cos(h).\cos(A).\cos(\alpha)}$$

On en extrait $k(\alpha)$:

$$k(\alpha) = \frac{-H - r \cdot \cos(\alpha)}{-\sin(h) + \frac{\tan(s)}{\|N_{\perp}(\alpha)\|} \cdot \cos(h) \cdot \cos(A) \cdot \cos(\alpha)}$$

Ce qui nous donne au final les coordonnées $x(\alpha)$ et $y(\alpha)$ des points du bord de la tache de lumière.

$x(\alpha)$ et $y(\alpha)$ sont à reporter depuis une origine sur le cadran située au pied de l'œilleton.

Soit, par exemple, pour un œilleton de $r = 1\text{ cm}$ à une hauteur $H = 100\text{ cm}$, pour un Soleil d'azimut $A = 60^\circ$ et de hauteur $h = 25^\circ$:

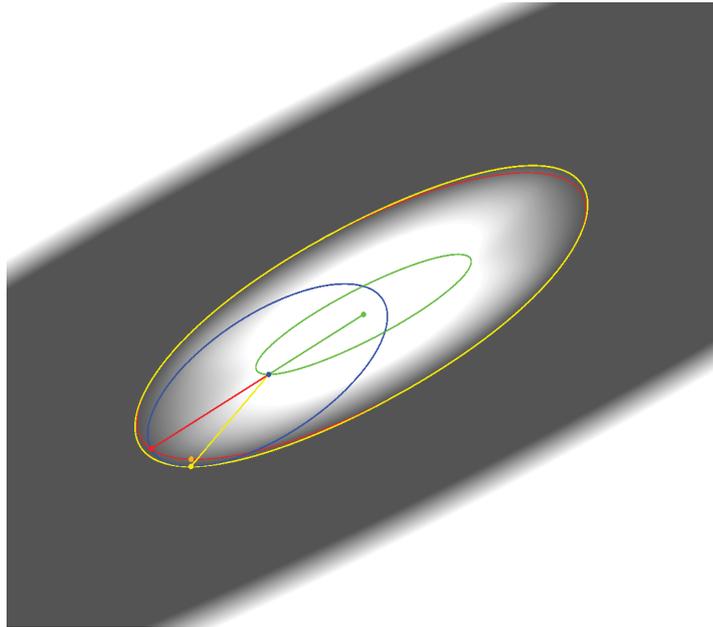
α	$\ N_{\perp}(\alpha)\ $	$k(\alpha)$	$x(\alpha)$ cm	$y(\alpha)$ cm
0°	0.619641	2.40927	-189.1	-109.9
20°	0.805197	2.40243	-188.0	-109.8
40°	0.944119	2.39402	-186.9	-109.5
60°	0.999650	2.38398	-185.8	-109.0
80°	0.960028	2.37245	-184.7	-108.5
100°	0.833518	2.35964	-183.6	-107.8
120°	0.651742	2.34539	-182.6	-107.1
140°	0.487879	2.32982	-181.6	-106.0
160°	0.471071	2.32086	-181.5	-104.9
180°	0.619641	2.32382	-182.4	-104.6
200°	0.805197	2.33039	-183.5	-104.7
220°	0.944119	2.33861	-184.5	-105.0
240°	0.999650	2.34851	-185.6	-105.4
260°	0.960028	2.35996	-186.7	-106.0
280°	0.833518	2.37278	-187.8	-106.6
300°	0.651742	2.38717	-188.9	-107.4
320°	0.487879	2.40316	-189.9	-108.5
340°	0.471071	2.41245	-190.1	-109.6

Analyse critique

Sans prendre en considération ces subtilités compliquant grandement la mise en équation du problème, il est possible de se borner à considérer le point du pourtour de la tache de lumière comme issu de rayons partant des points du bord solaire $S(180+\alpha)$ et passant par les points $O(\alpha)$ du bord de l'œilleton⁶. Quelle sera alors l'erreur commise ?

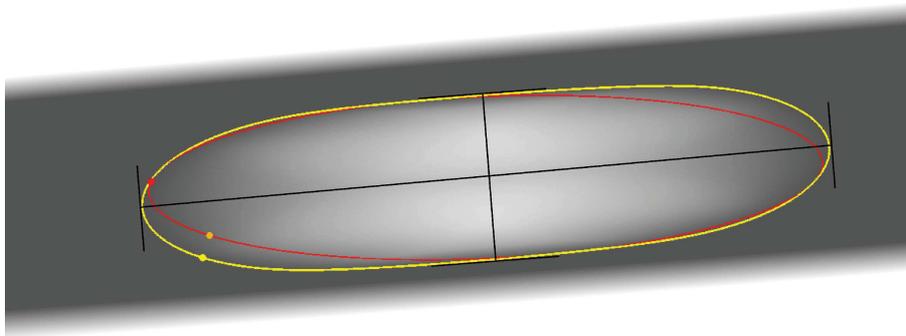
Avec cette méthode les deux points de bord de tache calculés pour un $O(\alpha)$ donné peuvent différer sensiblement (de l'ordre de 1 cm pour une tache de lumière d'une envergure d'environ 10 cm sur 3 cm dans l'exemple précédent). Mais les taches ne s'écartent pas trop l'une de l'autre car à un point calculé pour $O(\alpha_1)$ donné d'une des théories, un point pour $O(\alpha_2)$ de l'autre reste toujours très proche (de l'ordre du mm sur le même exemple). Ce qui donne, au regard de la taille, de la tache une erreur relative ridicule.

⁶ En référence au modèle de Denis Savoie, « Œilleton, tache de lumière et méridienne », *CadranInfo* n° 13, mai 2006, p. 87-93.



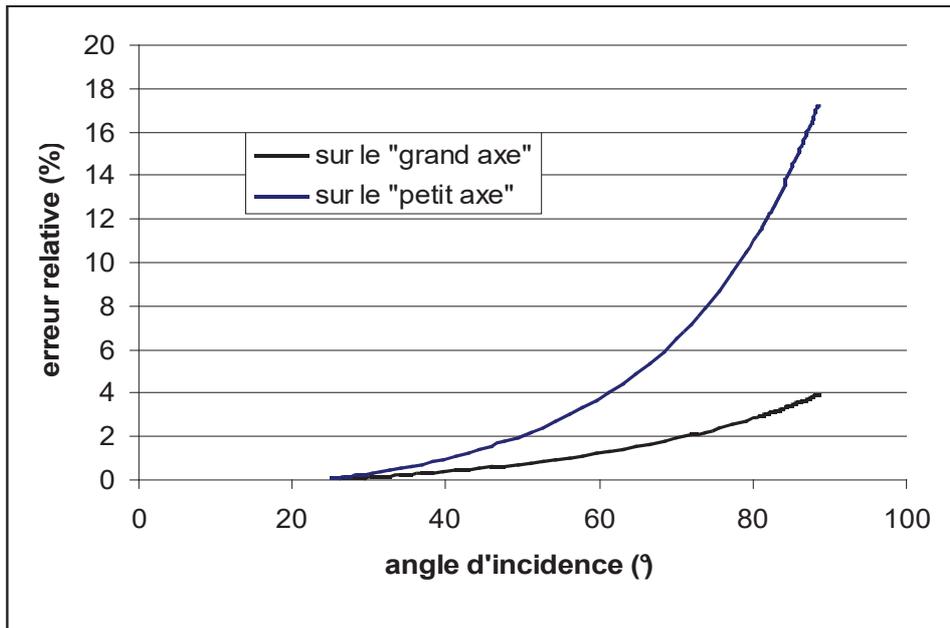
En théorie l'écart devrait être assez grand : pour un point du bord de l'œilleton le point jaune de la présente théorie s'éloigne considérablement du point rouge déterminé avec la méthode simplifiée donnant une ellipse (en rouge). Mais globalement, les deux taches diffèrent peu car un autre point orange de l'ellipse issu d'un point différent du bord de l'œilleton reste à proximité de ce point jaune.

Pour que l'effet devienne sensible il faut se retrouver dans des conditions extrêmes.

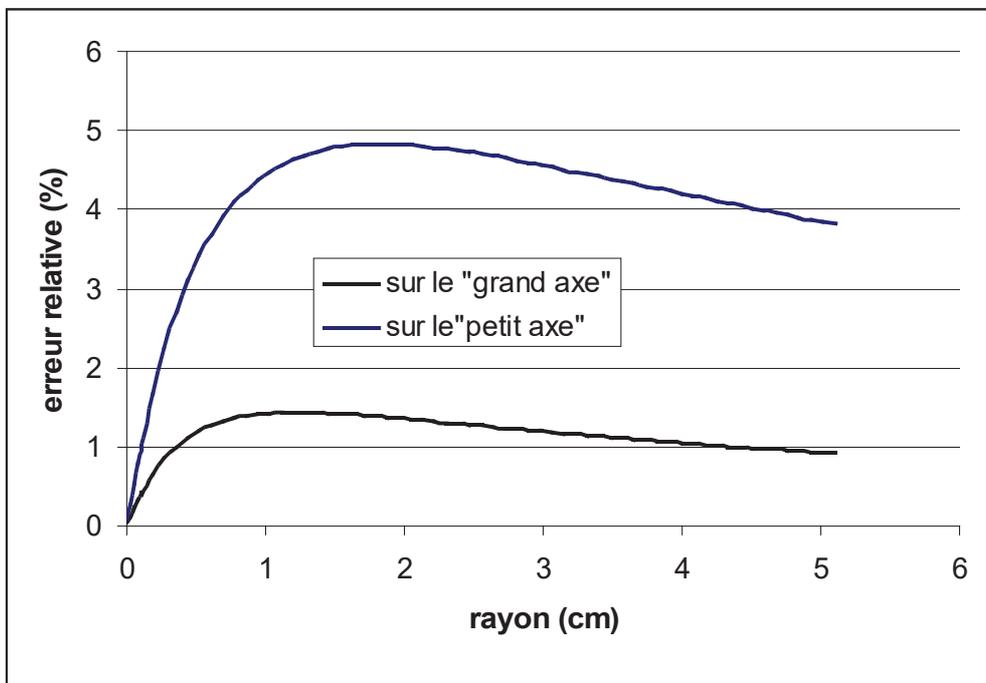


Dans cet exemple où l'angle d'incidence entre la normale à l'œilleton et la direction du Soleil est de 85° , la déformation est nettement plus sensible l'écart atteint 3,4 mm. On peut le comparer soit au «grand axe» de 10 cm, soit au «petit axe» de 3,4 cm de la tache de lumière.

Il est évident que l'angle entre la normale à l'œilleton et la direction du Soleil est le facteur primordial. Si nous reprenons notre exemple en faisant varier pour un œilleton de 1 cm, l'azimut du Soleil (et par voie de conséquence l'angle d'incidence des rayons solaires sur l'œilleton), on notera des erreurs relatives appréciables pour des angles extrêmes.



La taille de l'ocillon joue cependant un rôle. Un sténopé idéal ne donne aucun écart. Une taille d'ocillon trop grande masquera pour sa part les effets du diamètre apparent du Soleil. Si nous nous fixons maintenant un angle d'incidence donné (celui de l'exemple : 63°) et que l'on fait varier le diamètre de l'ocillon, il apparaît clairement un rayon d'ocillon critique pour lequel l'effet observé est amplifié.

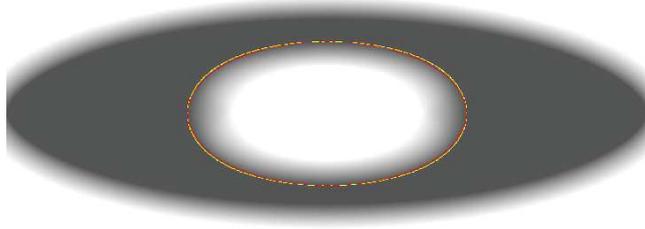


Le « grand axe » de la tache et le « petit axe » variant d'une façon non proportionnelle à mesure que le rayon de l'ocillon augmente on constate que le rayon critique dépend de la référence que l'on prend pour estimer l'erreur relative.

En conclusion

Ce qui précède ne doit pas faire oublier le caractère futile de la recherche d'une telle précision sur la lecture d'un cadran solaire. Même si le pourtour de la tache, comme nous l'avons vu n'est pas rigoureusement une ellipse, les conséquences en sont plus que négligeables. Sur un cadran solaire classique à œillette la forme de la tache n'interfère en rien sur la lecture de l'heure donnée par le centre de la tache. Des conséquences pourraient être recherchées sur des méridiennes de temps vrai marquant les solstices par le bord supérieur ou inférieur du Soleil.

Or ces méridiennes adoptent des œillets horizontaux, verticaux plein sud ou encore polaire. Les déformations entre la forme de la tache de lumière et celle d'une ellipse ne concernent alors pas les régions des bords supérieur et inférieur, ni même oriental et occidental du Soleil.



Sur une méridienne, la tache de lumière s'écarte peu d'une ellipse. Les régions des bords du Soleil supérieur (à gauche), inférieur (à droite), oriental (en haut) et occidental (en bas) ne sont pas affectées. Seules les régions intermédiaires le sont.

Par amusement, nous pouvons être tentés de traquer certaines méridiennes dont la précision serait en théorie altérée par la forme réelle de la tache de lumière. C'est par exemple le cas de la récente méridienne de la Chiesa della Madonna della Visitazione à Perinaldo en Italie. Cette dernière propose d'estimer l'heure séparant l'équinoxe de printemps ou d'automne par une lecture du bord supérieur ou inférieur du Soleil sur des réglettes graduées de part et d'autre de la méridienne vraie. La lecture ne s'effectuant pas sur la méridienne elle-même, la forme de la tache de lumière devrait être altérée. Mais autant en être conscient, l'écart théorique est infinitésimal et ne fausse en aucune manière la lecture.



Il n'est pas non plus inutile de préciser que dans cette étude la limite de la tache de lumière a été prise au sens strict du terme, c'est-à-dire en limite théorique de la pénombre. On sait cependant pertinemment que cette frontière théorique n'est pas celle qu'appréciera l'œil.





Ouilleton elliptique à Loupian

Par Denis Savoie

Au mois de janvier 2011, l'artiste islandais Sigurdur Arni Sigurdsson¹ est venu me trouver pour son projet d'une méridienne placée dans un collège à Loupian, petite ville située près de l'étang de Thau à côté de Sète.

Son idée était la suivante : un mur épais, légèrement orienté Sud-Est, doit comporter une ouverture d'une certaine forme, de façon à ce qu'à midi vrai, le jour des équinoxes, l'image du Soleil au sol soit un cercle parfait de 50 cm de diamètre. Quelles sont les dimensions et les caractéristiques de cet ouilleton ?

On sait que l'image d'un ouilleton circulaire au sol éclairé par le Soleil est une ellipse, dont on sait calculer les dimensions. Mais la réciproque est beaucoup plus ardue, d'autant plus qu'ici deux paramètres viennent compliquer le problème : l'ouilleton est déclinant et possède une épaisseur importante. Pour être tout à fait précis, il faut aussi tenir compte de la réfraction et du diamètre du Soleil. Enfin ultime contrainte : la méridienne devait être terminée pour l'équinoxe de printemps.

Intuitivement, on imagine que seul un ouilleton elliptique va engendrer au sol une tache circulaire. Il faut donc en établir la théorie avec un Soleil possédant un diamètre apparent puis chercher ses dimensions afin qu'il engendre un cercle à midi aux équinoxes.

1 – Théorie d'un ouilleton elliptique

Imaginons un mur sans épaisseur, de déclinaison gnomonique D , percé d'un trou elliptique incliné d'un angle i par rapport à la verticale passant par son centre K (fig. 1).

L'inclinaison est comptée positivement dans le sens trigonométrique pour un observateur regardant l'ouilleton depuis le Sud.

L'ellipse est définie par son demi-grand axe a et son demi-petit axe b . Pour repérer un point K' qui se déplace sur l'ellipse dans le sens trigonométrique (mêmes conditions que pour i), on utilise un angle α' , compté depuis l'axe des y_v (dirigé vers le zénith) coïncidant avec le demi-petit axe. La distance r de ce point au centre de

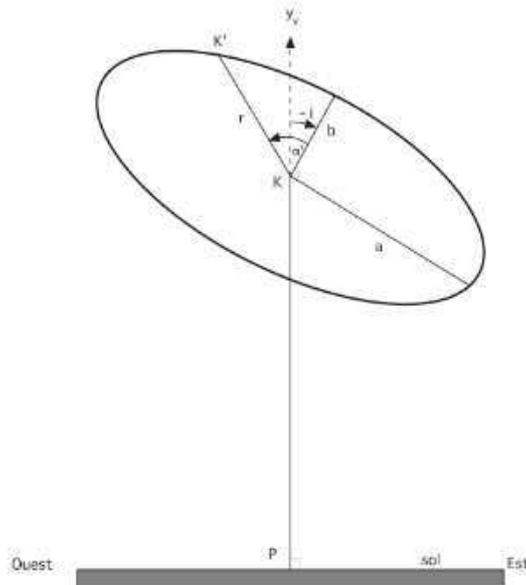


Fig. 1 : paramètres d'un ouilleton elliptique

¹ <http://www.sigurdurarni.com/>

l'ellipse est donnée par :

$$r = \sqrt{\frac{a^2 b^2}{b^2 \sin^2 a \phi + a^2 \cos^2 a \phi}}$$

Rappelons que $b = a\sqrt{1 - e^2}$, où e est l'excentricité de l'ellipse. Cette formule sera utile par la suite. Le principe du calcul est de balayer le pourtour de l'ellipse par une droite issue du Soleil, passant par l'œilleton et interceptant le sol où elle forme une tache.

Appelons PK la hauteur du centre de l'œilleton au-dessus du sol et faisons passer par P un système d'axes, les x étant dirigés vers l'Est et les y vers le Nord. C'est depuis P que sont calculées les coordonnées x et y de l'enveloppe de la tache.

On calcule celles-ci par :

$$x = [\text{PK} + r \cos(\alpha' + i) \cot h'_v \sin \Delta A] - [r \sin(\alpha' + i) \cos D]$$

$$y = [\text{PK} + r \cos(\alpha' + i) \cot h'_v \cos \Delta A] + [r \sin(\alpha' + i) \sin D]$$

Les quantités h'_v et ΔA sont respectivement la hauteur apparente du Soleil (affectée de la réfraction et du demi-diamètre solaire) et l'azimut d'un bord du Soleil².

Rappels : soit R le demi-diamètre du Soleil ; aux équinoxes on a $R = 0^\circ 16' 4''$. On appelle h la hauteur du photocentre du Soleil, h_v sa hauteur apparente (c'est-à-dire affectée par la réfraction) et h'_v la hauteur apparente d'un bord du Soleil.

$$h_v = h + \text{réfra} \quad h'_v = h_v + R \cos \alpha \quad \alpha = \alpha' - 180^\circ.$$

La réfraction, en minute de degré, se calcule par : $\text{refra} = 1.02 / [\tan(h + 10.3 / (h + 5.11))]$

Enfin on a :

$$\cos \Delta A = (\cos R - \sin h_v \sin h'_v) / (\cos h_v \cos h'_v)$$

Si l'on travaille avec un Soleil ponctuel, il suffit de faire $R = 0^\circ$. De plus, comme on cherche ici la hauteur h du Soleil à midi vrai aux équinoxes, on a $h = 90^\circ - \phi$.

Exemple : prenons à une latitude $\phi = 43^\circ 27'$ un œilleton dont le centre PK = 430 cm de haut sur un mur déclinant de -40° avec une inclinaison de $-47^\circ,4083$. Prenons comme dimensions de l'ellipse $a = 43$ cm et $b = 20,02$ cm et travaillons avec un Soleil ponctuel non réfracté (donc $\Delta A = 0^\circ$). Pour $\alpha' = 190^\circ$, on obtient : $h'_v = 46^\circ,55$ et $r = 20,26068$.

D'où $x = -9,4286$ cm et $y = 384,185$ cm

2 – Calcul de l'œilleton de Loupian

Les paramètres de la méridienne de Loupian sont les suivants :

Latitude = $43^\circ 26' 53''$

Hauteur du mur = 360 cm

Epaisseur du mur = 34 cm

² Voir le nouvel article de D. Savoie dans ce Cadran-Info n° 24: «Œilleton et tache de lumière ». Ce dernier remplace « Œilleton, tache de lumière et méridienne », paru dans Cadran-Info n° 13, mai 2006, p. 87-93. Dans cette première édition, une faute de frappe entraîne la confusion entre la réfraction et le demi-diamètre du Soleil. Les formules données sont cependant tout à fait valables pour calculer les dimensions d'une tache de lumière issue d'un œilleton sauf dans les cas limites où le Soleil fait un angle de 80° avec la normale à l'œilleton.

Déclinaison gnomonique = $-15^{\circ} 49'$



◀ Fig. 2 : coffrage du mur et emplacement du cylindre

Fig. 3 : gabarit du cylindre elliptique incliné ▶



Pour rechercher les dimensions de l'œilleton afin qu'il produise une tache de 25 cm de rayon, il faut utiliser la puissance de calcul d'un ordinateur et procéder par approximations. Bien entendu, on doit tâtonner au début pour entrer des valeurs d'amorçage a_0 , e_0 et i_0 , en partant du principe que pour une valeur du demi-grand axe, on va faire varier l'excentricité et toujours pour la même valeur, l'inclinaison.

On doit faire :

$$a = a_0 + 0,005; \quad e = e_0 + 0,005; \quad i = i_0 + 1'$$

On obtient donc, pour une itération, c'est-à-dire pour un balayage de l'œilleton elliptique en α' de 1° en 1° , les valeurs de x et de y ; on doit d'ailleurs modifier y en le rapportant au centre théorique de la tache, en faisant $(y - a \operatorname{tg} \phi)$. Appelons dR la différence entre le rayon du cercle calculé et le rayon du cercle théorique : tant que $dR + |x^2 + y^2 - 25| < 10$, l'itération doit continuer. On peut bien entendu affiner de plus en plus le pas des quantités a_0 , e_0 et i_0 .

Pour Loupian, on a ainsi calculé³ que : $a = 28,4 \text{ cm}$; $b = 21,083 \text{ cm}$; $i = -50^{\circ},728$ avec le centre de l'ellipse placé à 285 cm du sol.

Il a ensuite fallu déterminer les dimensions et la position du cylindre elliptique incliné qui traverse le mur, et donner au géomètre toutes les valeurs pour l'implantation définitive de la tache circulaire au sol. On a également utilisé une des arêtes du mur qui projette un rideau d'ombre, lequel indique au sol le solstice d'hiver et le solstice d'été.

Finalement tout a été fini dans les délais et le 20 mars 2011, jour de l'équinoxe, *Sigurdur Arni Sigurdsson* a pu vérifier devant un aréopage d'élèves et de professeurs que la tache de lumière était parfaitement circulaire à midi vrai et recouvrait parfaitement le motif dessiné au sol⁴.

³ Les calculs ont été faits en incluant la réfraction et le diamètre apparent du Soleil.

⁴ Le problème que l'on peut observer sur ce type de tache solaire est un léger décalage en ordonné ; car l'instant de l'équinoxe ne tombe pas, sauf exception, à midi vrai local, de sorte que la déclinaison du Soleil a le temps de filer ($1'$ par heure). La déclinaison du Soleil peut ainsi valoir près de $\pm 0^{\circ} 12'$ à midi vrai, ce qui explique le non-recouvrement parfait du motif au sol.

Je remercie très chaleureusement Gérard Baillet et Marc Goutaudier pour leurs vérifications avec Pov-Ray et pour les nombreux échanges que nous avons eus dans ce périple sur la théorie des œilletons.



Fig. 5 : détail de l'œilleton tapissé de mosaïque



Fig. 6 : repère au sol en mosaïque de la tache de lumière aux équinoxes



Fig. 4 : méridienne terminée. On voit nettement au sol les repères du rideau d'ombre aux solstices

Toutes les photos sont de *Sigurdur Arni Sigurdsson*)





Oeilleton, Ombre, Pénombre

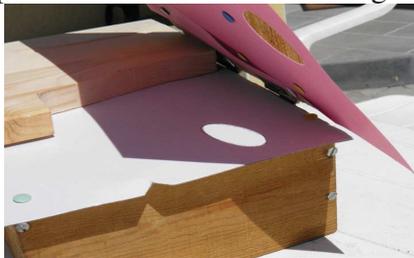
Par Gérard Baillet

L'étude porte sur la forme de la tache de lumière et sa visibilité.



Photos d'un montage rapidement bricolé permettant l'étude de la tache projetée

par un trou sous différents angles.



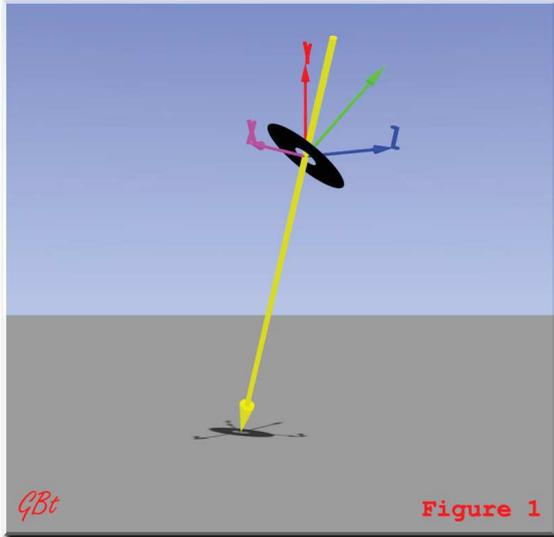
<<A chaque changement d'angle on déplace la boîte pour superposer l'ellipse. Pas très facile car le carton se tortille et la charnière n'est pas exactement à l'intersection des plan.... mais ça fonctionne>>.

Détail des points abordés:

- 1 Définition du problème traité
- 2 Forme de la tache (approche sommaire)
 - 2.1 Première méthode
 - 2.1.1 Cas 1
 - 2.1.2 Cas 2
 - 2.1.3 Cas 3
 - 2.2 Deuxième méthode
 - 2.2.1 Cas 1
 - 2.2.2 Cas 2
 - 2.2.3 Cas 3
 - 2.3 Première conclusion
- 3 Forme de la tache avec un gros trou
 - 3.1 Écran perpendiculaire
 - 3.2 Inclinaison $56,6^\circ$
 - 3.3 Première inclinaison caractéristique ($23,2^\circ$)
 - 3.4 inclinaison $16,1$
 - 3.5 Deuxième inclinaison caractéristique ($8,9^\circ$)
 - 3.6 dernière inclinaison ($4,5^\circ$)
- 4 Forme de la tache avec un petit trou
 - 4.1 Écran perpendiculaire
 - 4.2 Inclinaison intermédiaire ($57,7^\circ$)
 - 4.3 Inclinaison caractéristique ($25,4^\circ$)
 - 4.4 autre inclinaison
- 5 Éclairement de la tache
 - 5.1 Éclairement avec un gros trou
 - 5.1.1 Écran perpendiculaire
 - 5.1.2 Première inclinaison caractéristique
 - 5.1.3 Deuxième inclinaison caractéristique
 - 5.1.4 Inclinaison importante
 - 5.2 Éclairement avec un petit trou
 - 5.2.1 Écran perpendiculaire
 - 5.2.2 Inclinaison caractéristique
 - 5.3 éclairement avec une position quelconque du soleil.

1 Définition du problème traité

Les trois objets utilisés sont :



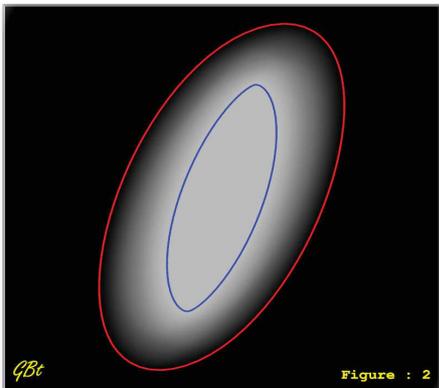
- La source de lumière : Le soleil
- Un écran percé d'un trou circulaire : l'œilton
- Une surface plane où se forme une tache de lumière engendrée par le trou éclairé par le soleil

L'étude porte sur la forme de la tache de lumière et sa visibilité.

La figure 1 représente le dispositif utilisé.

La flèche jaune désigne le trajet d'un rayon du soleil, la flèche verte la normale à l'écran et les trois coordonnées x, y, z

2 Forme de la tache (approche sommaire) voir figure 2



Les expériences montrent que la tache étudiée comprend 3 zones :

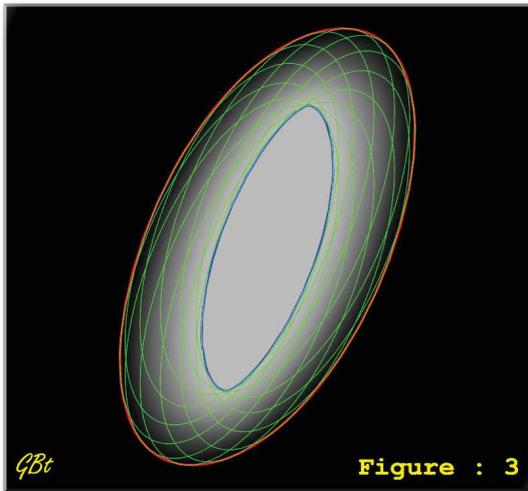
1. à l'intérieur de la limite bleu deux cas se présentent :
 - une zone à éclairage uniforme
 - une zone à éclairage variable
2. entre la limite bleu et rouge une zone de pénombre à éclairage variable.
3. à l'extérieur de la limite rouge une zone dans l'ombre de l'écran.

La définition de la forme porte sur l'étude des limites telles que définies plus haut. Dans la suite nous nous limiterons à donner les méthodes utilisables en informatique pour établir la forme de ces limites.

.....2.1 Première méthode

Elle consiste à disposer à la périphérie du soleil des sources ponctuelles. Chaque source éclaire le récepteur avec une tache lumineuse, définie par le trou. La source ponctuelle donne une tache elliptique à bord net, on néglige la diffraction.

.....2.1.1 Cas 1



Voir figure 3

Si une zone est recouverte par toutes les taches on peut dire que depuis cette zone on voit le soleil en entier, la zone aura alors un éclairage uniforme.

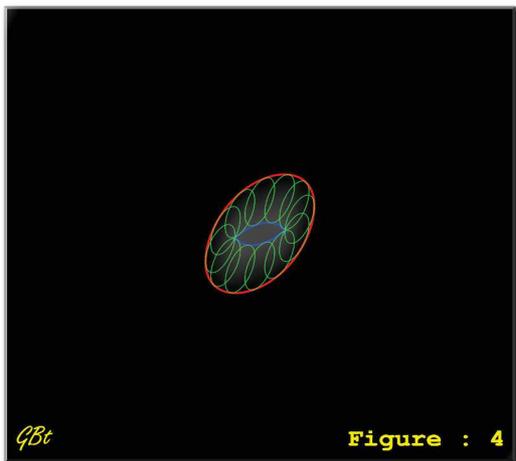
La zone couverte par une partie des taches sera la pénombre à éclairage variable.

la zone où il n'y a pas de tache est dans l'obscurité.

Les limites de quelques taches de lumières sont représentées par des ellipses vertes.

Sur la figure 3 il s'agit d'un trou de grande dimension.

.....2.1.2 Cas 2



Voir figure 4

Il s'agit du cas où le trou est plus petit.

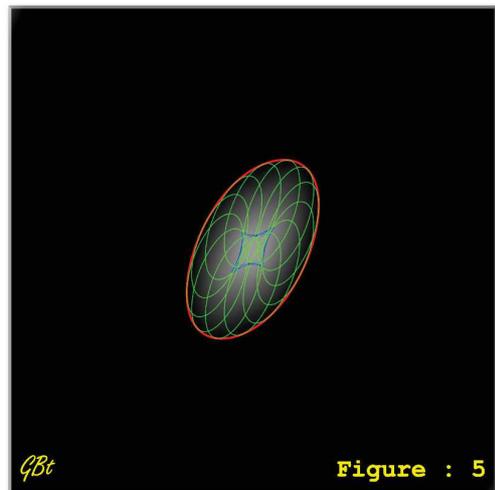
Un observateur dans la zone limitée par la ligne bleue voit une partie du soleil limitée par le trou, mais il ne voit pas les bords du soleil. Comme la surface du soleil est (au premier ordre) fixe l'éclairement est constant

Dans la zone entre la ligne bleue et la ligne rouge l'observateur voit une partie du bord du soleil, le soleil n'est pas vu en entier la vue est limitée par les bords du trou. Il s'agit d'une zone de pénombre variable

.....2.1.3 Cas 3

Voir figure 5

Pour un trou de dimension intermédiaire toute la zone à l'intérieur de la ligne rouge est parcourue par les tache. L'observateur voit une partie du bord du soleil, le soleil n'est pas vu en entier la vue est limitée par les bords du trou. Il s'agit d'une zone de pénombre variable



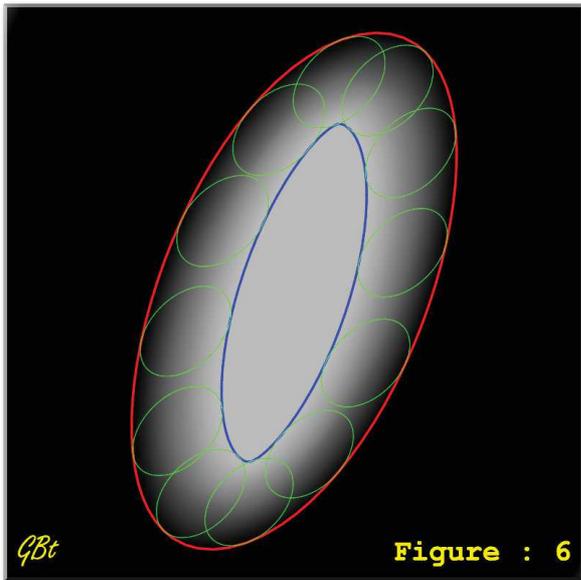
.....2.2 Deuxième méthode

Elle consiste à disposer au bord du trou une suite de sténopés. (Sténopé : dispositif formé par un petit trou qui forme une image, un peu à la manière d'une lentille convergente).

Cette suite de sténopés donne sur le récepteur une suite d'images du soleil.

Ces images peuvent former trois zones différentes.

.....2.2.1 Cas 1



Voir figure 6

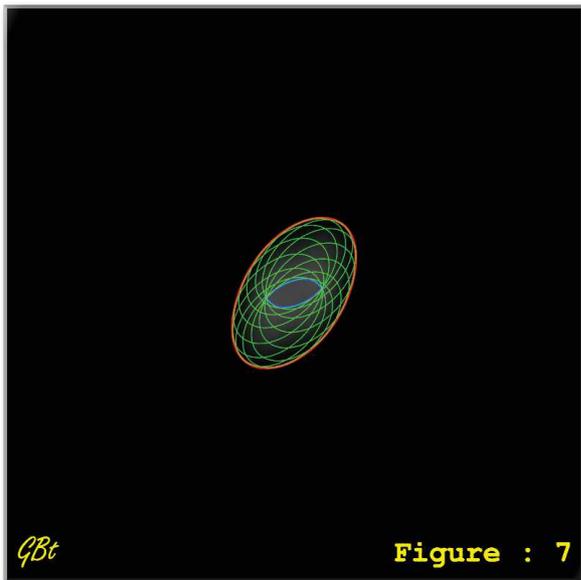
Trou de grande dimension identique à celui décrit dans le paragraphe 2.1.1.

la zone à l'intérieur de la ligne bleue voit le soleil en entier

la zone entre la ligne bleue et la ligne rouge voit le bord du trou devant le soleil, il se forme alors la pénombre de luminosité variable.

La zone externe à la ligne rouge ne voit pas le soleil.

.....2.2.2 Cas 2



Voir figure 7

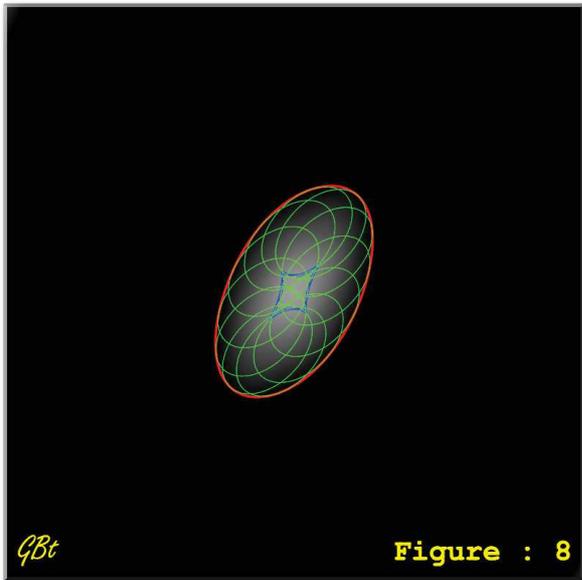
Trou de grande dimension identique à celui décrit dans le paragraphe 2.1.2

La zone centrale limitée par la ligne bleue est couverte par toutes les images données par les sténopés, voit une portion du soleil de dimension fixe, limitée par les bords du trou (le soleil est apparemment plus grand que le trou)

La zone entre la ligne bleue et la ligne rouge voit une partie variable du soleil elle donne une pénombre d'éclairement variable.

La zone externe à la ligne rouge ne voit pas le soleil.

.....2.2.3 Cas 3



Voir figure 8

Il s'agit d'un trou de taille intermédiaire et les remarques sont identiques à celle du paragraphe 2.1.3

.....2.3 Première conclusion

A partir du paragraphe 2.2.1 on peut dire que pour un gros trou la pénombre est définie par la dimension angulaire du soleil.

Alors que pour un petit trou on peut dire que la pénombre est définie par la dimension du trou voir paragraphe 2.1.2

3 Forme de la tache avec un gros trou

Dans l'étude qui suit on utilise les valeurs suivantes

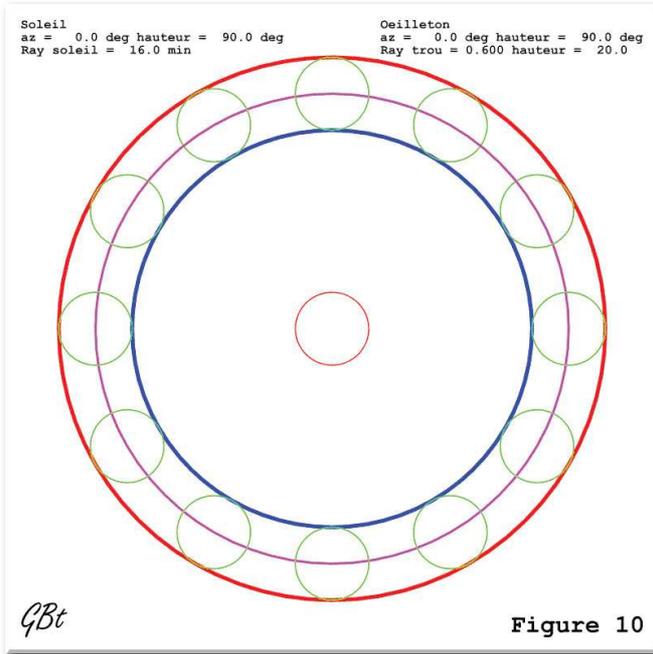
- La droite qui passe par le centre de l'écran et le centre du soleil est perpendiculaire au plan du récepteur,
- Si un observateur se place au centre de la tache sur le récepteur, si l'écran est perpendiculaire à la ligne écran-soleil, et regarde le soleil il voit le soleil en entier, (la dimension angulaire du trou est plus grande que celle du soleil)

L'étude portera sur la forme de la limite interne en bleu sur les figure précédentes.

Les limites sont les enveloppes de famille de courbes . Ces famille de courbes sont définies de deux manières différentes voir les paragraphes Erreur : source de la référence non trouvée et , elles donnent naturellement le même résultat.

Dans la suites l'angle entre la direction écran-soleil et la normale à l'écran variera progressivement et nous indiqueront les éléments qui définissent certaines formes caractéristiques.

.....3.1 Écran perpendiculaire.



Quelques définitions des éléments de l'image (voir figure 10)

Le petit cercle rouge au centre est l'image du soleil fourni par un sténopé au centre de l'écran.

Le cercle magenta (entre les cercles rouge et bleu) est l'image de l'écran donnée par une source ponctuelle au centre du soleil.

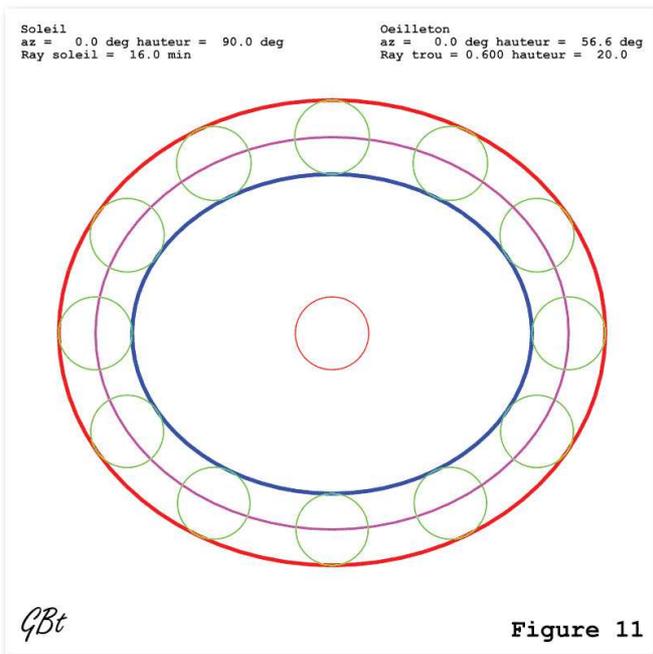
Les petit cercles verts sont les images du soleil par des sténopés à la périphérie du trou de l'écran. Le grand cercle rouge est l'enveloppe de cette famille de courbes à l'extérieur, alors que le cercle bleu est l'enveloppe interne de cette famille de courbes.

Sur l'image en haut à droite dans la rubrique « Oeilleton » [az] est l'azimut

de la normale à l'écran et [hauteur] la hauteur de la normale à l'écran au dessus de l'horizon, (le récepteur est horizontale).

.....3.2 Inclinaison 56,6°

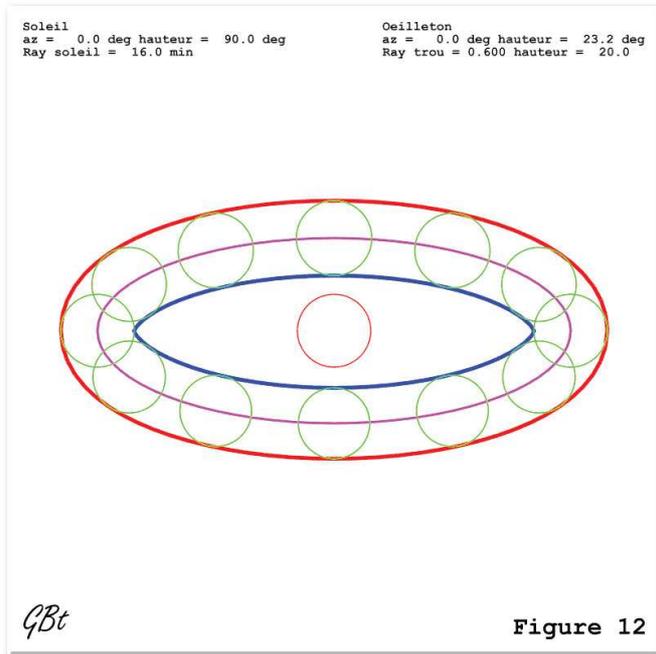
Voir figure 11



Pour l'inclinaison donnée on voit la déformation en ellipse des cercle.

.....3.3 Première inclinaison caractéristique (23,2°)

Voir figure 12



L'élément caractéristique de cette inclinaison est l'apparition de deux angles vifs aux extrémités horizontales de la courbe bleue.

Cause de la présence de ces angle vifs :

Egalité des rayons de courbures aux deux points placés aux extrémités horizontales du cercle magenta (voir) sont égaux au rayon du petit cercle rouge au centre.

Le rayon de courbure de l'ellipse est donné par :

<http://www.mathcurve.com/courbes2d/ellipse/ellipse.shtml>

$$R = \left(\frac{a^2}{b}\right) \times [1 - (e^2 \times \cos(t)^2)]^{3/2}$$

R = rayon de courbure; a = demi grand axe; b = demi petit axe;
e = excentricité; t= angle entre l'axe horizontal et le point de l'ellipse

avec :

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

dans le cas qui nous intéresse on pose ;

t = 0; a = 1; b = cos(i) avec i angle entre la normale à l'écran et la droite écran-soleil (la hauteur affichée sur les images vaut : [90 - i])

$$e = \sin(i)$$

On obtient alors pour 0 <= i <= 90:

On obtient le rayon de courbure : R = cos(i)²

Et pour une ellipse de même excentricité et de demi grand axe : [a]

$$R = a \times \cos(i)^2$$

Formule 1

Soit :

$a = 0,6$; d = distance récepteur écran (20); rs = le rayon angulaire du soleil (16/60 en degrés); $rsol$ = le rayon du soleil image dans le plan du récepteur

On a alors :

$$rsol = d \times \tan(rs)$$

Formule 2

Pour remplir la condition il faut $R = rsol$ à partir des formules 1 & 2 on trouve i il faut :

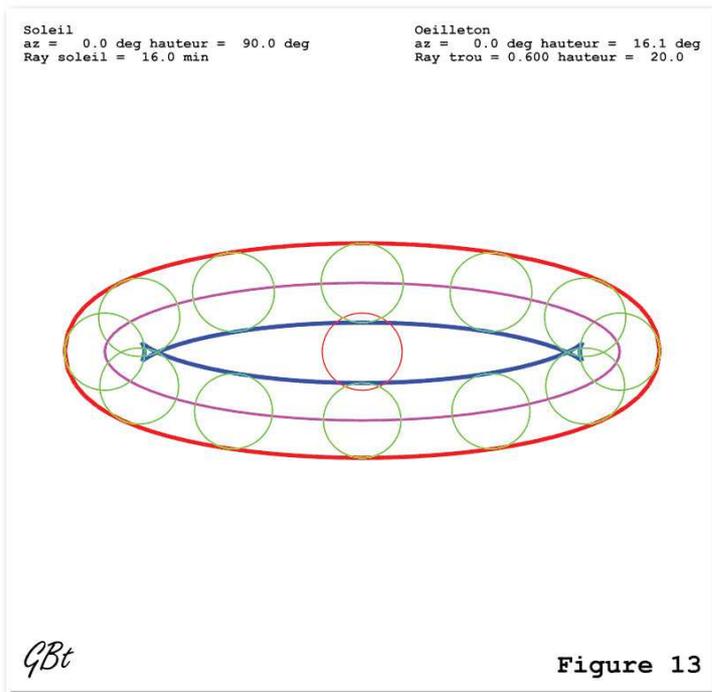
$$i = \arccos\left(\sqrt{\frac{d \times \tan(rs)}{a}}\right)$$

soit :

h hauteur angulaire de la normale à l'écran sur l'horizon

$$h = 90 - i$$

.....3.4 inclinaison 16,1

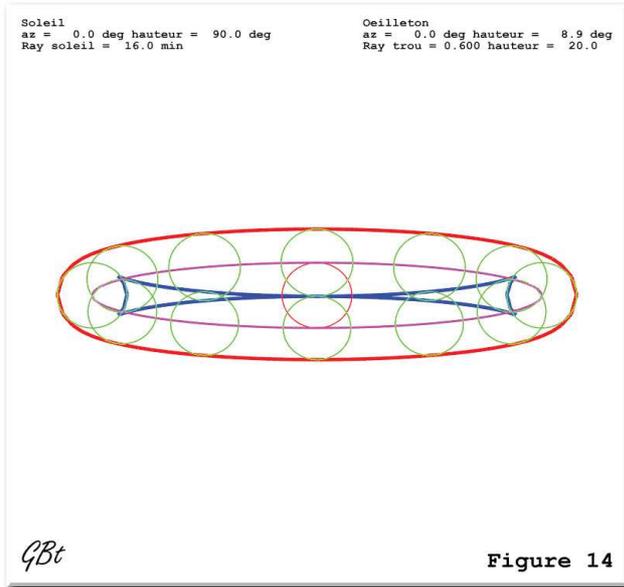


Voir figure 13

Pour une inclinaison plus faible la courbe bleue présente deux croisement et quatre points de rebroussement.

Les petites zones comprises entre un croisement et deux points de rebroussement proche sont traversées par les limites (vertes) des projection du soleil. Elles sont donc des zones de pénombre à luminosité variable.

.....3.5 Deuxième inclinaison caractéristique (8,9°)



Voir figure 14

A partir de cette inclinaison il n'y a plus de zone à éclairage constant.

Dans ce cas le petit cercle rouge image du soleil au centre est tangent à l'ellipse magenta image du trou.

Avec les notations du paragraphe Erreur : source de la référence non trouvée on a :

$$b = rsol$$

ou avec :

$$b = a \times \cos(i)$$

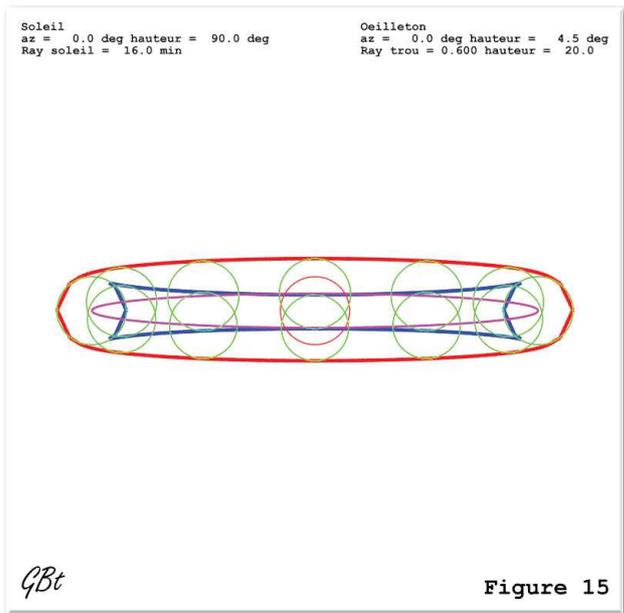
$$rsol = d \times \tan(rs)$$

d'ou :

$$i = \arccos\left(\frac{d \times \tan(rs)}{a}\right)$$

h = hauteur angulaire de la normale à l'écran sur l'horizon $h = 90 - i$

.....3.6 dernière inclinaison (4,5°)



Voir figure 15

Dans ce cas il n'y a que de la pénombre à luminosité variable.

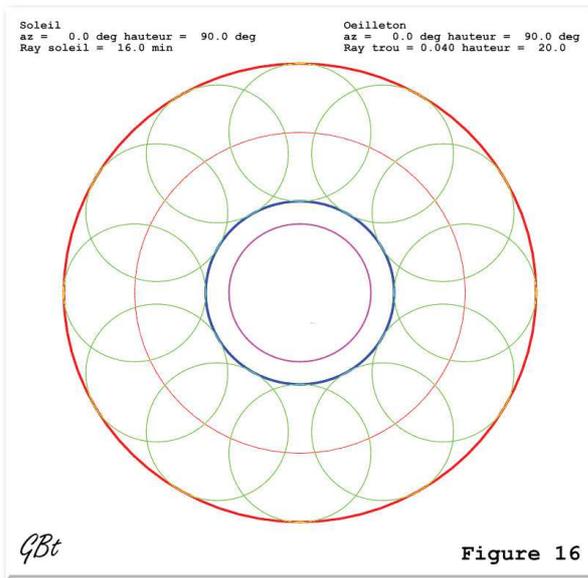
4 Forme de la tache avec un petit trou

Dans l'étude qui suit on utilise les valeurs suivantes

- La droite qui passe par le centre de l'écran et le centre du soleil est perpendiculaire au plan du récepteur,
- Si un observateur se place au centre de la tache sur le récepteur, si l'écran est perpendiculaire à la ligne écran-soleil, et regarde le soleil il ne voit pas le soleil en entier, (la dimension angulaire du trou est plus petite que celle du soleil)

Autres remarques comme au paragraphe 3.

.....4.1 Écran perpendiculaire



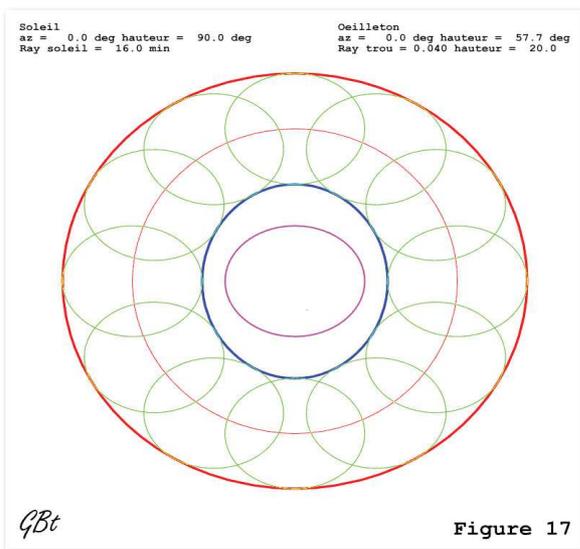
Quelques définitions des éléments de l'image (voir figure 16)

Le cercle rouge entre les cercles bleu et rouge externe est l'image du soleil fourni par un sténopé au centre de l'écran.

Le petit cercle magenta au centre est l'image de l'écran donnée par une source ponctuelle au centre du soleil.

Les petit cercles verts sont les images du trou par des sténopés à la périphérie du soleil. Le grand cercle rouge est l'enveloppe de cette famille de courbes à l'extérieur, alors que le cercle bleu est l'enveloppe interne de cette famille de courbes.

Sur l'image en haut à droite dans la rubrique « Oeilleton » [az] est l'azimut de la normale à l'écran et [hauteur] la hauteur de la normale à l'écran au dessus de l'horizon, (le récepteur est horizontale).



.....4.2 Inclinaison intermédiaire (57,7°)

Voir figure 17

.....4.3 Inclinaison caractéristique (25,4°)

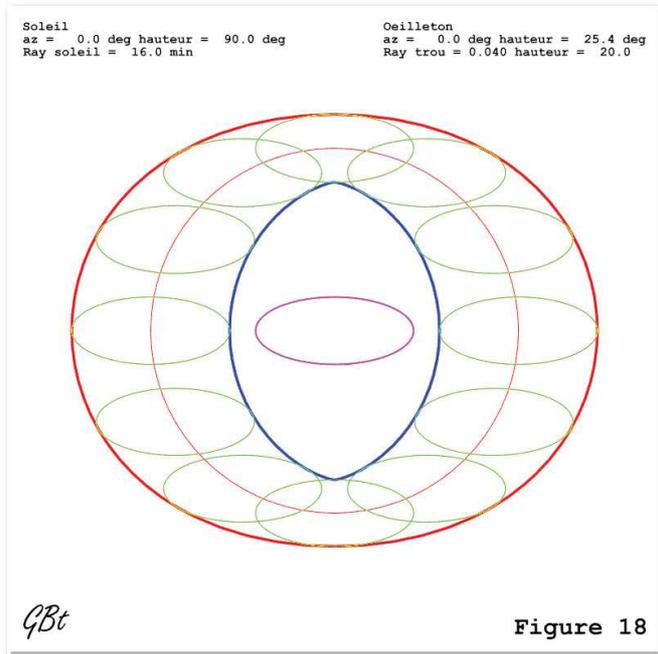


Figure 18

Pour cette inclinaison la courbe bleue présente deux angles vifs en haut et en bas. Ce phénomène est causé par l'égalité des rayons de courbures de la courbe magenta à l'intersection avec l'axe verticale et du rayon de courbure du cercle rouge du soleil.

Voir les symboles au paragraphe Erreur : source de la référence non trouvée
rappel de la formule qui donne le rayon de courbure d'une ellipse :

$$R = \left(\frac{a^2}{b}\right) \times [1 - (e^2 \times \cos(t)^2)]^{3/2}$$

dans notre cas $t = 90^\circ$ la formule devient alors :

$$R = \frac{a^2}{b}$$

en remplaçant b par sa valeur

$$R = \frac{a}{\cos(i)}$$

le rayon de courbure du soleil vaut : $rsol = d \times \tan(rs)$

Valeur de l'inclinaison:

il faut :

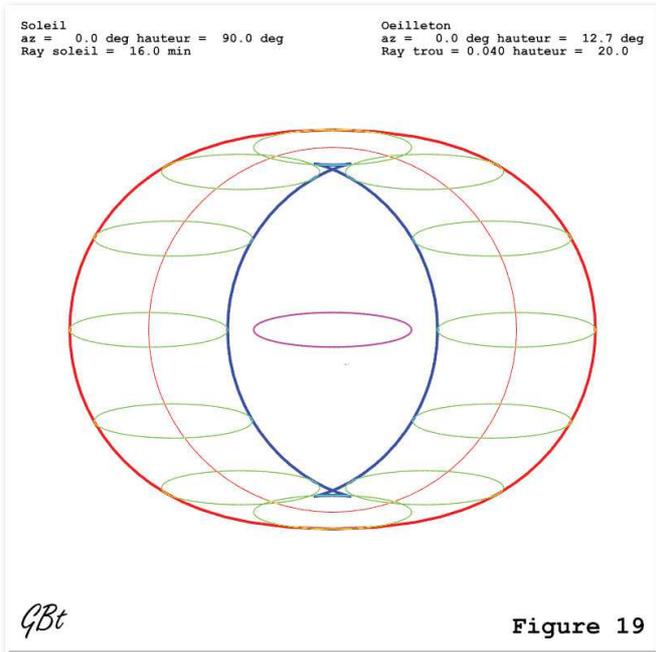
$$a < d \times \tan(rs)$$

$$i = \arccos\left(\frac{a}{d \times \tan(rs)}\right)$$

et $h =$ hauteur angulaire de la normale à l'écran sur l'horizon $h = 90 - i$

Il semble qu'il n'y a que cette inclinaison caractéristique

.....4.4 Autre inclinaison



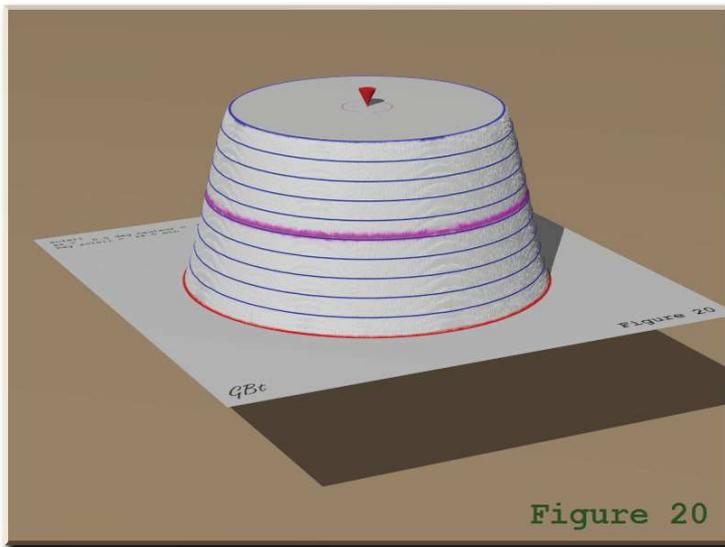
Pour des hauteur plus faible on retrouve le croisement de la courbe bleue et les points de rebroussement avec les même caractéristique que celles définies au paragraphe 3.4.

5 Éclairement de la tache

L'étude de l'éclairement de la tache utilise des fonctions du logiciel POV-RAY, mais elle pourrait être conduite par intégration numérique.

.....5.1 Éclairement avec un gros trou

.....5.1.1 Écran perpendiculaire



La figure 20 représente l'éclairement de la tache dans les conditions du paragraphe :

[Ecran perpendiculaire □□ Dans la version CDrom de Cadran Info vous trouverez en annexe:]

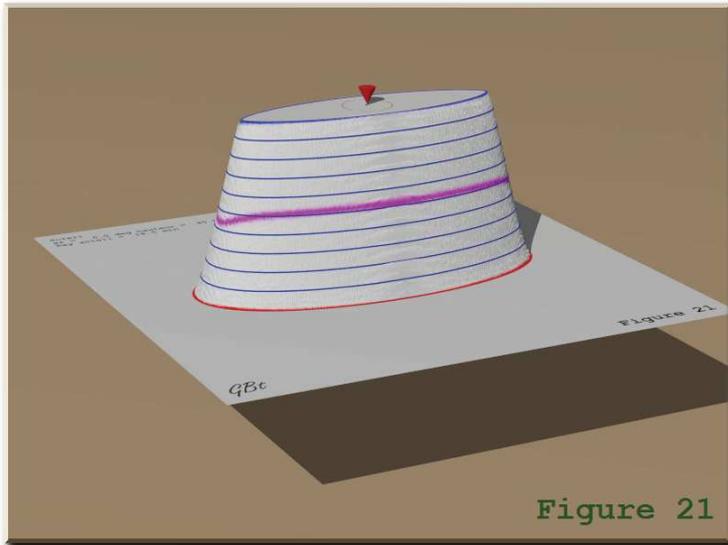
Les coordonnées horizontales sont identiques, la coordonnées verticale représente l'éclairement de la tache.

Les courbes de la figure 10 du paragraphe sont représentées sur la figure 20 . elle définissent de la même manière les zone à éclairage constant et la pénombre.

Les courbes de « niveaux » bleues représente les niveau constant d'éclairement. Le niveau maximum possible d'éclairement est divisé de manière régulière en 10 parties.

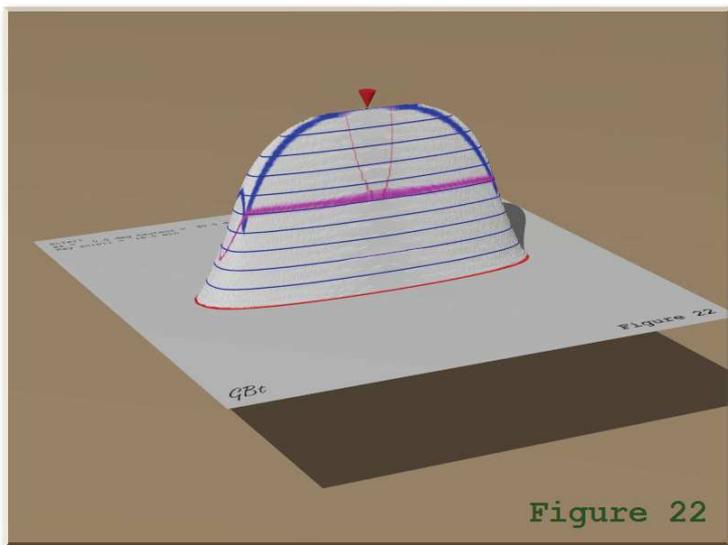
.....5.1.2 Première inclinaison caractéristique

Sur la figure 21 on retrouve l'éclairage avec les paramètres du paragraphe :
[3.3 Première inclinaison caractéristique ($23,2^\circ$)]

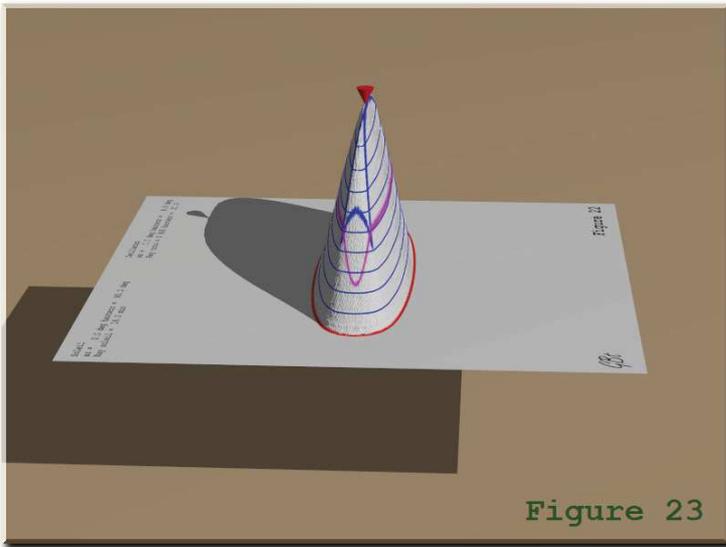


.....5.1.3 Deuxième inclinaison caractéristique

Sur les figure 22 et 23 (ci dessous deux vues sous des angles différents) on retrouve l'éclairage avec les paramètres du paragraphe :
[3.5 Deuxième inclinaison caractéristique ($8,9^\circ$)]

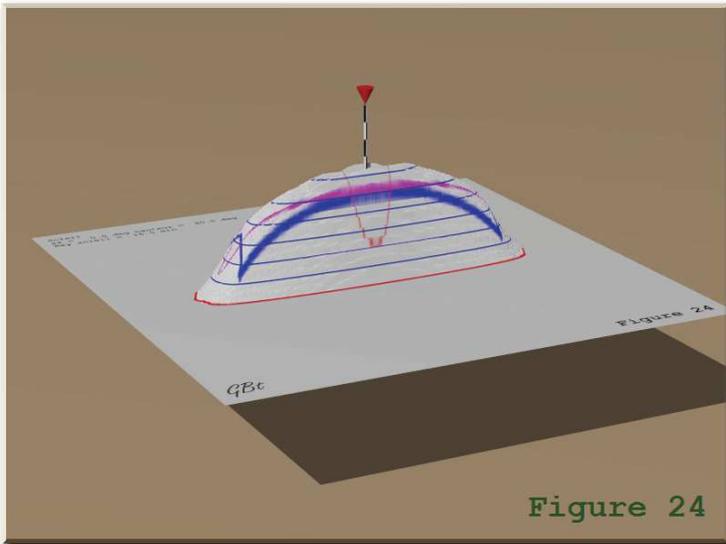


Pour cette inclinaison on obtient un point, au centre de l'image, avec un éclairage maximum.



.....5.1.4 Inclinaison importante

Sur la figure 21 on retrouve l'éclairage avec les paramètres du paragraphe :
[3.6 Dernière inclinaison (4,5°)]

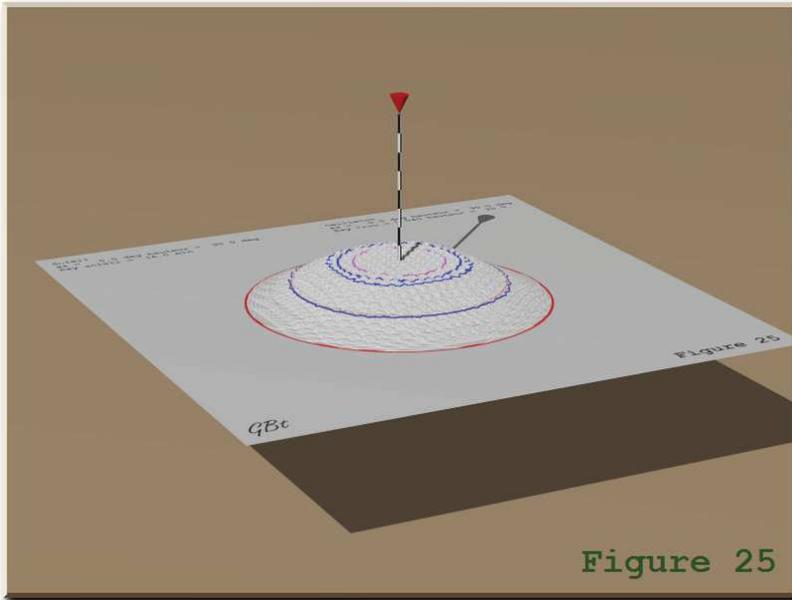


La « tige » qui dépasse au milieu et vers le haut est aussi gradué en dixième de l'éclairage maximum possible par des alternances noires et blanches.

.....5.2 Éclairage avec un petit trou

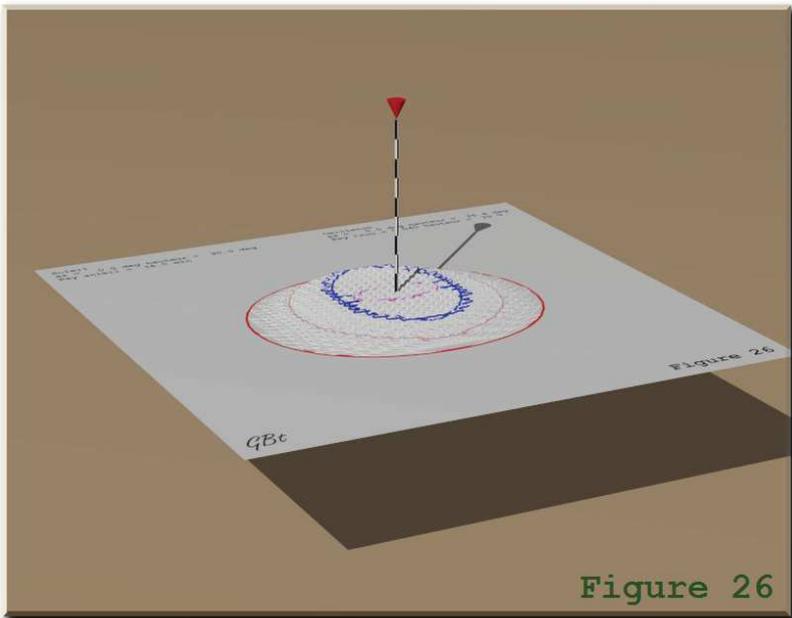
.....5.2.1 Écran perpendiculaire

La figure 25 est réalisée dans les conditions du paragraphe [4.1]



La « rugosité » de la surface vient du la fonction du logiciel qui simule le soleil, une surface plus « lisse » nécessite un temps de calcul prohibitif.

.....5.2.2 Inclinaison caractéristique

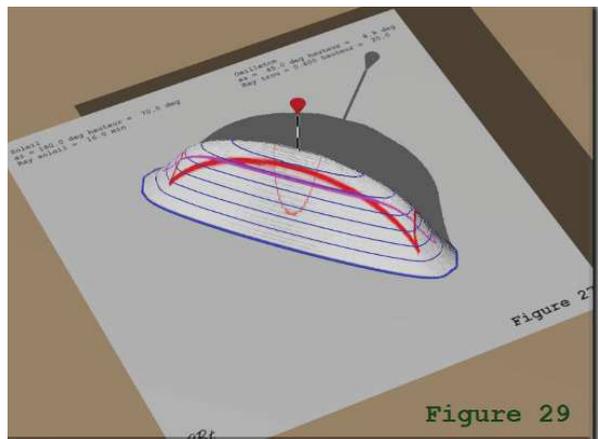
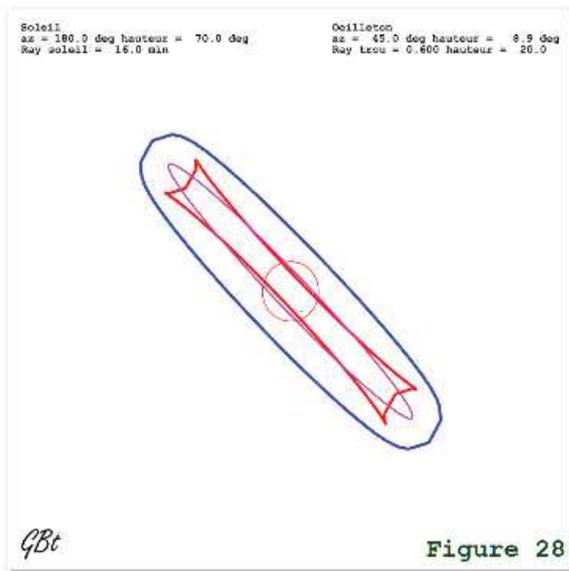
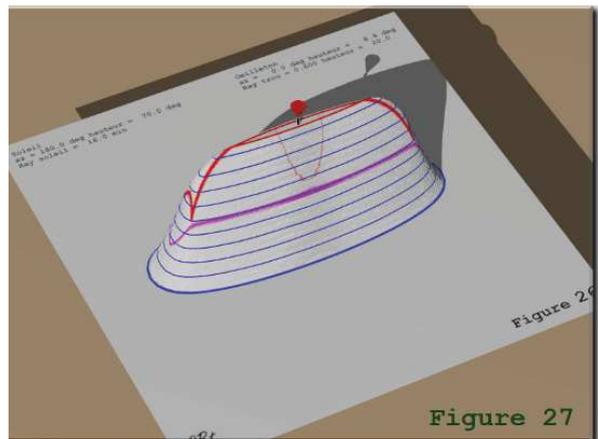
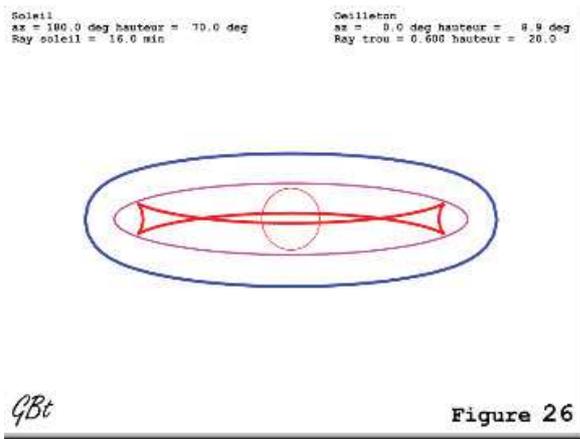


L'inclinaison de l'écran est identique à celle définie au paragraphe :
[4.3 Inclinaison caractéristique (25,4°)]

.....5.3 Eclairage avec une position quelconque du soleil.

Voir les page suivante:

Figures 26, 27,28,29.



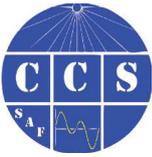
ATTENTION: Des problèmes de lecture des formules mathématiques peuvent survenir à l'écran:

- a) Cliquez sur la formule, ou
- b) Reportez vous à la version sous pdf, ou
- b) reportez vous aux versions originales dans l'annexe

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

- ° les originaux des trois articles de G. Baillet.





Ouilleton et familles de courbes

Par Gérard Baillet

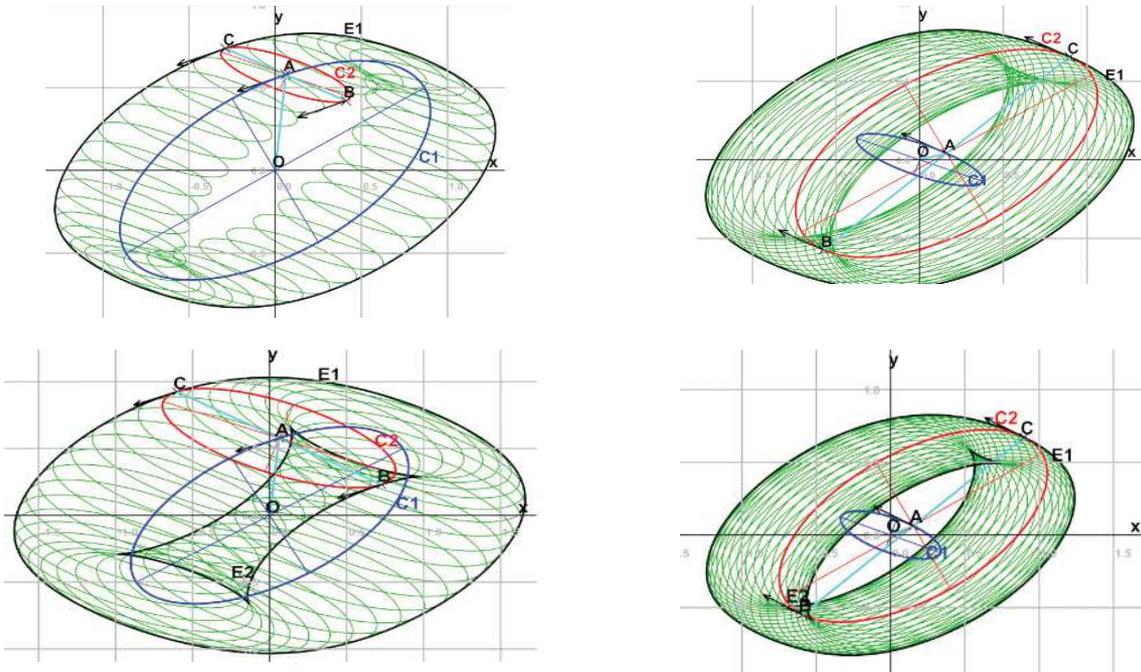
Le problème de l'enveloppe de familles de courbes part de l'étude de la forme de la tache de lumière donnée par une source de lumière étendue au travers d'un trou circulaire percé dans un écran.



Détail des points abordés:

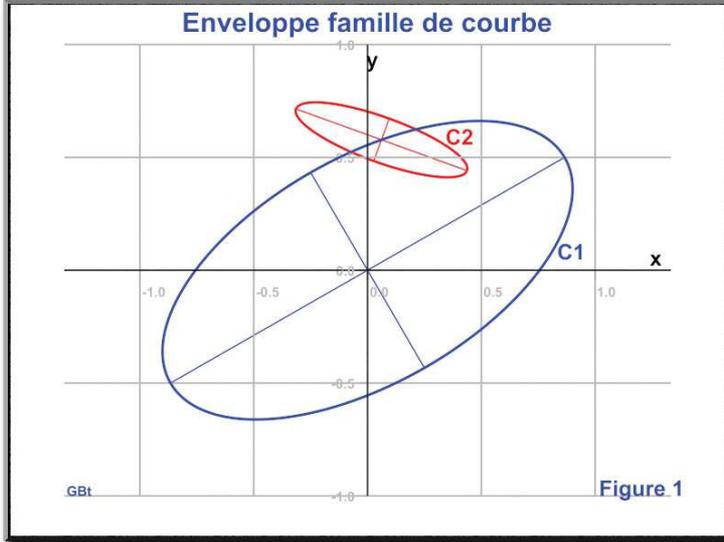
Enveloppe de famille de courbes

- 1 Définition du problème traité
- 2 Les formules utilisées
 - 2.1 L'ellipse
 - 2.2 La tangente à l'ellipse
 - 2.3 Exemple d'utilisation des formules
- 3 Enveloppe de la famille de courbes
 - 3.1 Principe
 - 3.2 Courbes enveloppes
 - 3.3 Point remarquable
- 4 Quelques exemples de forme



1 Définition du problème traité

Le problème traité part de l'étude de la forme de la tache de lumière donnée par une source de lumière étendue au travers d'un trou circulaire percé dans un écran.



Éléments de départ :

une ellipse fixe c1 avec :

demi grand axe : a

demi petit axe : b

centre : $x=0$ et $y=0$

inclinaison du grand axe

sur l'axe x : ar

une ellipse mobile c2 avec :

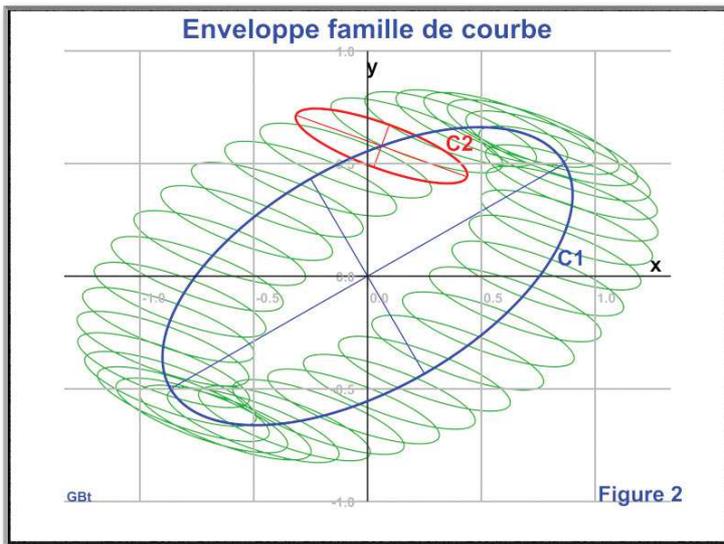
demi grand axe : a1

demi petit axe : b1

centre : se déplace sur le contour de l'ellipse c1

inclinaison du grand axe

sur l'axe x : ar1



Nous chercherons la ou les enveloppes de la familles des courbes c2. La figure 2 donne un aspect "limité" de la famille des courbes c2 (en vert sur la figure).

2 Les formules utilisées

.....2.1 L'ellipse

Avec :

a = demi grand axe

b = demi petit axe

t = angle variant de 0° à 360°

ar = inclinaison du grand axe sur l'axe x

xd = abscisse du centre de l'ellipse

yd = ordonnée du centre de l'ellipse

On calcul successivement :

$$x_e = a \times \cos(t)$$

Formule 1/a

$$y_e = b \times \sin(t)$$

Formule 1/b

xt et yt coordonnées d'un point du périmètre de l'ellipse

$$x_t = x_e \times \cos(ar) - y_e \times \sin(ar) + x_d$$

Formule 1/c

$$y_t = y_e \times \cos(ar) + x_e \times \sin(ar) + y_d$$

Formule 1/d

.....2.2 La tangente à l'ellipse

At= Angle entre la tangente à l'ellipse et l'axe des abscisses pour une valeur de t.

$$at = \text{atan2}(b \times \cos(t) , -a \times \sin(t)) + ar$$

Formule 2

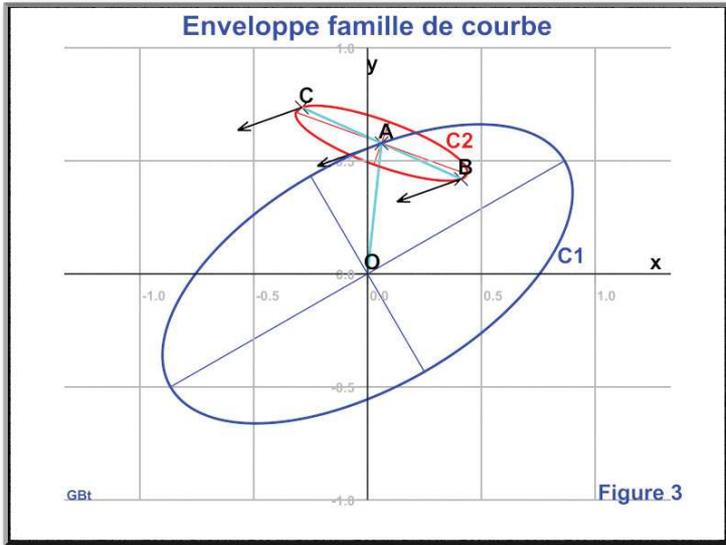
Nota : **atan2(u,v)** donne l'arc tangente de u/v avec un résultat compris entre 0° et 360°

Calcul de la valeur de t pour une valeur connue de l'angle de la tangente at.

$$t = \text{atan2}\left(\frac{b}{a} , \tan(at - ar)\right)$$

Formule 3

.....2.3 Exemple d'utilisation des formules.



Voici (figure 3) un exemple d'utilisation des formules précédentes. Et ci dessous le fichier de données créé par le logiciel qui donne la figure 3.

Début du fichier *****

Enveloppe de famille de courbes
 ELLIPSES

```
L1/ ellipse 1    a = 1.0    b = 0.5    ar = 30.0 deg
L2/ ellipse 2    a1 = 0.4    b1 = 0.1    ar1 = -20.0 deg    t (ellipse1) du centre 70 deg
L3/ Centre ellipse 2 (A)    x = 0.061275    y = 0.577909
L4/ Angle tangente    ellipse 1 en A 199.686 deg

L5/ t de ellipse 2 pour même tangente    t = -16.7664 deg
L6/ Verif angle tangente en B = 19.6859 deg ou avec +180 = 199.686deg
L7/ position du point B    x = 0.411307    y = 0.419809

L8/ t de ellipse 2 pour même tangente    t = 163.234 deg
L9/ Verif angle tangente en C = 199.686 deg ou avec -180 = 19.6859deg
L10/ position du point C    x = -0.288757    y = 0.736008
```

Fin du fichier *****

démarche utilisée :

- en L3 application des formules 1 avec l'ellipse 1 et t défini en L2
- en L4 application de la formule 2 avec l'ellipse 1 et t défini en L2
- en L5 application de la formule 3 avec l'ellipse 2 et at défini en L4
- en L6 application de la formule 2 avec l'ellipse 2 et t défini en L5 (vérification égalité avec L4)
- en L7 application des formule 1 avec t défini en L5

de L8 à L10 idem L5 à L7 avec t de L5 + 180° en L8

3 Enveloppe de la famille de courbes.

.....3.1 Principe.

Soit une ellipse fixe c_1 , une ellipse mobile c_2 en translation, son centre suit le périmètre de c_1 .

Voir figure 3

Pour une position de c_2 on peut dire :

Les courbe enveloppes de c_2 sont tangente en B et C à c_2 et que la tangente en A à c_1 et parallèle aux tangente en B et C.

A partir de là il est simple de calculer point par point les courbes enveloppes.

.....3.2 Courbes enveloppes

Le principe retenu pour le calcul et le suivant :

Pour t de 0° à 360° avec un pas de (1° par exemple)

avec les paramètres de l'ellipse 1 on calcule :

les coordonnées du point A Formule 1

l'angle de la tangente en A [at] Formule 2

Pour le point B avec les paramètres de l'ellipse 2 on trouve :

avec [at] l'angle [t1] Formule 3

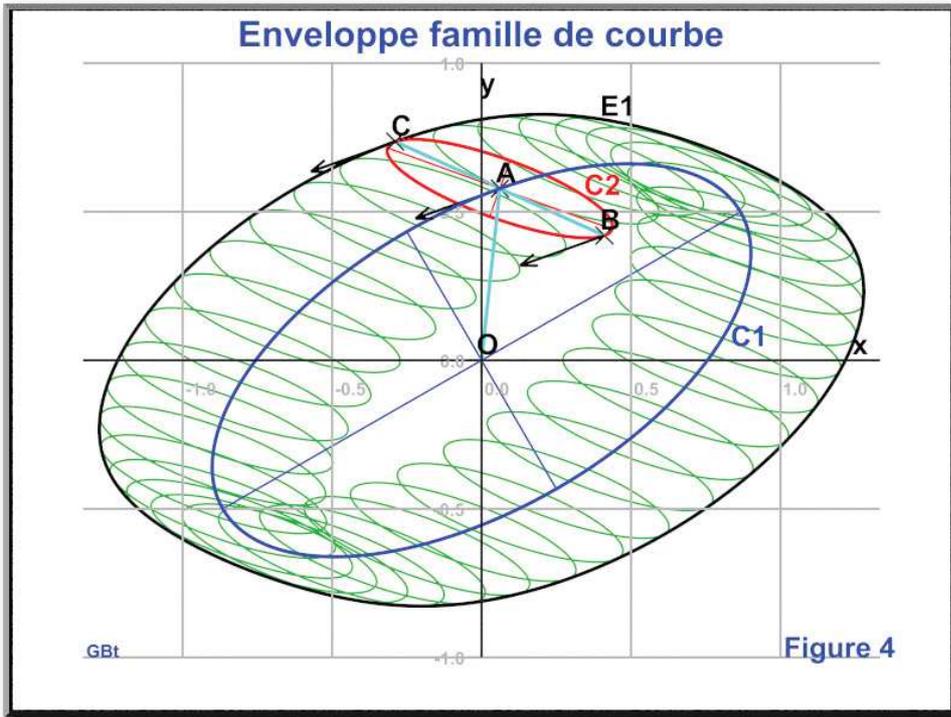
les coordonnées de B avec [t1] Formule 1

Pour le point C avec les paramètres de l'ellipse 2 on trouve :

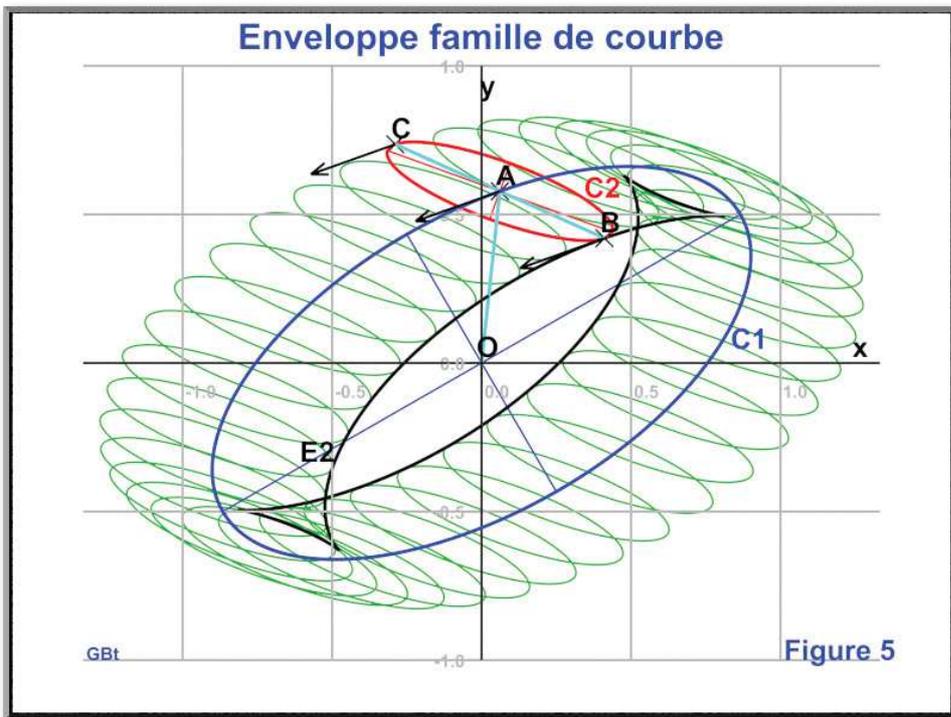
les coordonnées de C avec [t1+180] Formule 1

fin de la boucle

Le figure 4 montre l'enveloppe externe et la figure 5 l'enveloppe interne établies avec la méthode ci dessus.



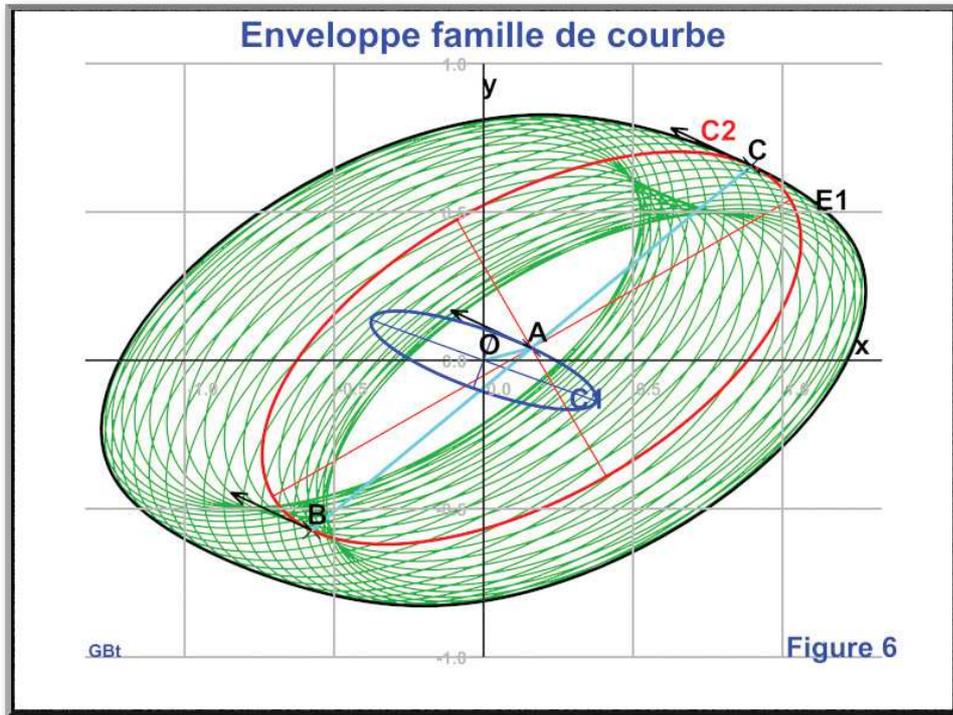
E1 enveloppe externe



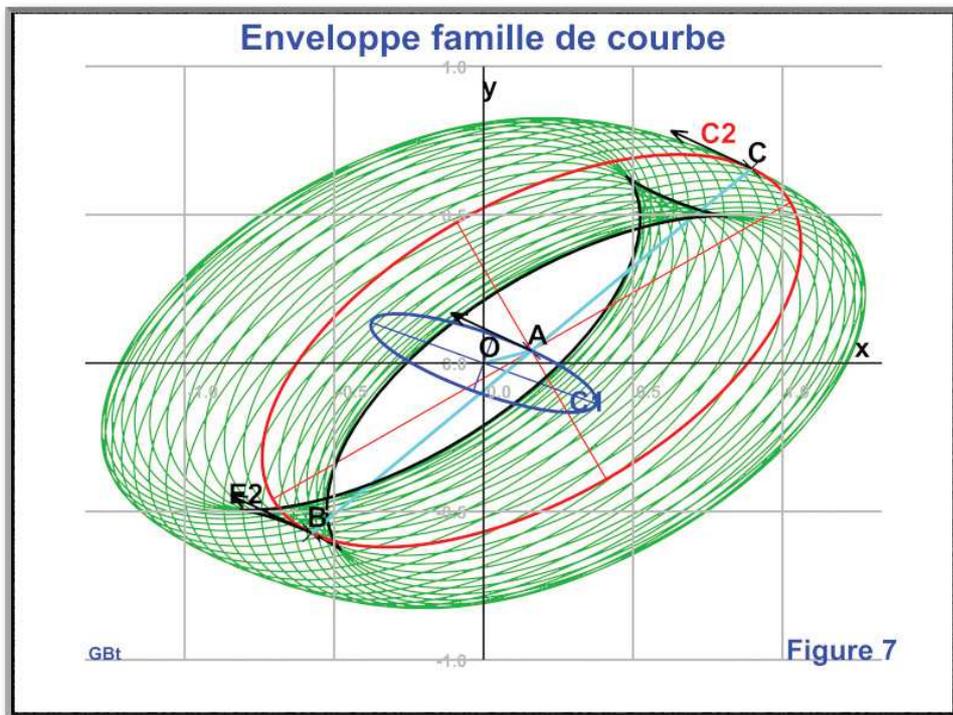
E2 enveloppe interne

.....3.3 Point remarquable

En inversant les rôles des ellipse 1 et 2 on trouve exactement les mêmes enveloppes, voir les figure 5 et 7 ci dessous.

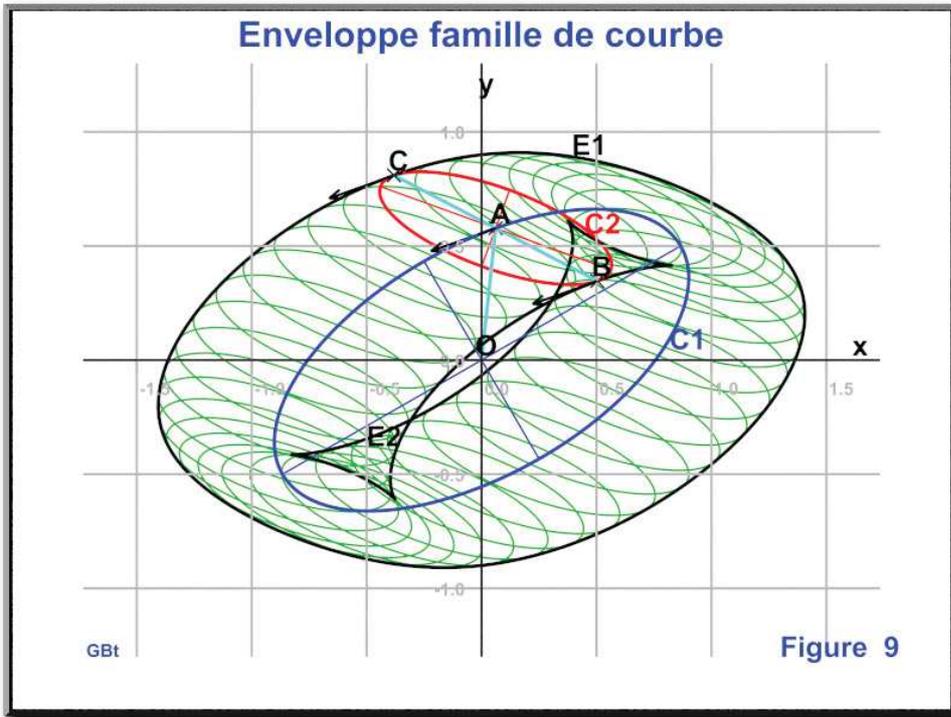
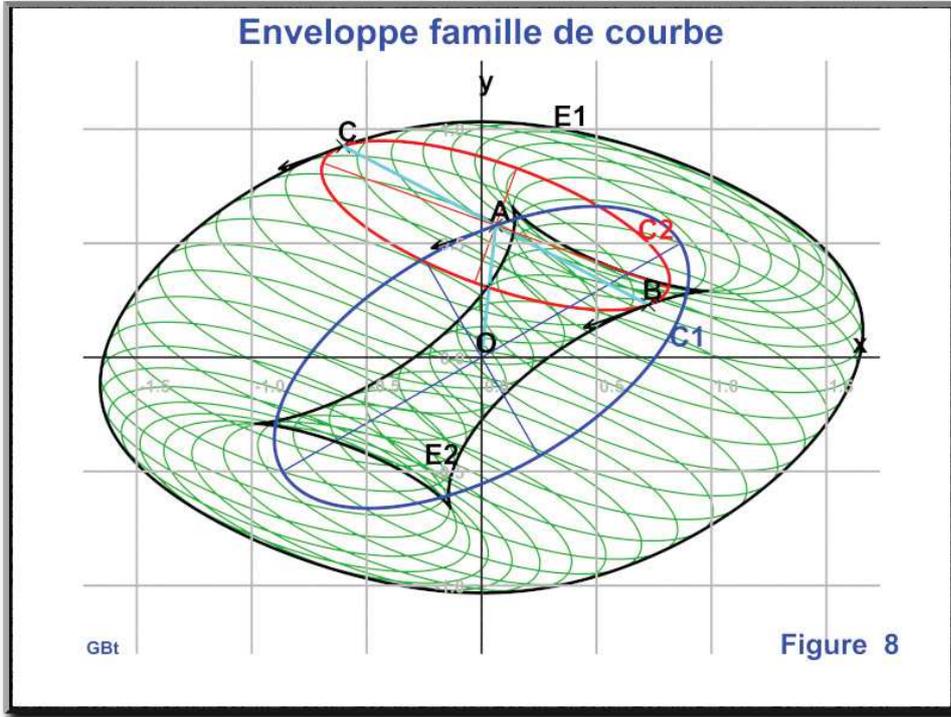


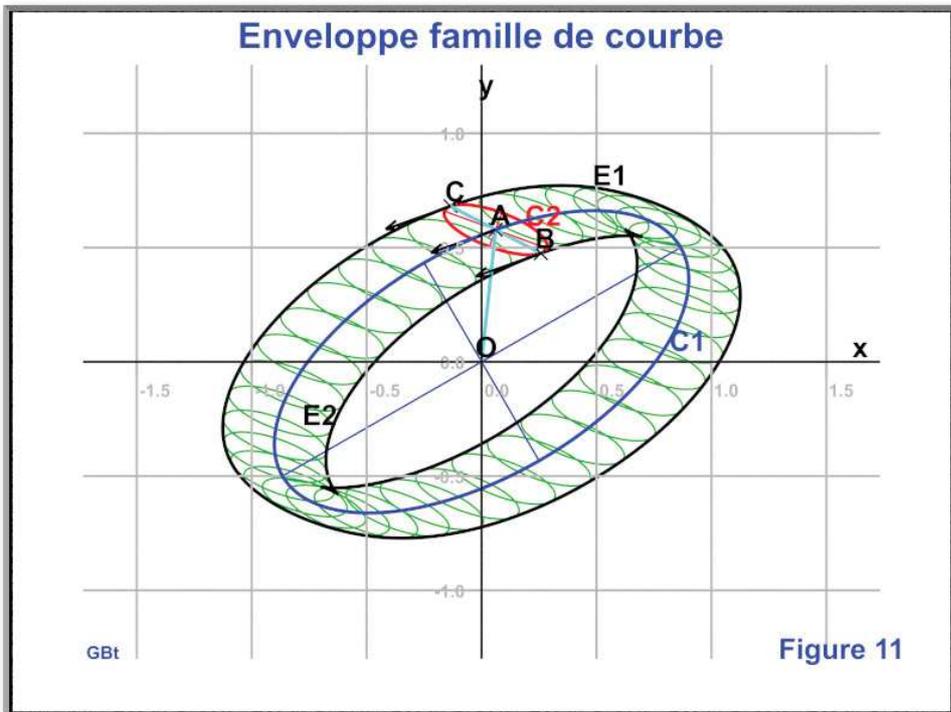
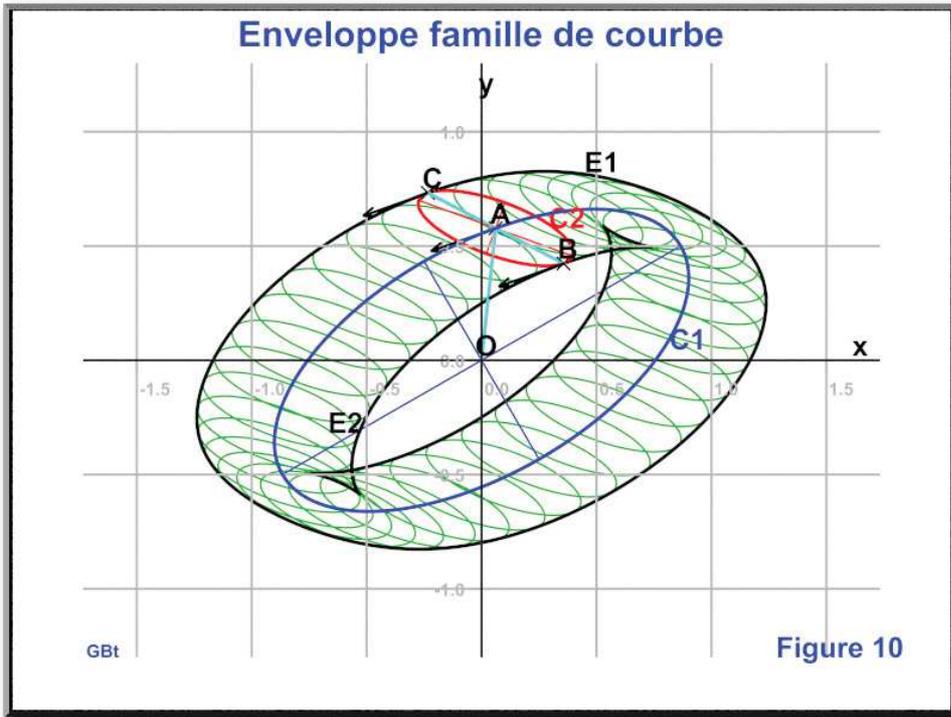
Enveloppe externe

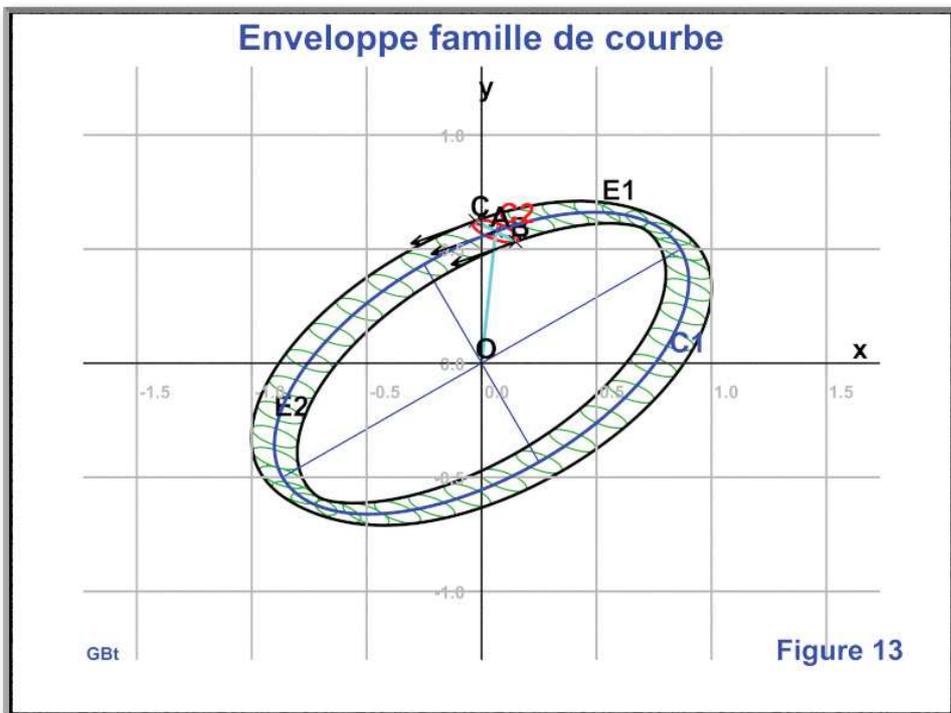
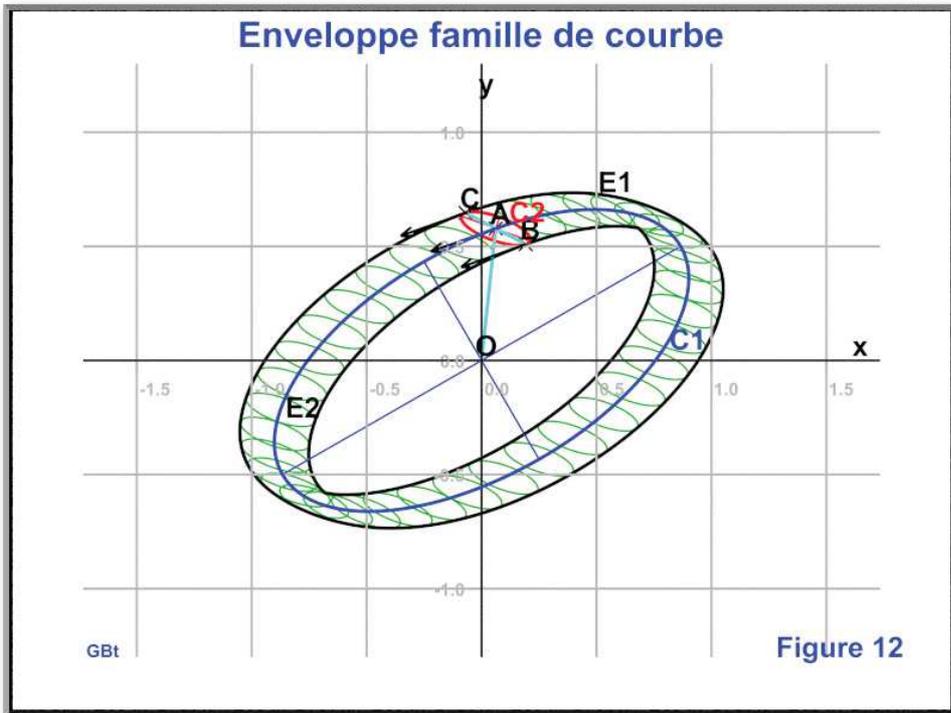


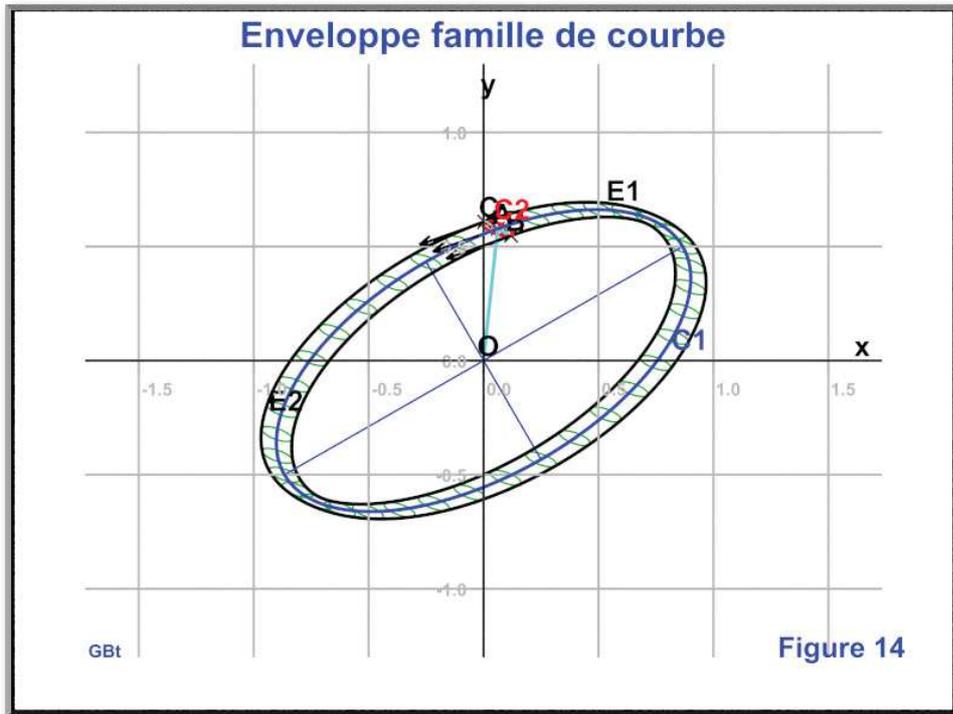
enveloppe interne.

4 Quelques exemples de forme

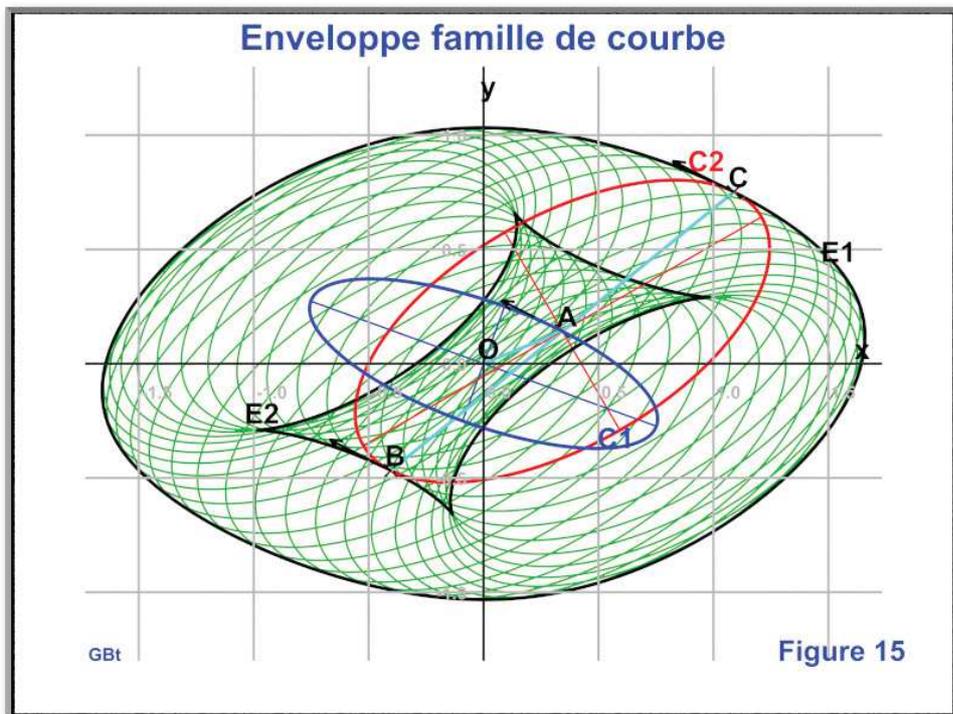


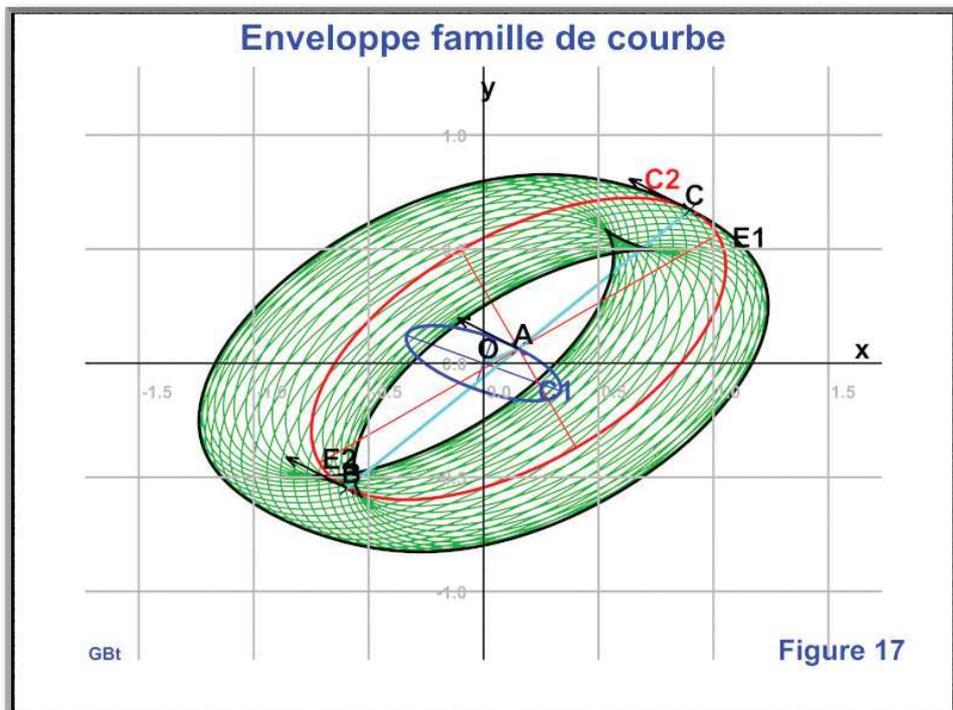
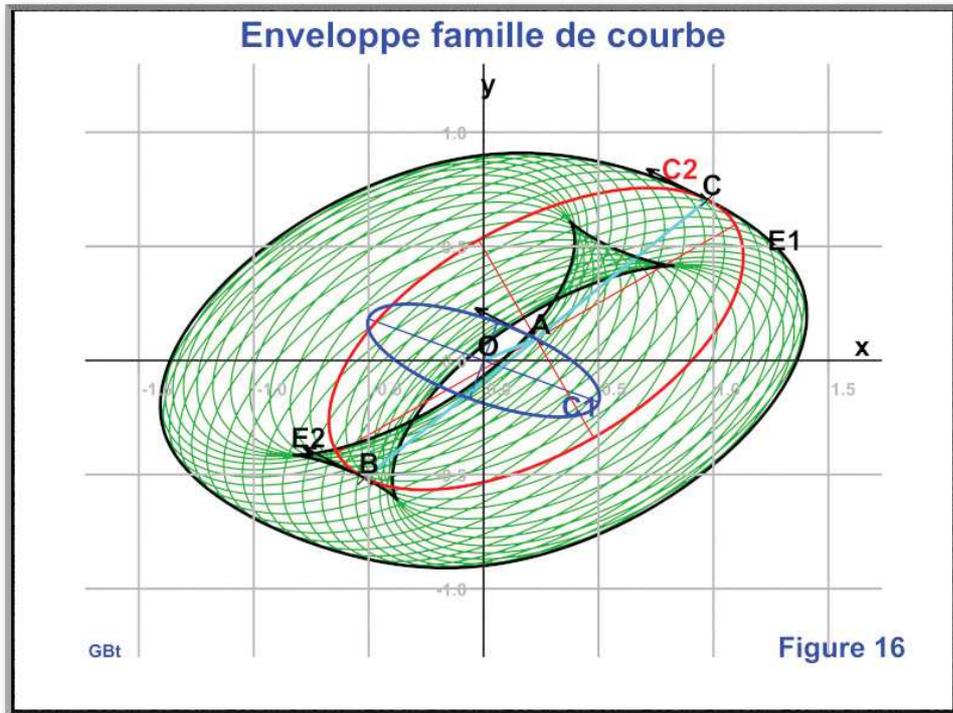


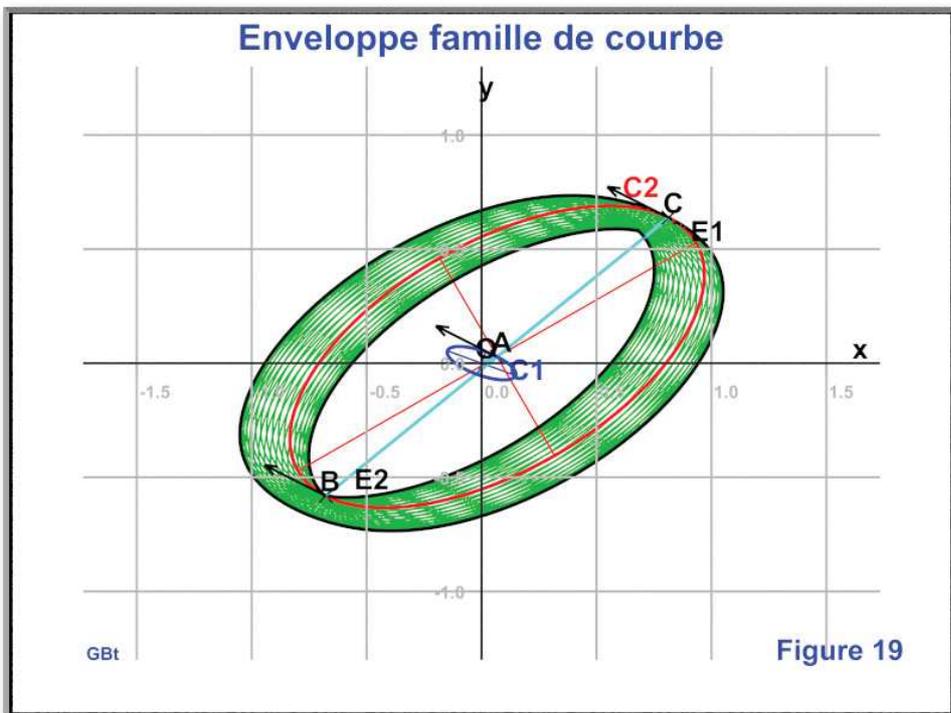
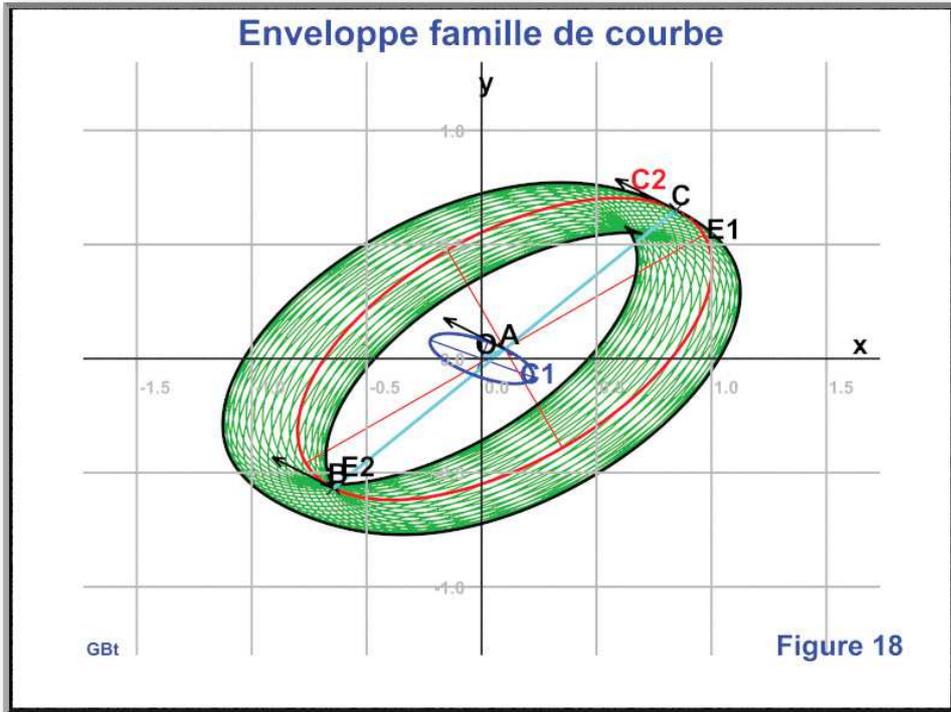


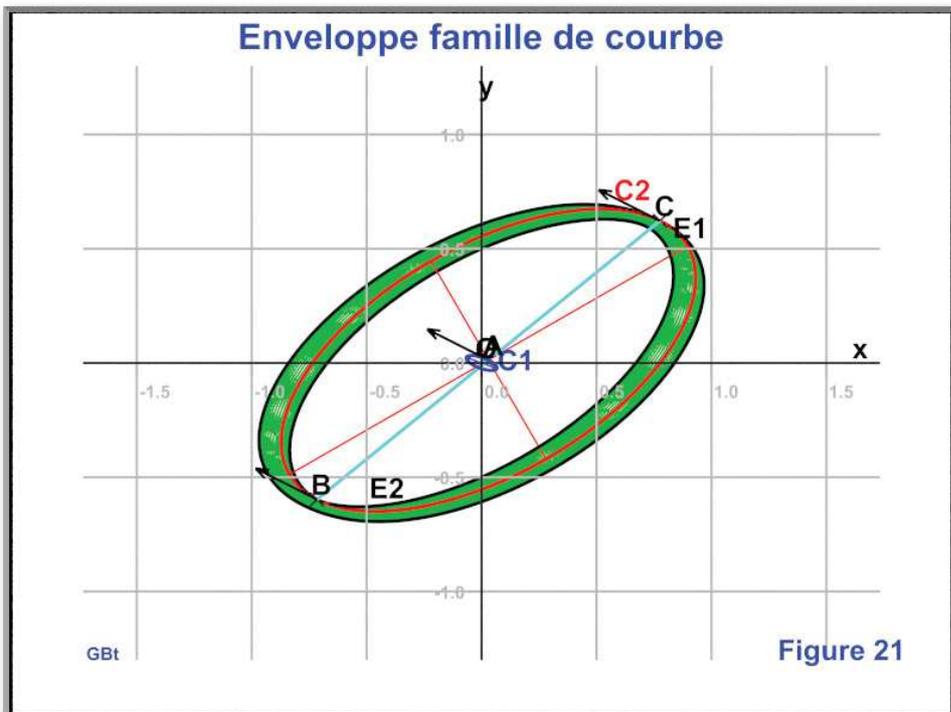
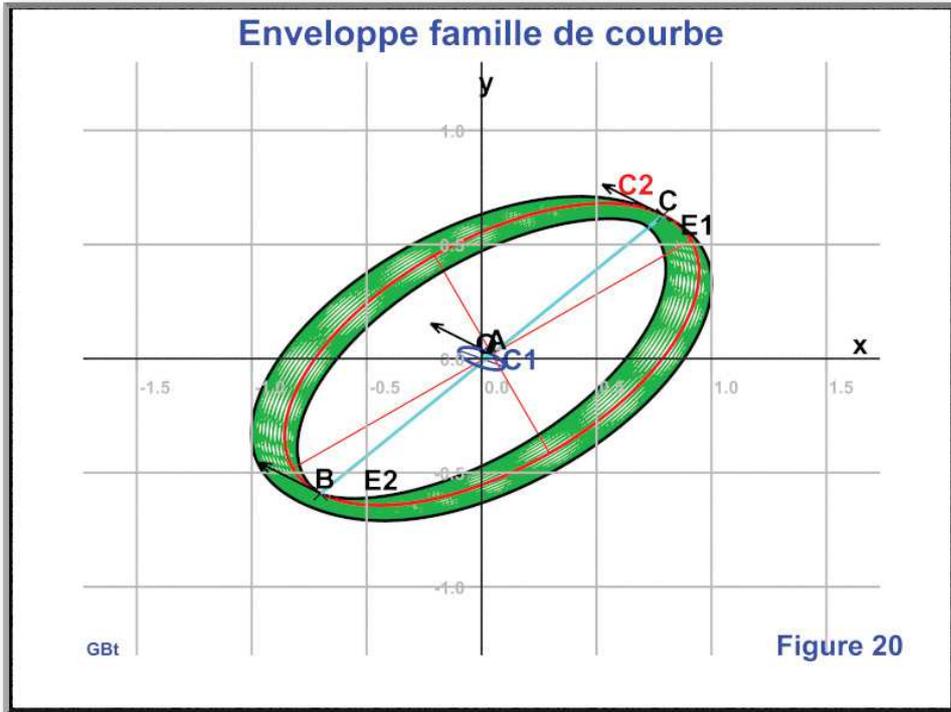


Même valeurs mais avec inversion des deux ellipses











Ouilleton et ellipses

Par Gérard Baillet

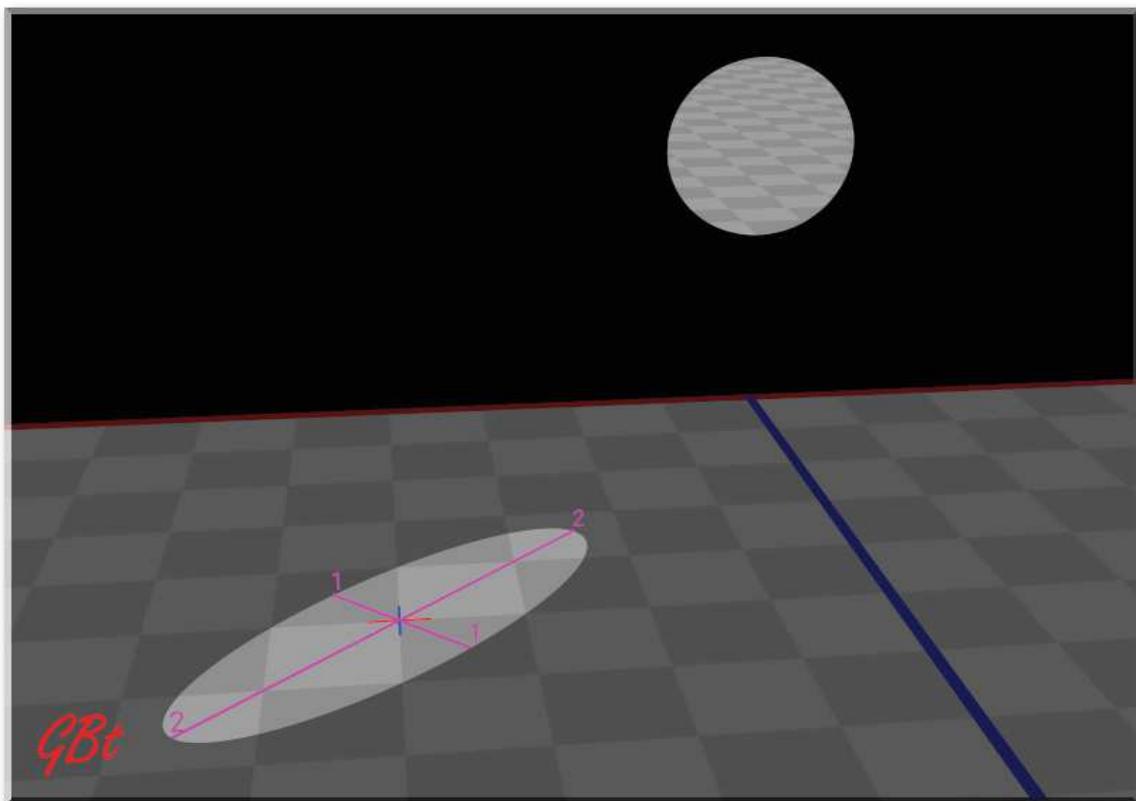
Dans cette étude est abordée les éléments de l'ellipse projetée par un œuilleton, à savoir: la longueur du grand axe et du petit axe et l'orientation des axes de l'ellipse par rapport aux axes du plan horizontal.



Détail des points abordés:

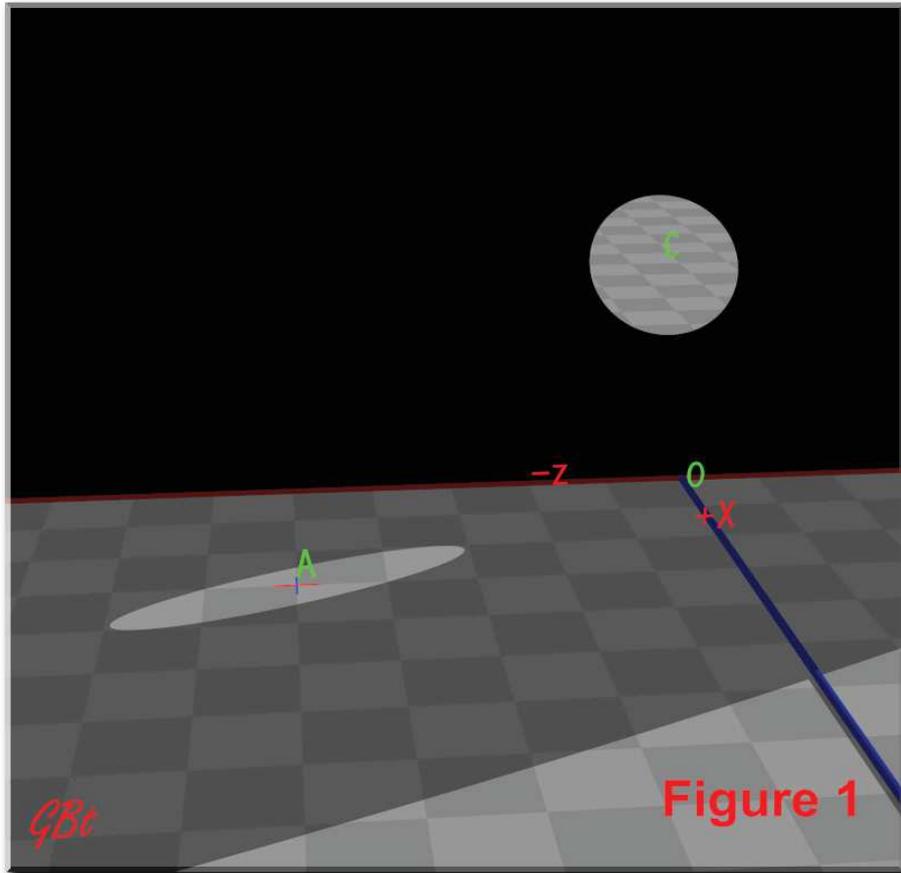
Éléments de l'ellipse projetée

- 1 Définition du problème traité
- 2 Mise en place des éléments du calcul
- 3 Calcul d'un rayon de l'ellipse
- 4 Position des axes de l'ellipse
 - 4.1 Calcul des demi-axes
 - 4.2 calcul de l'orientation des axes
 - 4.3 Exemple numérique
- 5 Conclusion



1 Définition du problème traité

Les éléments de départ sont (figure 1):



Un plan horizontal P1(damier blanc/gris)

Un plan incliné sur la verticale P2 (noir) percé d'un trou de centre C

Le trou est éclairé par une source ponctuelle à l'infini

La lumière passant par le trou C forme une tache elliptique centrée en A

La direction de la source de lumière est définie par les positions de A et du centre C du trou.

Pour simplifier les calculs on prendra l'axe z à l'intersection des deux plans

L'axe x est perpendiculaire à z dans le plan horizontal

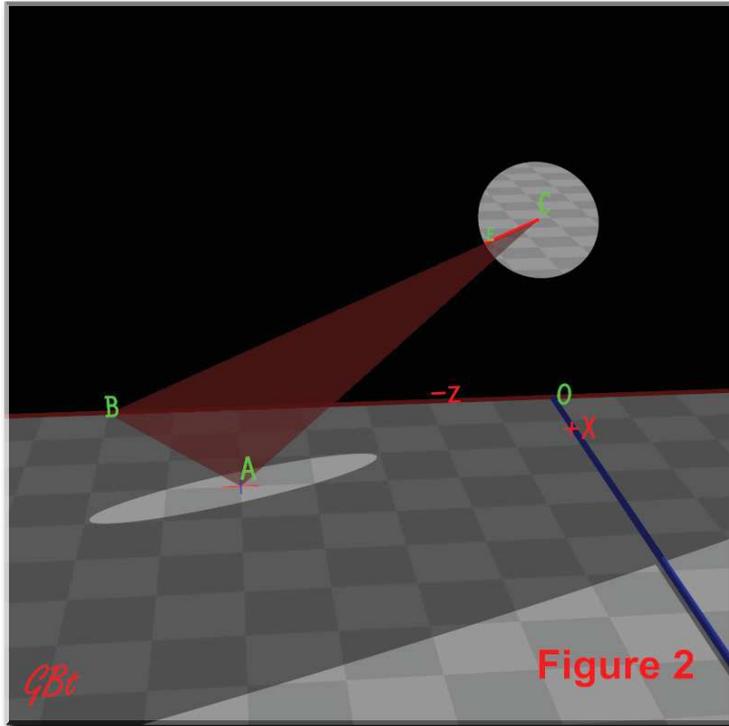
L'axe y est vertical, positif vers le haut

Dans le cas général on pourra toujours retrouver cette configuration par un changement d'axe.

Éléments recherchés :

- La longueur du grand axe et du petit axe
- L'orientation des axes de l'ellipse par rapport aux axes du plan horizontal

2 Mise en place des éléments du calcul



Choisir un rayon CE du trou, puis définir un plan PL contenant la direction CE et le point A. Ce plan coupe l'axe Z en B. On notera que CA et la direction de la source de lumière.

Sur la figure 2 ci contre le plan est représenté avec une couleur rouge transparente et il est limité au triangle ABC.

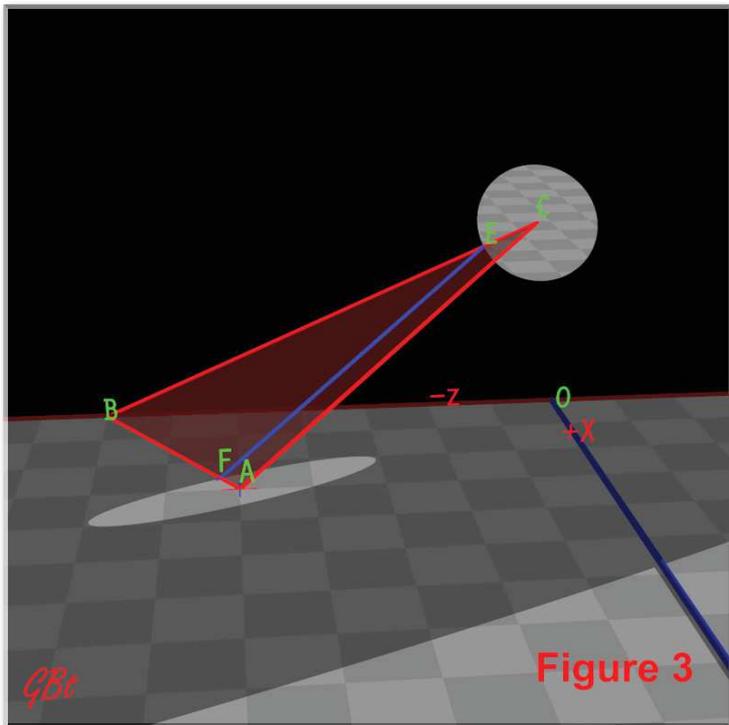


Figure 3

La figure est complétée par le dessin du triangle ABC et par la projection du point E en F sur le plan horizontal et suivant la direction de la lumière.

F est à la limite de l'ellipse.

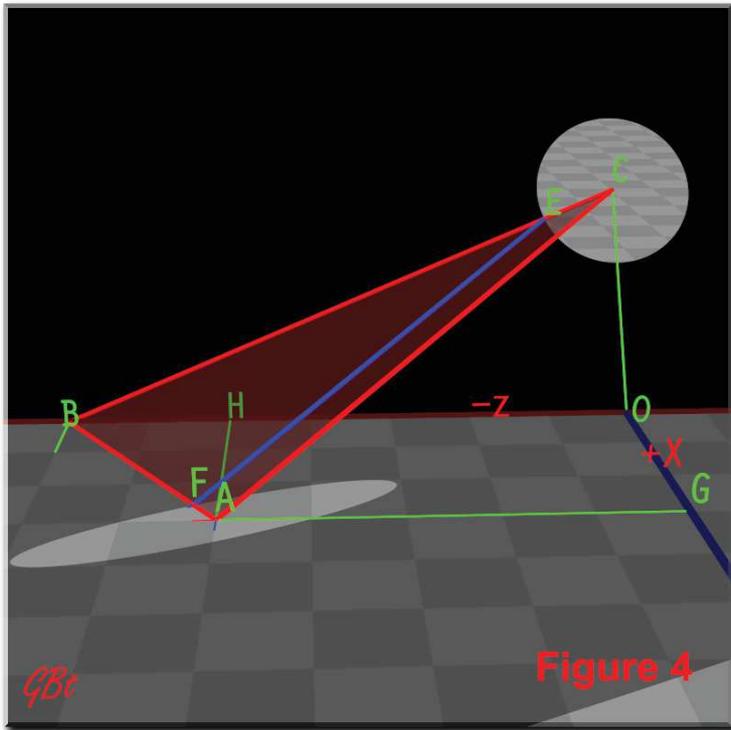
Le point E étant dans le plan PL,

EF est parallèle à AC (direction de la lumière par définition)

EF est dans le plan PL

F est donc sur la droite AB

3 Calcul d'un rayon de l'ellipse



Les droites BC et BA sont coupées par deux droites parallèles EF et CA.

D'après le théorème de Thalès :

$$\frac{BA}{FA} = \frac{BC}{EC}$$

en posant le rayon du cercle :

$$EC = 1$$

$$FA = \frac{BA}{BC}$$

formule 1

Éléments connus :

- Angle d'inclinaison de P2 sur la verticale : ang on a : $ang = 90 - \widehat{COG}$
- La longueur OC (OC est perpendiculaire à l'axe Z à l'origine et contenu dans le plan P2)
- Les coordonnées de A : OG et OH
- La Position de B sur l'axe Z (on prend ce paramètre plutôt que l'angle \widehat{OCE} pour simplifier les écritures)

$$FA = \sqrt{\frac{(OB - OH)^2 + OG^2}{OB^2 + OC^2}}$$

formule 2

Dans cette formule la variable est OB

Remarque importante :

La position de F est indépendante de l'angle ang donc la forme et l'orientation de l'ellipse ne varie pas avec l'inclinaison de P2.

4 Position des axes de l'ellipse

SI je fais varier OB, FA passera par un minimum quand il sera confondu avec le petit axe et par un maximum lorsqu'il sera confondu avec le grand axe. Dans un premier temps nous allons rechercher les valeurs de OB qui donnent des extremum pour FA.

Pour simplifier l'écriture

je pose :

$$\boxed{FA^2=y} \text{ et } \boxed{OB=x}$$

la formule 2 devient :

$$\boxed{y = \frac{(x - OH)^2 + OG^2}{x^2 + OC^2}} \quad \text{Formule 3}$$

On recherche les valeurs de x qui annulent la dérivée. Cette dérivée se présente sous la forme d'un quotient dont le dénominateur est toujours positif il faut chercher à annuler le numérateur que j'appelle N

$$\boxed{N=OH \cdot x^2 + (OC^2 - OH^2 - OG^2) \cdot x - OH \cdot OC^2} \quad \text{Formule 4}$$

On pose :

$$\boxed{a = OH}$$

$$\boxed{b = OC^2 - OH^2 - OG^2}$$

$$\boxed{c = -OH \cdot OC^2}$$

la formule 4 devient :

$$\boxed{N = a \cdot x^2 + b \cdot x + c}$$

et les solutions sont :

$$\boxed{OB1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}} \quad \text{formule 5}$$

$$\boxed{OB2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}} \quad \text{formule 6}$$

.4.1 Calcul des demi-axes

En portant les résultats obtenus par les formules 5 et 6 dans la formule 2 on obtient les deux longueurs des demi-axes.

$$ax1 = \sqrt{\frac{(OB1 - OH)^2 + OG^2}{OB1^2 + OC^2}}$$

Formule 7

$$ax2 = \sqrt{\frac{(OB2 - OH)^2 + OG^2}{OB2^2 + OC^2}}$$

Formule 8

.4.2 calcul de l'orientation des axes

Calculons l'inclinaison des deux axes sur l'axe Z. En fait les axes étant perpendiculaires une seule inclinaison suffit. Dans un but de vérification on calcule les deux inclinaisons et on vérifie que la différence vaut bien 90°.

$$incl1 = \arctan\left(\frac{OG}{OB1 - OH}\right)$$

Formule 9

$$incl2 = \arctan\left(\frac{OG}{OB2 - OH}\right)$$

Formule 10

Dans les systèmes de programmation on aura intérêt à utiliser la fonction atan2 qui donne un résultat entre 0° et 360°. En modifiant les formules on pourra utiliser une fonction acos qui donne un résultat entre 0° et 180°.

.4.3 Exemple numérique

***** Début du fichier contenant les résultats*****

Calcul de l'ellipse

CE = 1.000

OG = 4.000

OH = -5.000

OC = 3.000

ang = 30.000

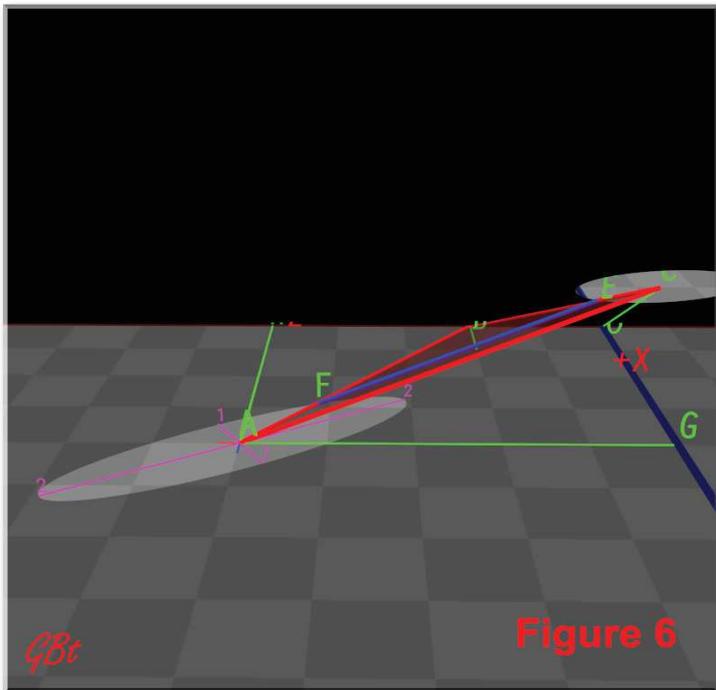
Position de B pour petit et grand axe

a = -5.000

b = -32.000


```
b = -32.000
c = 45.000
determ = 43.863
OB1= -7.586
OB2= 1.186
Inclinaison des axes sur l'axe Z
incl1= 122.886 deg
incl2= 32.886 deg
dif= 90.000 deg
Valeurs des demi axes de l'ellipse
axe 1 = 0.584
axe 2 = 2.284
```

*****fin du fichier contenant les résultats*****



Par rapport à la figure 5 le plan 2 est basculé de $+30^\circ$ à -60° .

On voit que l'ellipse est exactement la même aussi bien par le calcul que sur l'image.

5 Conclusion

Dans le cas général les données connues sont :

- ° la direction du soleil
- ° les plans p1 est p2
- ° la position du trou

Il suffit de calculer la position du point A on est alors ramené au calcul décrit dans le document.





Canoniaux à Thaon (Calvados)

Par Denis Schneider

Les fouilles et l'étude architecturale de l'église saint Pierre de Thaon (Calvados) est une chance pour tenter de mieux comprendre ses 4 cadrans canoniaux.

C'est notre collègue, Jérôme Bonnin, qui, participant à la campagne de fouilles de l'été 2010 sur l'édifice religieux, découvrit que les 2 canoniaux superposés déjà repérés par Philippe Sauvageot étaient quasiment dupliqués sur l'autre jambage d'une arcature aveugle du chœur. Ce "copier-coller" d'un autre âge méritait déjà un questionnement mais l'étude très approfondie et non terminée de l'histoire du bâtiment par des archéologues offrait l'occasion exceptionnelle de poser un regard sur plusieurs aspects de notre histoire religieuse: l'évangélisation de la campagne d'une partie nord de la Gaule, la transformation d'un lieu de culte païen en première église chrétienne dans une circonscription ecclésiastique avant la naissance d'une paroisse, son découpage géographique, le patronage de son église.



Photo 1: Chevet et façade sud

Jérôme m'a demandé de rédiger sur ces cadrans canoniaux quelques lignes dans le cadre de l'étude de l'église et des relevés précis seront faits l'été prochain. Il s'agit d'une ébauche d'étude de ces canoniaux dans leur contexte. Je me suis basé sur les travaux de l'archéologue François Delahaye, de la paléoanthropologue Cécile Niel, de l'historienne d'art Maylis Baylé et de l'historien du duché de Normandie Pierre Bouet.

L'ancienne église de Thaon, l'église saint Pierre (1), fut l'église paroissiale de cette commune jusqu'en 1840. Son excentration apparente s'explique par le fait qu'elle fut, jusque vers l'an mil, "l'église-mère" (baptismale), de plusieurs hameaux (Barbières, Bombanville en plus de celui de Thaon), sorte de proto-paroisse qui fut divisée lors de la création des paroisses un siècle environ après la fin des invasions vikings. Le terroir de Thaon récupéra l'église saint Pierre et la proto-paroisse fut divisée comme le montre encore actuellement les limites communales (en pointillés) qui convergent toutes vers l'église saint Pierre (Erreur : source de la référence non trouvée).

A l'origine, à l'emplacement de l'église saint Pierre se trouvait un "fanum" édifié à la période gallo-romaine du Haut-Empire, aux II-IIIèmes siècles, qui subit des transformations au Bas-Empire avec installation, dans une annexe, d'une sépulture avec espace de circulation, probablement une "memoria". L'emplacement choisi correspond à un gué, sur la Mue, point de convergence de plusieurs chemins très anciens dont l'un reliait l'antique ville de Bayeux (Baïocas) au port de Bénouville sur l'Orne, et au-delà à Lisieux (Lexovii).



Photo 2 : carte IGN

L'évangélisation plus tardive des campagnes fait que c'est aux VII-VIIIèmes siècles que ce site païen fut christianisé et qu'on le transforma en petite église dans la Neustrie mérovingienne (Erreur : source de la référence non trouvée). Fin VII-début VIIIèmes siècles, un choeur de plan carré fut construit au-dessus de la première tombe et un autel fut placé juste au-dessus.

D'une importante campagne de construction fin XIème siècle, au sein du duché de Normandie, il ne reste que le clocher dont la qualité architecturale s'explique sans doute par le fait que le fief de Thaon relevait en partie à cette époque du doyen du chapitre cathédral de

Bayeux et qu'un des seigneurs de la baronnie de Creully devait la possessionner. La première église romane, à abside semi-circulaire, fut construite sous l'autorité de Robert (fils de Hamon le Dentu) qui prit part en 1066 à la conquête de l'Angleterre. Je le précise parce qu'après celle-ci, sous Guillaume le Conquérant, Lanfranc de Pavie, devenu Lanfranc du Bec avant d'être archevêque de Cantorbéry, plaça des abbés continentaux dans presque tous les diocèses du Royaume d'Outre Manche et de beaux édifices en pierre remplacèrent les précédents, la plupart en bois.

Beaucoup de cadrans anglo-saxons, les "incised dials", furent alors perdus et remplacés, sous l'influence continentale, par les "scratch dials" moins travaillés et plus variés quant au nombre de secteurs. C'est donc un tournant important dans l'histoire de la gnomonique anglaise.

C'est au XIIème siècle qu'on entreprit de créer le choeur actuel à 2 travées avec chevet plat et de flanquer la nef de bas-côtés abattus au XVIIIème siècle (photo 4).

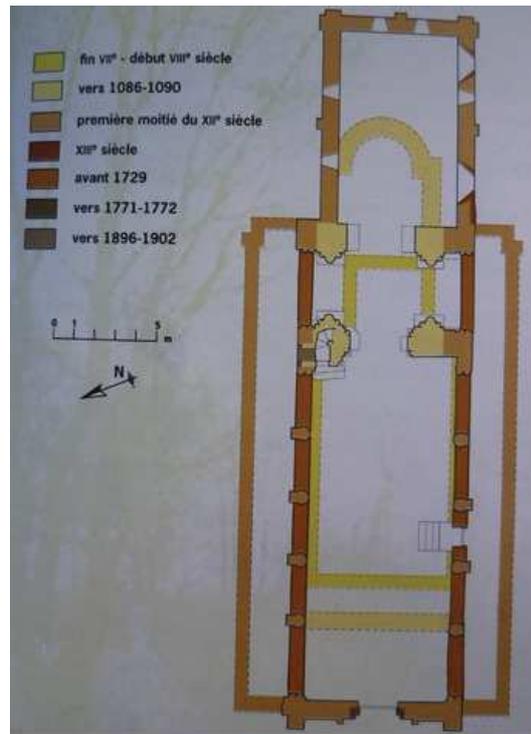


Photo 3 : Plan des édifices successifs

La totalité de l'église saint Pierre était à l'origine sous le patronage des seigneurs de Thaon qui avaient ainsi le pouvoir de présenter des candidats à la cure dont certains membres de leur famille. Ce n'est qu'en 1250, longtemps donc après la réforme grégorienne, après un siècle d'âpres luttes entre les seigneurs de Thaon et le doyen du chapitre que ce dernier récupéra la totalité du patronage qu'il prétendait avoir toujours détenu...Même avant cette date, le service pastoral des paroisses rurales pouvait être assuré par un chapitre séculier. De nombreuses sépultures ont été trouvées dans l'église de Thaon; seuls les évêques, les clercs, les fondateurs et les nobles étaient enterrés dans les églises. Les analyses paléanthropologiques confirment cette pratique.

Les 4 cadrans canoniaux (Erreur : source de la référence non trouvée) sont situés sur les 2 jambages qui encadrent la première grande arcature aveugle à partir du clocher. Il peut paraître curieux qu'ils ne soient pas sur le contrefort médian plus saillant presque à côté, même si les cadrans auraient été un peu plus éloignés de la porte aujourd'hui murée par laquelle le desservant consultait l'avancée de l'ombre. Il est vrai que les 2 cadrans inférieurs ne cherchaient pas à capter les premiers rayons du soleil puisqu'ils n'ont pas de ligne horizontale et que l'église décline vers l'ouest de 18°. Cette orientation faisait que l'ombre du style droit était à la verticale 1H30 environ après le passage du soleil au méridien. En France, les canoniaux à n'avoir de lignes qu'à gauche de la verticale sont très rares (2 autres dans le Calvados, à Fontaine-Henry et à Bretteville sur Dives, en Charente Maritime à Machennes sur la commune de Mazerolles et dans la Vienne à Sénillé).

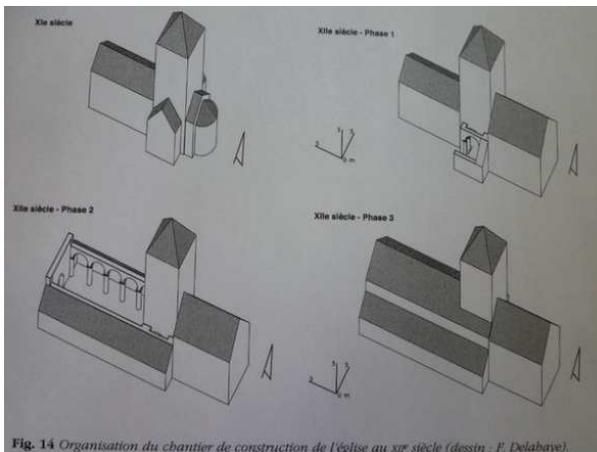
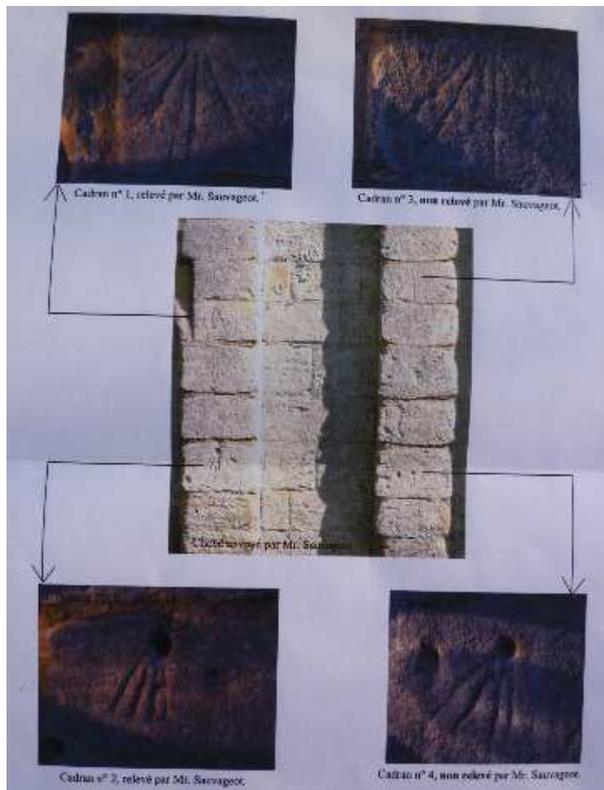


Fig. 14 Organisation du chantier de construction de l'église au XIIIe siècle (dessin : F. Delabaye).

▲ Photo 4 : Chantier de construction au XVIIIème

Photo5: Photographie des 4 cadrans, la nuit, en lumière rasante ►



En Angleterre par contre, ils représentent 17% de l'inventaire; Chris Williams, de la B.S.S., dans son étude statistique des mass dials, estime que peu de scratch dials conservés sont antérieurs à 1400

et que ceux dont les lignes n'occupent que la partie gauche seraient parmi les plus tardifs et n'ont pas une répartition géographique homogène.

A-t-on volontairement surélevé le canonial supérieur droit d'une assise par rapport à celui de gauche pour que le soleil l'éclaire assez l'hiver? Une maquette approximative exposée au soleil de mars ne le confirme pas; il faudra le vérifier sur place avec un gabarit profilé de l'ancien bas-côté. Les lignes des 2 canoniaux supérieurs, contrairement à celles des des 2 inférieurs, convergent vers un joint horizontal entre 2 pierres, celui-ci figurant les 2 lignes extrêmes.

Contrairement à la première impression, l'éventail des lignes horaires a des angulations différentes (Erreur : source de la référence non trouvée). Les 2 canoniaux inférieurs, dont il est à noter que leurs lignes convergent au bord supérieur de leur trou, ont chacun 3 secteurs, l'éventail

du canonial droit étant plus ouvert mais à quels moments de la journée liturgique les 4 lignes correspondent-elles?...

Le trou du style du cadran inférieur gauche est profond de 2,9cm, celui de droite de 1,9cm. Les éventails des 2 canoniaux supérieurs se ressemblent davantage entre eux, surtout à gauche de leur verticale.

Une caractéristique commune entre les canoniaux est le nombre de 3 secteurs à gauche avec le secteur le plus fermé à côté de la verticale. Sans doute existe-t-il néanmoins un premier petit secteur supplémentaire pour le canonial supérieur gauche.

Des questions ont déjà été posées, d'autres restent en suspens:

- Dans quel ordre chronologique ces 4 cadrans canoniaux ont-ils été gravés?
- Malgré la déclinaison gnomonique conséquente de la façade porteuse, la verticale de chacun des canoniaux correspondait-elle encore à l'heure de Sexte?
- A quels moments liturgiques les

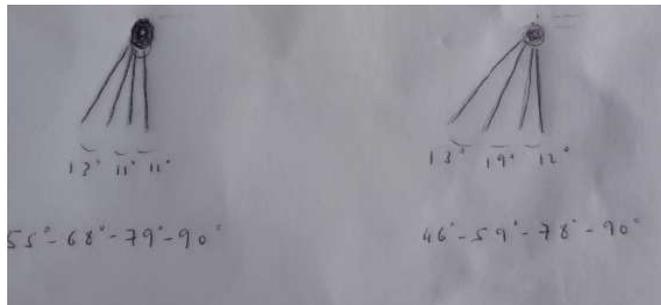
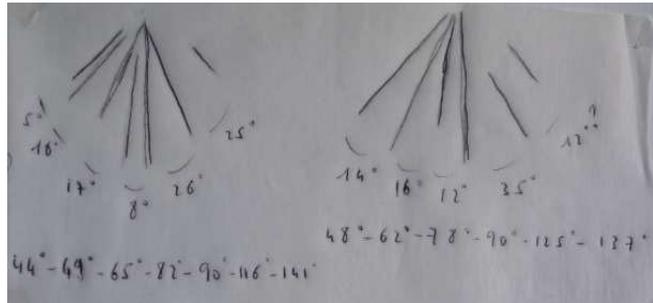


Photo 6

autres lignes correspondaient-elles et par quel clergé l'office divin était-il célébré?

Pendant très longtemps lieu de culte, l'église, aujourd'hui désaffectée, est lieu de fouilles; la prochaine campagne, avec ses relevés, lèvera-t-elle une part du mystère?

Rencontre de vacances



Cadran vu par hasard sur l'église de Rouillé (86) par Gilles Bouteville.





Et tout ceci est vrai

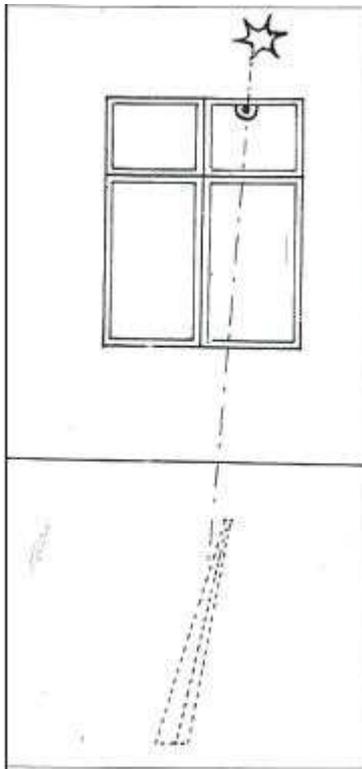
Par Joseph Theubet

Nouvelle rubrique de Joseph Theubet consacrée aux cadrans extraordinaires de part leur conception, leur emplacement, leur histoire... Si vous connaissez des « cadrans incroyables », contacter: jo.theubet@sfr.fr

- Le cadran solaire, dans la chambre à coucher, sous la moquette !

Tel est le titre de l'article de M. Paul Schott paru dans la revue « *Horlogerie ancienne* », No 68, 2^{ème} trimestre 2010 et publiée par l'AFAHA. Cette intéressante étude nous renseigne sur le pasteur alsacien J.-F. Oberlin (1740-1826), réalisateur de nombreux instruments scientifiques à but pédagogique, dont différents types de cadrans solaires. A Waldersbach, une paroisse retirée des Vosges, la maison où il a exercé son ministère durant 59 ans est devenue le Musée Oberlin.

Perspicace et obstiné, Paul Schott a retrouvé, grâce à ses recherches, un cadran solaire à un endroit tellement inattendu et insolite que même les personnes les plus crédules n'auraient pu l'imaginer. Voici le récit intégral de sa découverte :



Dessin de M. Paul Schott

« La démonstration de l'intérêt porté par J.-F. Oberlin aux cadrans solaires et à la gnomonique est renforcée par les traces d'une expérience à laquelle il s'était livré sur le plancher de son cabinet de travail, situé au 1^{er} étage du presbytère. Il s'agit d'une méridienne tracée au sol à l'aide de petits clous.

Vers la fin de l'année 1980, la tentative de l'auteur de ces lignes pour visiter cette méridienne et la photographier s'est soldée par un échec. En effet le premier étage était occupé par l'appartement du pasteur de la paroisse qui avait établi sa chambre à coucher dans l'ancien cabinet de travail du pasteur Oberlin ; une épaisse moquette recouvrait le sol.

Fin 1989, les responsables du musée m'ont fait part du déménagement du pasteur. Ce fut un grand moment. La moquette fut enlevée et les panneaux de particule démontés, pour mettre au jour les restes de cette méridienne tracée avec des clous de caboche sur le plancher.

Allez donc raconter à quelqu'un que vous avez découvert un cadran solaire dans une chambre à coucher sous la moquette !!! Le sourire narquois et sceptique de votre interlocuteur est garanti, s'il n'éclate pas franchement de rire. Serait-ce ce que l'on appelle de l'archéologie en chambre ? »

Certes, le tracé de cette méridienne n'a pas la précision habituelle, vu que le « huit » a été simplement schématisé, mais il n'en reste pas moins que l'idée de cette représentation est ingénieuse.

Merci à la revue « Horlogerie ancienne » de l'AFAHA et à Monsieur Paul Schott de nous avoir fait connaître la mise au jour d'une méridienne que chaque gnomoniste rêverait d'avoir dans sa chambre. Dorénavant, toute moquette sera considérée comme suspecte...

- Gnomoniste, artiste, fantaisiste...

Des mots prêts à la rime, disposés à s'associer, engagés à collaborer pour produire un cadran solaire (CS) remarquable. La plus belle illustration de la rencontre de ces divers talents est assurément le Nef Solaire de Tavel qui trône sur une des aires de repos de l'autoroute du Soleil. Une horloge solaire précise, superbe, à la silhouette audacieuse. Le bon peuple n'en demande pas davantage et les gnomonistes les plus pointilleux sont ravis.

Il arrive cependant qu'un des trois composants soit négligé sinon rejeté. Je présenterai deux exemples pour illustrer l'échec d'une telle conception.

A **Reims**, un CS monumental de 6 m de haut et pesant 15 tonnes est érigé sur la place des Loges-Coquault, rue de Chanzy, anciennement appelée la « Voie des Sacres ». Dénommé « La Pierre des Heures », cet horizontal incliné a été réalisé en 1991 par le sculpteur Christian Renonciat. Impressionnant cet ouvrage : muni d'un style triangulaire, il est couplé à un diamètre mobile inspiré du théodolite qui lui-même est surmonté de deux bras de visée afin de mesurer la position des corps célestes, et les lignes horaires en rails d'acier se prolongent pour n'être ignorées de personne¹. Un curieux du comportement de l'ombre solaire pourra y passer toute une journée ensoleillée sans avoir reçu le moindre renseignement ! Un CS qui en l'occurrence n'est pas fait pour cela. Gnomonistes, passez votre chemin !

Un beau « machin » comme aurait dit le Général !



¹ Fiche CCS, 51 Reims, No 5145404

A **Nuremberg**, sur la place Rosa-Luxemburg, un cadran polaire se dresse fièrement devant l’Akademie. Datant de 2001 et conçu par l’architecte Michael Wallraff, il repose sur une longue ligne en laiton marquant l’axe nord/sud. Rien de plus sérieux jusqu’ici, sauf qu’en y regardant de plus près, le style, exagérément large, n’est pas correctement centré. Et ce n’est pas tout : on ne retrouve pas la symétrie des lignes horaires entre les heures du matin et celles de l’après-midi (11h/13h, 10h/14h, 9h/15h, etc.). Un beau gâchis gnomonique, et pourtant, esthétiquement parlant, il peut certainement servir de modèle. Avec l’aide d’un cadranier, la réussite aurait été totale !

Il n’est déjà pas facile d’expliquer à un non initié le calcul de l’heure légale en fonction de l’heure solaire vraie, mais si en plus, cette heure solaire vraie est fautive, le déboussolement sera total !



- Un cadran retrouve sa maison



Voici la merveilleuse histoire d'un cadran solaire qui retrouve sa maison après une escapade d'une cinquantaine d'année. Ci-après le mail du nouveau propriétaire C. Jannin adressé à Ph. Sauvageot en mai dernier.

<<J'habite à Plouay (56) dans une vieille ferme du 17e siècle. Un jour une personne que je ne connaissais pas arrive avec sa voiture immatriculée dans le 31. Il me demande si je suis le propriétaire des lieux et me dit qu'il a un objet pour moi. Je suis très surpris et assez méfiant. Il ouvre son coffre de voiture et me montre le cadran solaire en me disant qu'il venait me le rapporter. En fait

cette personne d'environ 75 ans m'explique qu'il est marié avec une femme dont les parents ont vécu dans la ferme où j'habite. Il avait donc, dans sa jeunesse l'habitude de venir ici.

Or dans les années 60, la famille de sa femme est partie et tout le monde est venu aider au déménagement. Ce jour là, le Monsieur en question a trouvé au sol le cadran solaire qu'il avait connu fixé sur la façade de la ferme. Il n'a pas pu le laisser ainsi abandonné au sol

et l'a emporté chez lui. Et donc environ 50 ans plus tard, il est venu me le rapporter en m'expliquant que sa place était ici et nulle part ailleurs.



Pour moi cet objet a donc une grande valeur émotionnelle, et historique. Or, vous le constaterez sur les photos, le style n'est plus là. J'aimerais donc en remettre un en place mais ne veux pas faire n'importe quoi (taille, forme, fixation). De quelle manière dois-je procéder ? Y-a-t-il près de chez moi, une personne susceptible de m'aider ?

Merci pour ce que vous ferez pour que ce cadran solaire retrouve sa place sur la façade de ma maison.

Cordialement

Cyril Jannin >>

Ce cadran de 1734 va être restauré et retrouvera son emplacement d'origine. Nous vous tiendrons informé de la suite qui sera donnée à cette histoire.



Un cadran gravé au dos d'un plat en étain

Cette photo qu'un ami a envoyée à Michel Lalos mérite bien de figurer dans cette rubrique!





Multifaces de Colmar

Par Joseph Theubet

Lorsqu'un chasseur de cadrans solaires trouve un multifaces sur son chemin, cela déclenche forcément une vive émotion... gnomonique.

C'est ce qui m'est arrivé en décembre 2010 lors d'une visite au Musée d'Unterlinden de Colmar, lorsque je découvris, au bas d'une vitrine, caché dans une niche, un sombre multifaces dont on ne voyait qu'une face ! Grâce à l'amabilité de l'attaché de conservation, M. B. Delcourte qui a accepté de *mettre au jour* ce cadran ignoré de tous, je pus en photographier quelques faces.

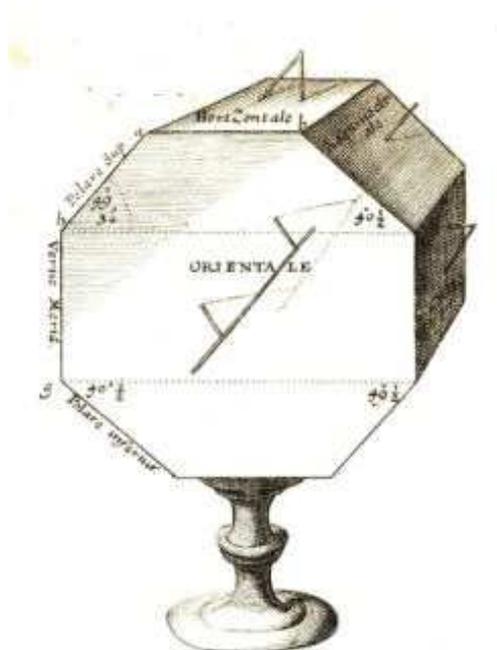
Connaissant le don d'analyse de **J.-M. Poncelet** pour les multifaces¹, je m'adressai à lui afin d'examiner sous toutes ses coutures ce cadran jusque-là délaissé.

Après s'être enquis de données et de photos supplémentaires, il a accepté de bonne grâce de rédiger un des textes ci-dessous.

Un historique de ce cadran s'imposait, et c'est **D. Savoie** qui l'a rédigé dans un temps record.

Je tiens à remercier sincèrement ces deux amis gnomonistes d'avoir contribué à la renaissance du multifaces de Colmar.

Joseph Theubet



Gravure d'E. Welpen (1590-1664)

Les multifaces par Denis Savoie

Les cadrans solaires multifaces occasionnent toujours un grand intérêt parce qu'ils semblent incarner l'apothéose des difficultés du calcul gnomonique : il s'agit de plans ou de volumes associés, d'orientation et d'inclinaison différentes, ce qui pose en plus le problème de la limitation de leurs heures limites. Ce sont donc des objets assez rares, très souvent prestigieux, comme en témoignent par exemple le célèbre cadran multifaces du Mont Sainte-Odile en Alsace ou celui du château de la Groirie dans la Sarthe².

Les cadrans multifaces remontent à l'Antiquité³ et deviennent à la mode dès le XV^e siècle avec le renouveau de la gnomonique. Même si l'on possède des manuscrits qui en décrivent quelques exemplaires, il faut attendre l'imprimerie pour que soient largement diffusées non seulement leurs représentations sur des gravures mais aussi la façon de les réaliser. Brossons un rapide résumé de leurs évolutions livresques.

La plus ancienne gravure d'un cadran multifaces, provient, semble-t-il, d'un ouvrage influent écrit en 1525 de Albrecht Dürer⁴ (1471-1528), célèbre artiste et mathématicien allemand,

¹ Voir son étude sur le Monument gnomonique du Mont Sainte-Odile publié par la Société d'Histoire et d'Archéologie de Dambach – Barr – Obernai, 2008

² Aujourd'hui dans le parc de l'abbaye de l'Epau près du Mans.

³ Voir S. L. Gibbs, *Greek and Roman Sundials*, London, 1976, p. 382-390.

⁴ *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheit, in Linien, Ebenen und gantzen corporen,*

qui a consacré quelques pages aux cadrans solaires. Il y donne le dessin d'un polyèdre comportant dix faces dont neuf sont occupées par un cadran solaire à style polaire (*fig. 1*). Les cadrans que l'on voit sur la gravure semblent très corrects et bien encadrés par les heures limites. Si cette gravure a tout de suite marqué les esprits, d'autres figures de l'ouvrage de Dürer, consacrées en particulier aux polyèdres, inspireront les gnomonistes de la seconde moitié du XVI^e siècle.

Cette gravure de Dürer, latinisée et recomposée à l'identique avec quelques subtils changements, est publiée quelques années plus tard par un compatriote et contemporain, Sébastien Münster (1488-1552), savant humaniste (et gnomoniste) qui a édité en 1531 à Bâle la *Compositio Horologium*, ouvrage qu'il convient de considérer comme le premier ouvrage complet consacré aux cadrans solaires⁵ et qui aura une grande influence sur la littérature gnomonique ultérieure. Il y traite des cadrans classiques (horizontal, polaire, équatorial, méridional) et finit par les assembler sur le même bloc polyédrique que Dürer (*fig. 2*). D'autres figures de l'ouvrage de Münster sont d'ailleurs largement inspirées de celles de Dürer. Quelques années plus tard, en 1544, dans un autre traité de gnomonique également publié à Bâle, *Fürmalung und künstlich beschreibung der Horologien*, Münster redonne la même gravure, mais avec des développements plus conséquents sur les cadrans multifaces ; même situation dans ses *Rudimenta Mathematica* parus à Bâle en 1551.

Il faut préciser qu'un événement relatif aux cadrans multifaces s'est produit entre l'édition *princeps* de 1531 et 1533, année où Münster publie une nouvelle édition de sa *Compositio Horologium*. A la même époque, le mathématicien français Oronce Fine (1494-1555), qui va devenir *Lecteur royal* grâce à François 1^{er}, publie en 1532 un monumental ouvrage de mathématiques, le *Protomathesis*, qui se compose en fait de plusieurs parties⁶ dont la dernière est le *De solaribus horologiis*, et qui concerne donc la gnomonique. L'ouvrage *De solaribus* est lui-même divisé en quatre livres et traite notamment des cadrans multifaces ; Oronce Fine y donne des belles gravures (*fig. 3 et fig. 4*), qui vont se retrouver dans l'édition de 1533 de Münster (*fig. 5 et fig. 6*) ainsi que dans ses ouvrages ultérieurs sans référence⁷ à leur auteur français !

Ces gravures de cadrans multifaces se retrouvent chez Jehan Bullant dans son *Recueil d'Horlogiographie*, paru à Paris en 1561 (*fig. 7*), – et qui lui cite ses sources –, avec des améliorations et des compositions originales (*fig. 7bis*).

Un an plus tard, Andreas Schöner, dont le père Johannes Schöner a publié le tout premier ouvrage sur les cadrans solaires paru en 1515, publie en 1562 à Nüremberg sa *Gnomonice*⁸, plutôt obscure avec des figures effrayantes, mais qui contient une gravure sans doute inspirée de Dürer et qui montre (*fig. 8*) un polyèdre déplié sur lequel on a tracé un cadran solaire sur toutes les faces.

La porte est désormais ouverte à des compositions plus élaborées car jusque-là on était resté sur des cadrans multifaces somme toutes classiques, qui mélangeaient des cadrans usuels, sous entendu des cadrans pour lesquels l'inclinaison et surtout l'orientation prenaient des valeurs remarquables. Les gnomonistes se lancent alors dans toutes sortes de polyèdres ainsi que dans les cadrans croix et les cadrans en étoiles, ce qui permet à l'imagination baroque d'un Athanase Kircher d'allier les deux dans des gravures célèbres de son *Ars magna et lucis umbrae* paru à Rome en 1646 (*fig. 9*).

Signalons enfin deux ouvrages qui réservent un traitement de choix aux cadrans multifaces :

Nüremberg, 1525, p. 109-113.

⁵ Une analyse détaillée de cet ouvrage a été donnée par J.-B. Delambre, *Histoire de l'astronomie au Moyen âge*, Paris, 1819, p. 573-600.

⁶ Une étude très complète a été publiée par I. Pantin, « The astronomical diagrams in Oronce Finé's *Protomathesis* (1532) : founding a french tradition ? », *Journal for the History of Astronomy*, xli, 2010, p. 287-310.

⁷ Voir l'étude fondamentale de C. Eagleton, « Oronce Fine's Sundials : The Sources and Influences of *De Solaribus horologiis* », dans Alexander Marr (ed), *The worlds of Oronce Finé : Mathematics, instruments and print in Renaissance France*, Donington, 2009, p. 83-99.

⁸ Voir l'analyse détaillée donnée par J.-B. Delambre, *Histoire de l'astronomie au Moyen âge*, Paris, 1819, p. 601-611.

tout d'abord le *Compendium* de Christoph Zwicker paru en 1660 à Nürnberg avec un magnifique cadran polyédrique déplié puis assemblé (fig. 10 et fig. 11). Et enfin un des plus beaux ouvrages de gnomonique, la *Gnomonica Mechanica Universalis* de Johann Gaupp, dans son édition de 1720 parue à Francfort et Leipzig, qui donne des pages superbes sur les polyèdres (fig. 12 et fig. 13).

A la fin du XVIII^e siècle et plus encore au XIX^e siècle, les cadrans multifaces s'effacent progressivement des planches illustrées des ouvrages de gnomonique. Ce faisant, ils vont susciter encore plus de curiosité et d'intérêt.

Denis Savoie

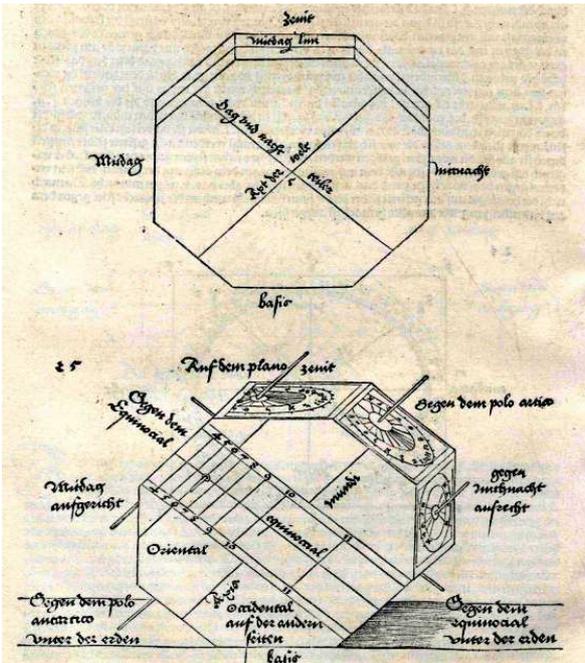


Fig. 1 – Albrecht Dürer, *Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheit, in Linien, Ebenen und gantzen corporen*, Nürnberg, 1525.

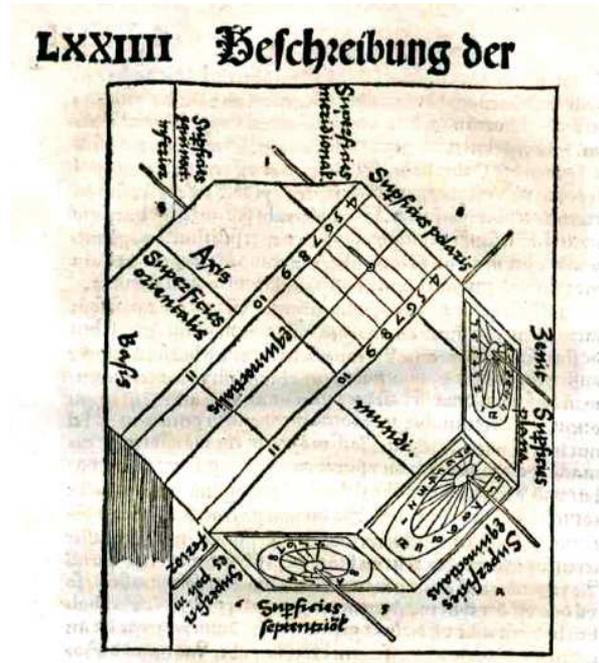


Fig. 2 – Sébastien Münster, *Compositio Horologium*, Bâle, 1531.

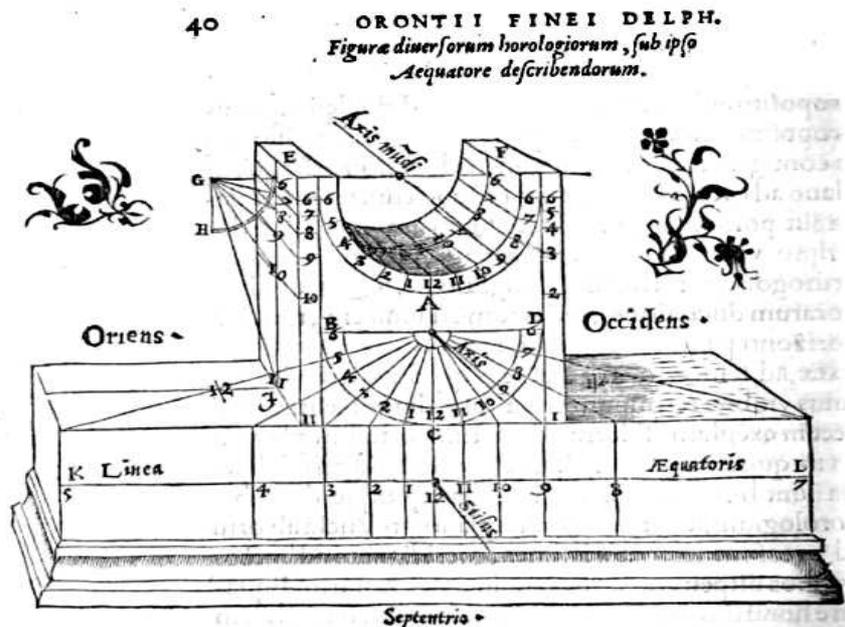


Fig. 3 – Oronce Fine, *De solaribus horologiis*, Paris, 1532.

Figure de l'horloge sous l'equateur, en superficie concaue, droite, & horizontale.

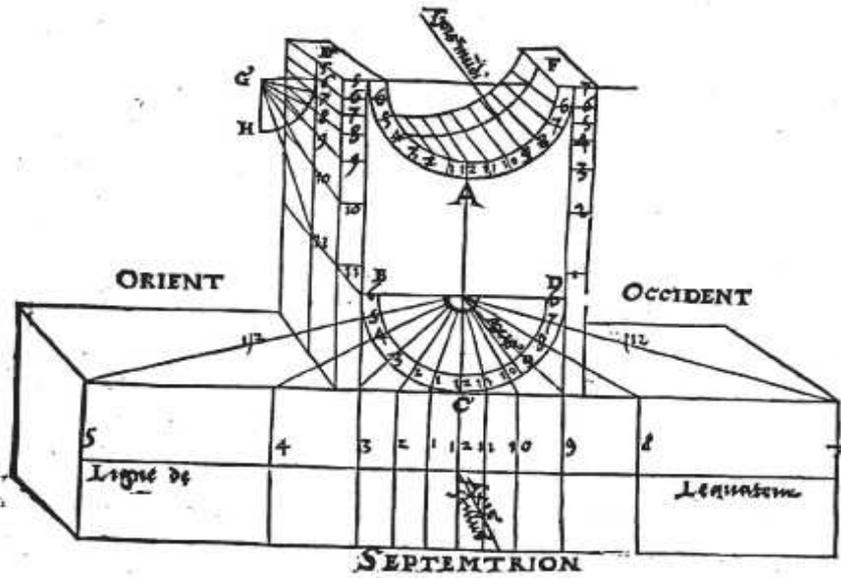


Fig. 7 Jehan Bullant, *Recueil d'Horlogiographie*, Paris , 1561.

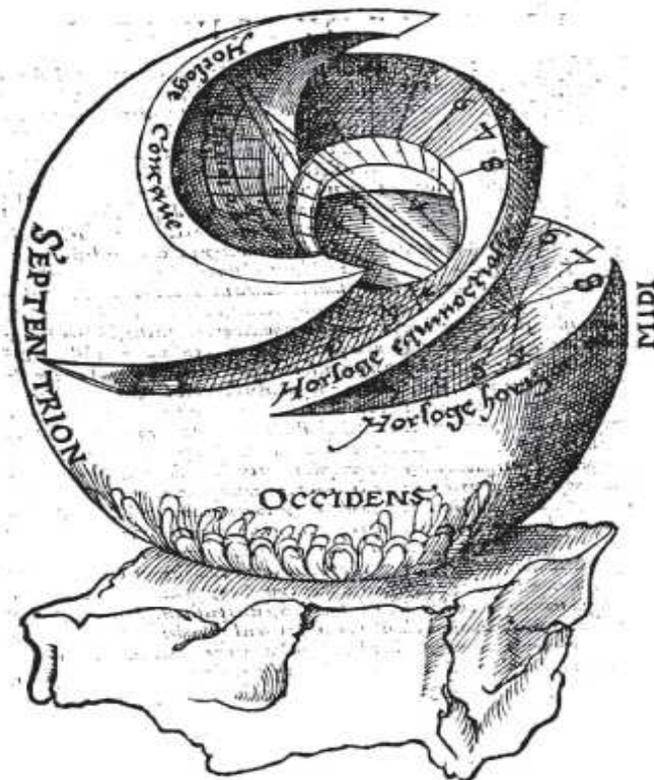


Fig. 7 bis Jehan Bullant, *Recueil d'Horlogiographie*, Paris , 1561.

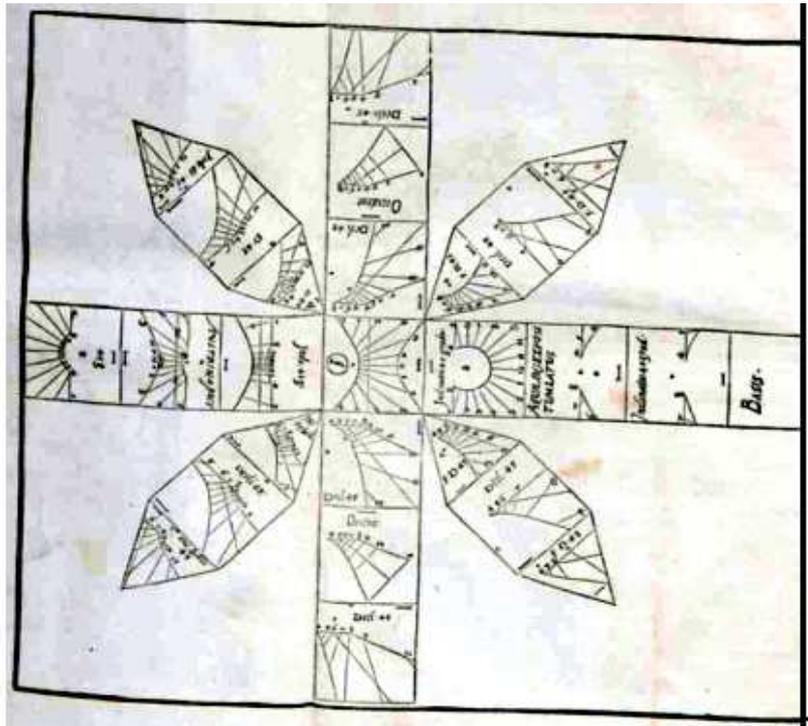
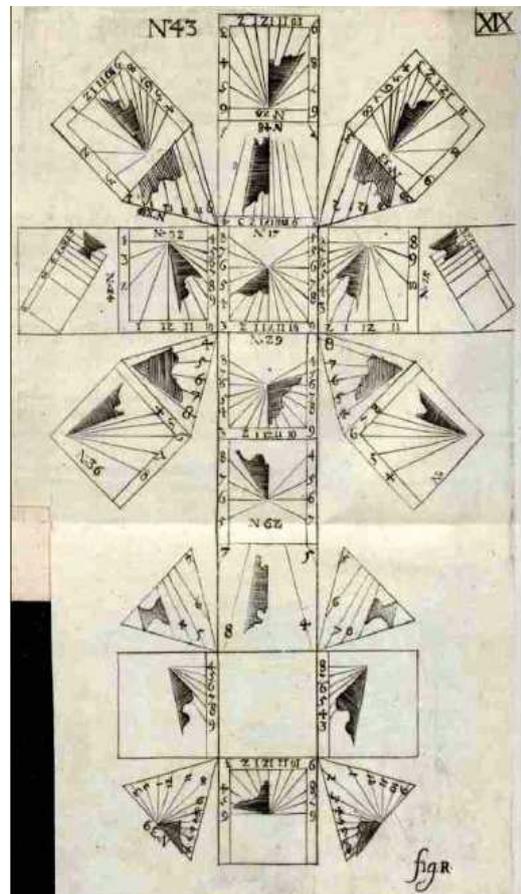
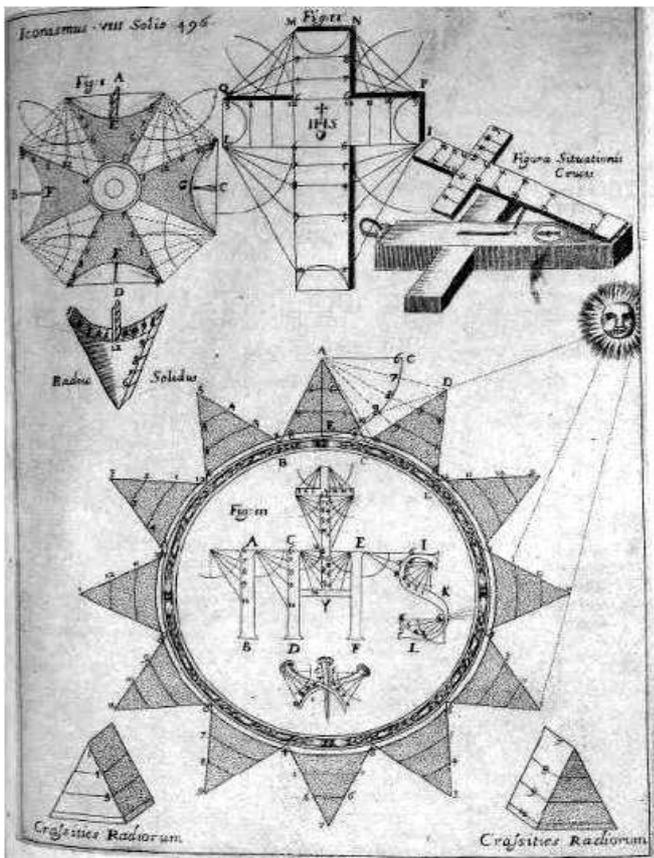


Fig. 8 Andreas Schöner, *Gnomonice*, Nüremberg, 1562.



▲ Fig. 9 Athanase Kircher, *Ars magna et lucis umbrae*, Rome, 1646

Fig. 10 – Christoph Zwicker, *Compendium Horologico-Sciotericum*, Nürnberg, 1660 ▲

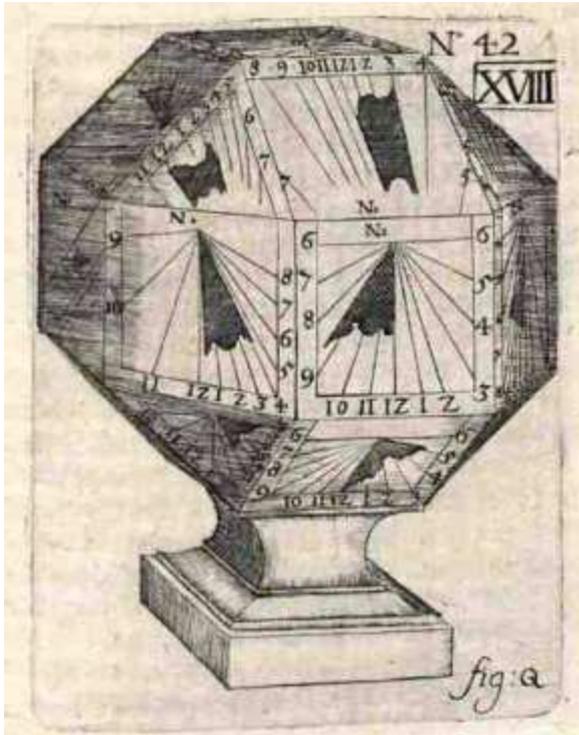


Fig. 11 – Christoph Zwicker, *Compendium Horologico-Sciotericum*, Nürnberg, 1660

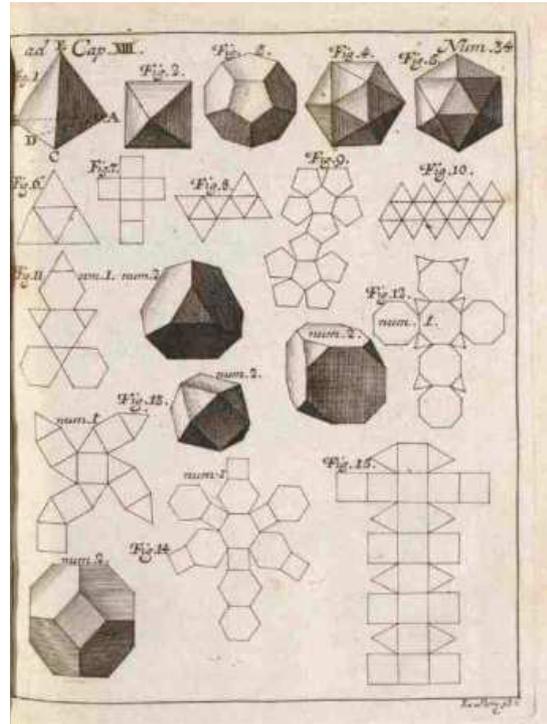


Fig. 12 – Johann Gaupp, *Gnomonica Mechanica Universalis*, Francfort et Leipzig, 1720

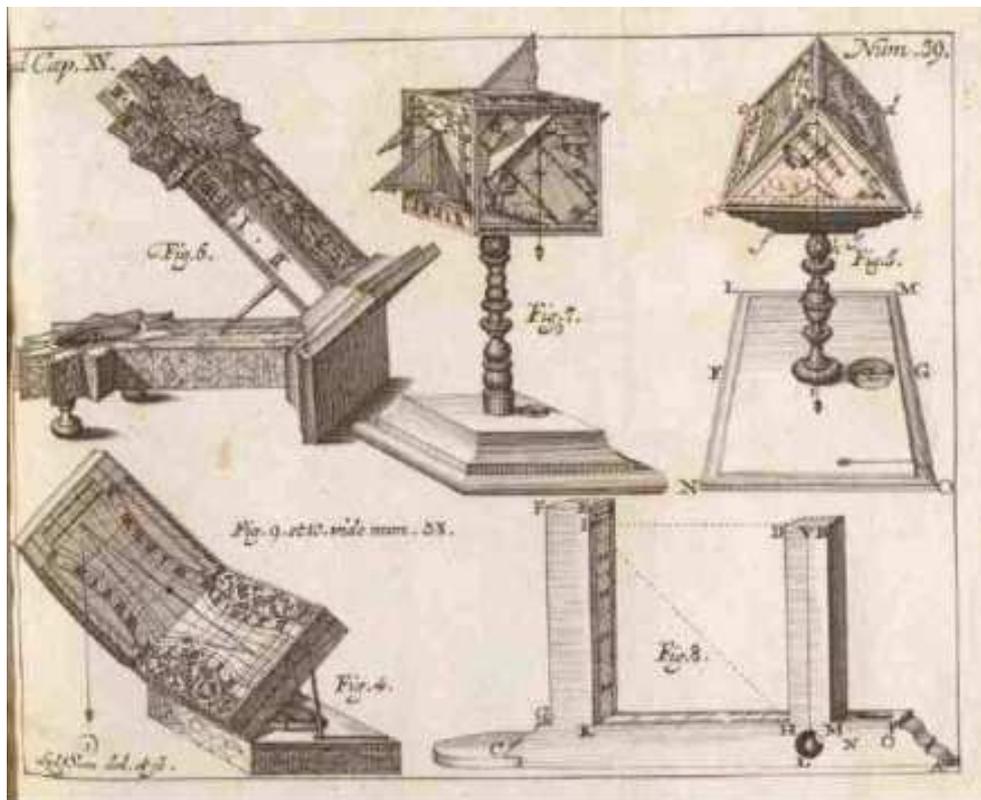


Fig. 13 – Johann Gaupp, *Gnomonica Mechanica Universalis*, Francfort et Leipzig, 1720

Le bloc gnomonique du Musée d'Unterlinden de Colmar (Alsace) par Jean-Marie Poncelet

Dans une vitrine de la salle N° 14, dénommée « Histoire de Colmar », située au 1^{er} étage du Musée, est exposée cette belle réalisation, œuvre de Mr Boillot, ancien inspecteur-voyer de la ville de Colmar. On peut la dater du début du 19^{ème} siècle, époque d'existence de la fonction d'agent-voyer.

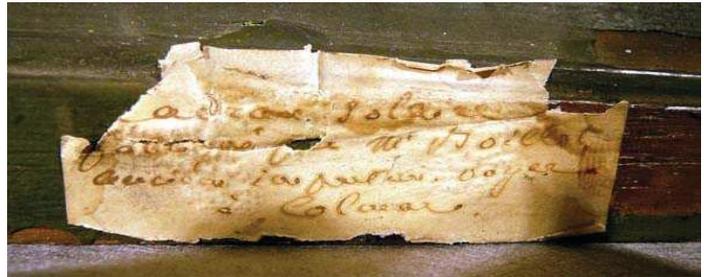


L'ensemble comporte un polyèdre à 10 faces monté sur un pied en bois tournant sur un socle à base carrée. Sur les 10 faces du polyèdre, 9 représentent des cadrans solaires, la 10^{ème} servant de support.

Les 24 arêtes du polyèdre sont marquées d'une couleur rouge-brun. Deux faces sont des octogones (irréguliers), les 8 autres sont des rectangles ayant tous la même longueur, mais de largeur variable. Les 9 cadrans solaires peints sont bordés de cotés noirs. Les lignes horaires sont tracées en rouge et les heures écrites en noir. Les différents styles sont découpés dans une fine plaque métallique sauf ceux des cadrans équatoriaux qui sont des styles droits.

Sur le dessus carré du socle est peint un disque blanc gradué de 5 degrés en 5 degrés. Le pied mobile comporte un index en cuivre permettant d'orienter le polyèdre.

Sur l'une des faces du pied, une étiquette rappelle les origines du cadran :
« Cadran solaire fabriqué par Mr Boillot ancien inspecteur-voyer de Colmar » ►

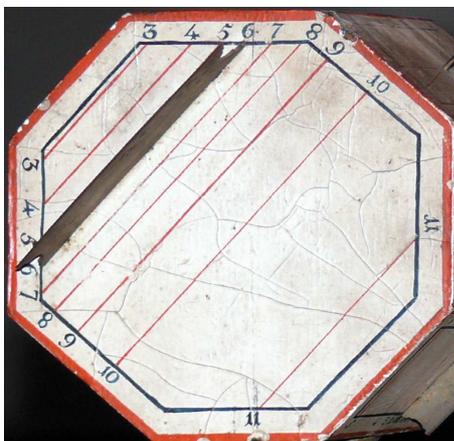


A partir des mesures prises sur le polyèdre, il est possible de trouver par le calcul la latitude pour laquelle les cadrans ont été tracés. La latitude ainsi trouvée

est : 48° Nord. Or la latitude du centre de Colmar est : 48° 05' Nord. Les cadrans ont bien été conçus pour Colmar.

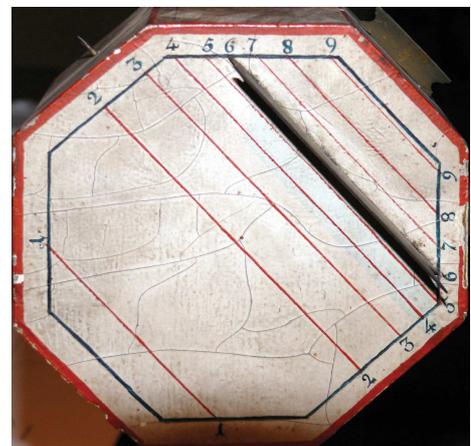
Étude des différentes faces

Face Est : cadran oriental



Face Sud : cadran méridional

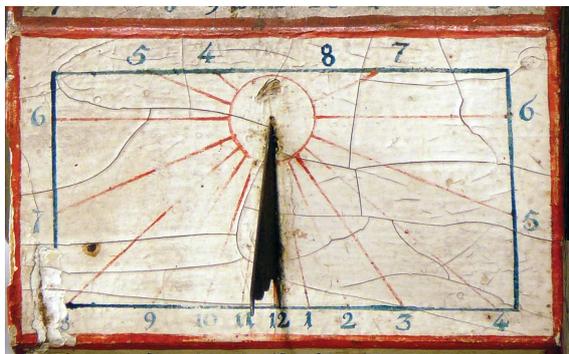
Face Ouest : cadran occidental



Face Nord : cadran vertical nord

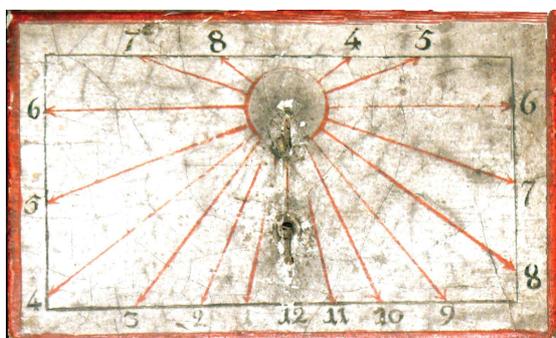
Chaque octogone a une hauteur de 124 mm pour une largeur de 117 mm. Les styles de forme rectangulaire ont une hauteur de 19 mm.

Longueur : 86 mm. Largeur : 50 mm
Style triangulaire de hauteur 21 mm.



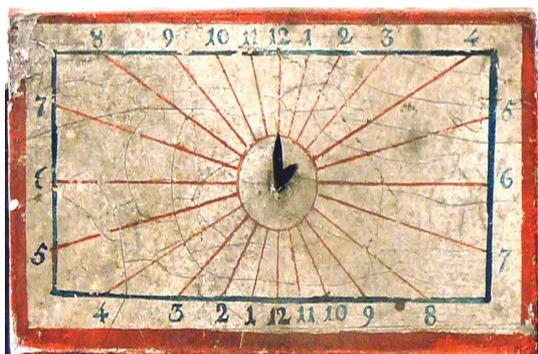
Face supérieure : cadran horizontal

Longueur : 86 mm. Largeur : 55 mm
Style perdu



Face Nord haut : cadran équatorial (printemps-été)

Longueur : 86 mm Largeur : 46 mm
Style droit de hauteur 8 mm

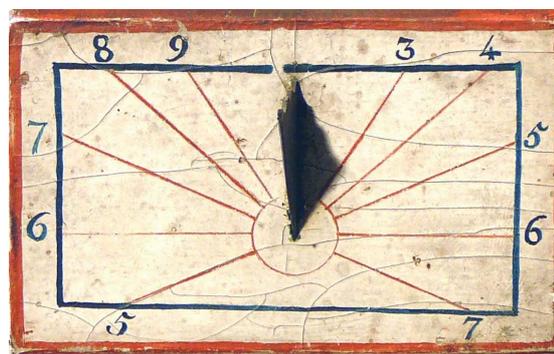


Face Nord bas : cadran polaire bas ►

Longueur : 86 mm Largeur : 50 mm
Style de forme rectangulaire de hauteur 10 mm.

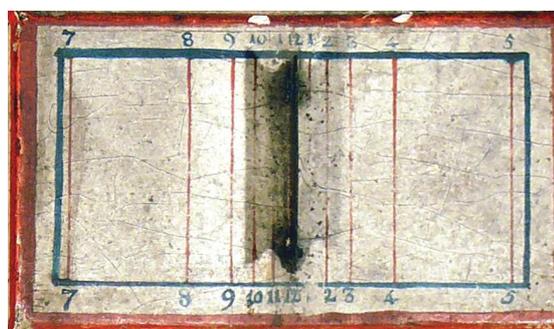


Longueur : 86 mm. Largeur : 55 mm
Style triangulaire de hauteur 21 mm



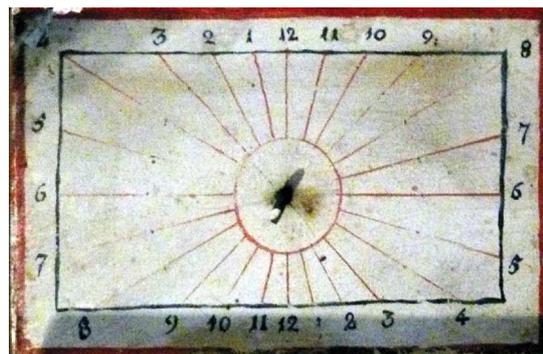
Face Sud inclinée haut : cadran polaire

Longueur : 86 mm. Largeur : 48 mm
Style de forme rectangulaire de hauteur 9 mm
Inclinaison : 48° sur l'horizontale

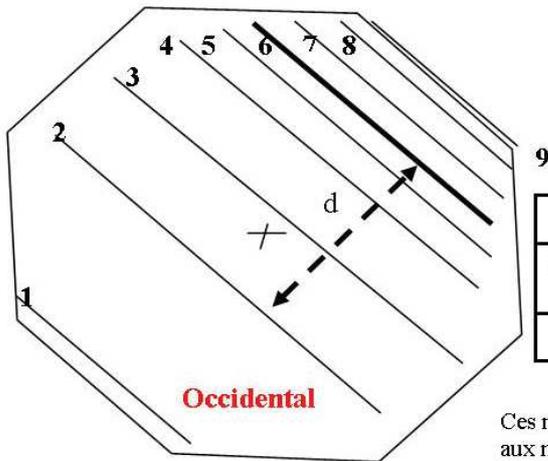


Face Sud bas : cadran équatorial

Longueur : 86 mm Largeur : 53 mm
Style droit de hauteur 12 mm



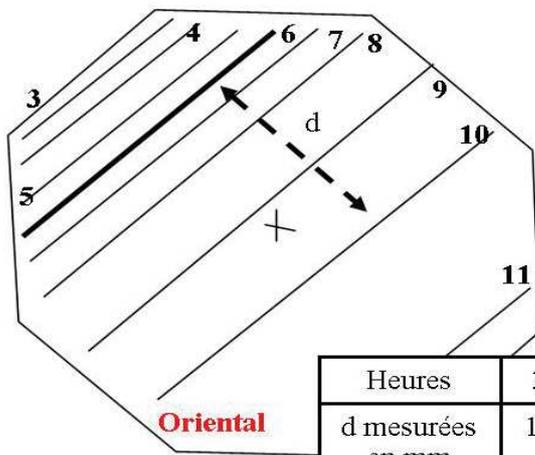
Faces Est et Ouest



Distances d entre les lignes horaires H et la ligne de 6 h

Heures	9	8	7	5	4	3	2	1
d mesurées en mm	19	11	5	5	11	19	33	69
d calculées	19	11	5,1	5,1	11	19	32,9	70,9

Ces mesures correspondent exactement aux mesures théoriques pour une hauteur de style de 19 mm.

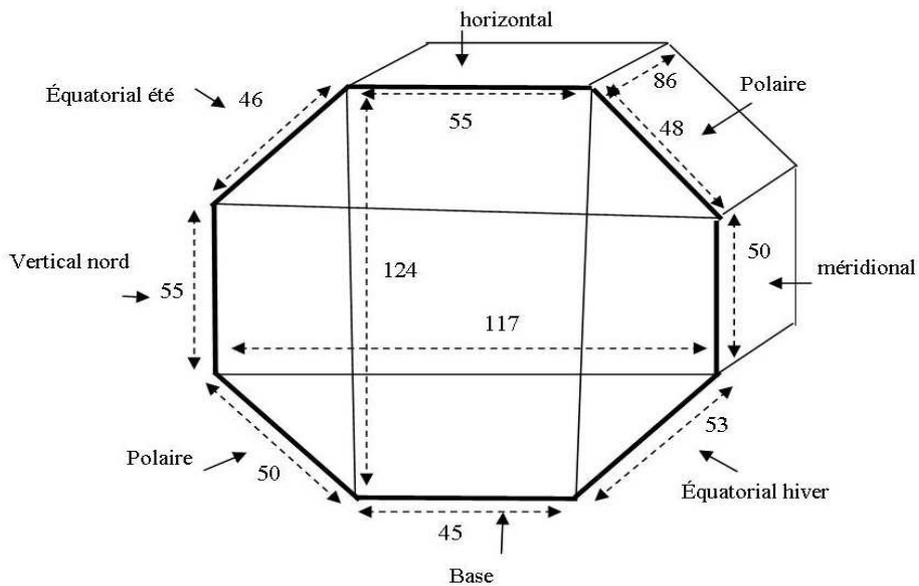


Hauteurs mesurées des styles des deux cadrans : 19 mm

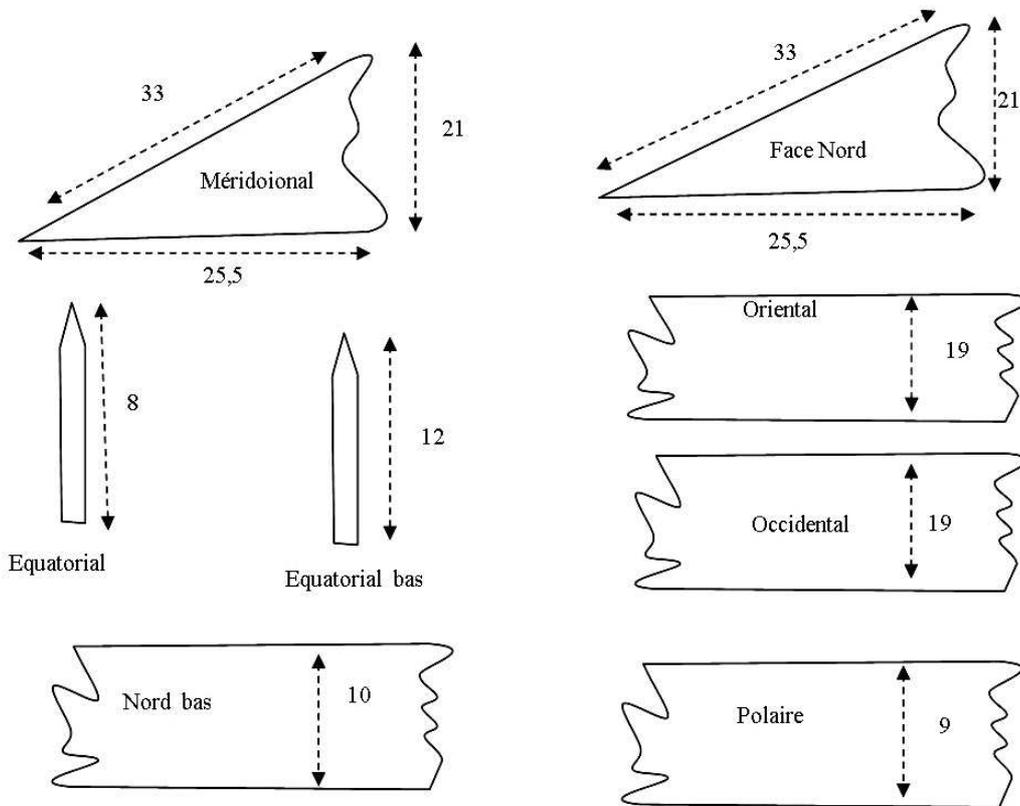
Heures	3	4	5	7	8	9	10	11
d mesurées en mm	19	10,5	5	5	11	19	33	70

Dimensions du bloc, de ses différentes faces, et des styles :

Mesures prises le 02/02/2011, en mm



Les styles

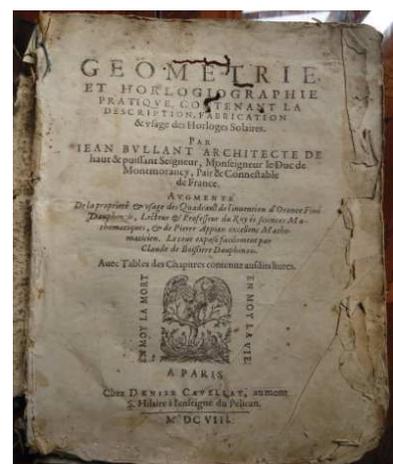


Horlogiographie au 16ème siècle

Le jour de la mise en page de l'article ci-dessus, j'ai reçu un courrier de Monsieur Marcel Gay me communiquant un article de sa plume prévu pour le bulletin ANCAHA n° 121-été 2011.

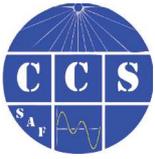
Celui-ci a pour titre « Horlogiographie au 16ème siècle ». Nous y retrouvons quelques images présentées dans le texte de D. Savoie.

L'article repose sur un ouvrage écrit en 1561 et publié en 1608. Après autorisation du propriétaire, M. Gay met à la disposition de la commission une copie de ce livre.



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

° Copie intégrale du livre "GEOMETRIE et horlogioraphie pratique, contenant la description, la fabrication & l'usage des horloges solaires par Jean Bullant", MDCVII.



Le cadranier inconnu du Queyras (2ème partie)

Par Michel Ugon et Paul Gagnaire

Résumé de la 1ère partie (Cadran-Info n° 23) En cherchant l'identité du mystérieux cadranier qui a réalisé une bonne vingtaine de cadrans solaires dans le Queyras entre 1821 et 1839, nous avons commencé notre périple aux Meyriès en établissant que le cadran Sud-Est de la maison Thier avait été assez bien tracé malgré un mur incurvé, et en montrant que préalablement à Zarbula, cet inconnu utilisait les mêmes méthodes géométriques, notamment pour obtenir l'angle stylaire par rabattement autour de la sous-styloire à l'aide du fameux point « Z » sur l'horizontale (voir Cadran Info n°14 et 15). Grâce à l'informatique, nous avons même réussi à restaurer entièrement un autre cadran des Meyriès très endommagé lors du percement d'une fenêtre, avec ses graphismes et sa devise.

Mais qui était donc cet inconnu si habile artiste et gnomoniste, dont nous savons maintenant qu'il n'était pas le maître de Zarbula ?

Nous allons nous remettre sur ses traces, en prenant la route départementale n°5 qui monte à Saint Véran, village juché à plus de deux mille mètres d'altitude, et en nous arrêtant au hameau de La Chalp-Sainte-Agathe où subsistent encore plusieurs vestiges de ses cadrans. La plupart des maisons de ce hameau, dont les coordonnées sont N 44°42' et E 6°52'15", se trouvent à l'est de la route, sur la hauteur.

2ème partie : Les cinq cadrans de La Chalp-Sainte Agathe

Dans La Chalp-Sainte-Agathe, dirigeons nous d'abord vers les deux cadrans complémentaires les mieux conservés qui se trouvent en hauteur à l'angle sud-est d'une maison sise à proximité du centre du hameau sur la colline.

1 – Les cadrans complémentaires de la Chalp-Médian

Voici d'abord un cliché de ces deux cadrans que nous nommerons « La Chalp-Médian ». Il apparaît immédiatement que cette bâtisse est orientée exactement Nord-Sud, ce qui donne deux cadrans complémentaires caractéristiques, l'un regardant l'ouest et l'autre vers le sud.



Figure 1

1-1 Le cadran Médian-Ouest

Il s'agit d'un cadran déclinant occidental, donc ayant une déclinaison gnomonique D égale à 90° .

1-1-1 L'éventail horaire et le style

Sur ce cadran, le marquage des heures a disparu, mais la figure 2 est un cliché sur lequel nous les avons rappelées en surimpression. Comme le cadran est occidental, les lignes horaires sont perpendiculaires à l'équatoriale dont la pente est égale à la co-latitude du lieu. Nous avons contrôlé sur un cliché corrigé en perspective que l'espacement des lignes suit bien une progression en $a.ctgH$, où a est la distance du style au mur (hauteur du style droit) et H l'angle horaire. Ainsi, la ligne de midi est rejetée à l'infini comme il se doit et, en remontant sur l'équatoriale la première ligne fléchée en bas est celle de 12H45. Comme ce n'est pas une heure ronde, elle est dotée d'une flèche plus courte que les autres. Ensuite on distingue bien les lignes de 13 à 20 heures (marquées de 1,2,3,4,6 et 8) avec une sous-stylaire classique à 18 heures. Les demi-heures sont marquées par des flèches inversées et le style, terminé par une flèche et un œilleton, est parallèle au mur.



Figure 2 : Le cadran de La Chalp – Médian –Ouest. [1]

1-1-2 Les inscriptions

Au centre d'un soleil se lit l'inscription « IHS » surmontée d'une croix, et encadrée par la date de 1836.

Le signe du capricorne J est presque effacé à l'extrémité basse de la sous-stylaire, et ceux du bélier A et de la balance G figurent sur l'équatoriale. Les positions de ces signes sont inversés par rapport aux habitudes mais nous savons (voir la partie 1- § 1-5) que cette inversion des signes du zodiaque est caractéristique de ce cadranier inconnu.

Le bas du cadran a été occupé par une ou plusieurs devise devenues illisibles, tandis qu'une zone grattée apparaît à l'extrémité basse de l'équatoriale sous l'empennage de la flèche de 12H45, cache-t-elle une signature commençant par un « C » ?

Sous la devise, nous avons bien remarqué la signature « C.Riccardo » qui nous a laissé penser quelque temps que nous tenions là le nom de cet inconnu, comme marqué au crayon. Cependant un ancien cliché de ce cadran [2] nous a montré que cette signature n'existait pas il y a seulement 20 ans. Peut-être s'agit-il d'un souvenir laissé par le constructeur de la fenêtre où du balcon ?

1-1 Le cadran Médián-Sud

La figure 3 montre ce cadran parfaitement méridional (donc $D = 0$). Nous y avons redressé partiellement l'effet de perspective avec une horizontale presque perpendiculaire à la ligne de midi.



Figure 3 : Le cadran de La Chalp – Médián – Sud. [1]

1-1-1 L'éventail horaire

L'éventail horaire de ce cadran a été recalculé en vérifiant l'exactitude de ses grandes lignes symétriques et fléchées. Les demi-heures sont marquées par de courtes flèches inversées

1-1-2 Les inscriptions

Le « IHS » classique surmonté d'une croix trône au centre d'un Soleil qui est entouré de la date de 1836. Une série de chiffres horaires sous-jacente apparaît en rouge sur le pourtour, ce qui permet de penser qu'il existe plusieurs cadrans superposés. L'éventail horaire correspondant était d'ailleurs erroné puisque les chiffres 3, 4 et 5 sont nettement décalés.

En agrandissant le cliché, le signe du cancer D se devine au dessus du pied de la jambe de style, par contre nous n'avons pu mettre en évidence le signe du capricorne peut-être caché derrière le M de la ligne de midi.

Le devise située dans le bandeau inférieur a aujourd'hui disparu.

2- Le cadran de la Chalp-Haut

En revenant un peu sur nos pas, il suffit d'emprunter cette ruelle montante vers le nord pour découvrir ce vestige presque plein sud au style tordu toujours présent. Il nous a fallu retourner plusieurs fois sur les lieux pour tenter de comprendre ce qui a pu se passer ici, car ce grand motif peint a presque disparu, tandis que de nombreux tracés gravés sur l'enduit apparaissent encore. Nous remarquons également l'inscription gravée nettement sur la cheminée : BE 1836 Avec les initiales du propriétaire, nous avons ici la date de construction de la maison et probablement celle du cadran.



Figure 4 : Le site du cadran de La Chalp – Haut

2-1 les tracés

Sur le cliché de la figure 5 qui a été « travaillé », en particulier pour redresser l'effet de perspective, nous pouvons faire les remarques suivantes en observant les lignes subsistantes (figure 6) :

- Il y a eu plusieurs cadrans superposés et décalés à cet emplacement. Nous indiquerons leurs tracés par les indices 1,2 et 3 dans l'ordre de leur réalisation supposée

- Le style tordu correspond probablement au dernier d'entre eux

- Il y a au moins deux centres légèrement décalés, que nous noterons C2 et C3

- Le style a été déplacé au moins une fois, et l'on voit très bien les anciens scellements.



Figure 5 : Le vestige de La Chalp – Haut

- Le cercle diviseur CD3 et son centre W3 est bien visible au sommet du triangle rectangle T3W3Q3

- Un cercle CZ2 est visible, il donne un point « Z2 » vers 15H30 sur l'horizontale qui correspond au cadran n°2.

- Il y a deux lignes horizontales très voisines H2 et H3

- On voit bien une équatoriale Eq2 tandis que E1 à disparu et qu'il ne subsiste qu'une légère trace de Eq3 dans l'encadrement.

- Les intersections des horizontales avec les équatoriales donnent trois points triples T1, T2 et T3. Celle de l'horizontale H3 avec la ligne de 6 heures coïncide avec T3
- Le centre W3 du cercle diviseur CD3 permet de tracer la sous-styloire ST3 qui fait un angle tabulaire voisin de 10° avec la ligne de midi verticale C3M3
- Les lignes horaires de 12H30 et 13H sont encore apparentes
- La sous-styloire s'obtient en joignant les centre C3 et W3. Son angle tabulaire avec la ligne de midi est de 10°.
- Deux cercles concentriques situés au dessus des centres ont probablement servi à peindre un décor de Soleil propre à l'inconnu.

2-2 Interprétation

Nous avons déjà remarqué que ce cadran comportait plusieurs tracés successifs. Le tracé n°3 correspond à une déclinaison gnomonique de -10° avec une sous-styloire SST3 voisine de la ligne de 11H. Ce cadran recalculé nous a donné le tracé superposé en noir sur la figure 7, avec un point triple T3 sur l'horizontale H3 situé près de l'encadrement. Nous remarquons également les deux lignes de midi verticales

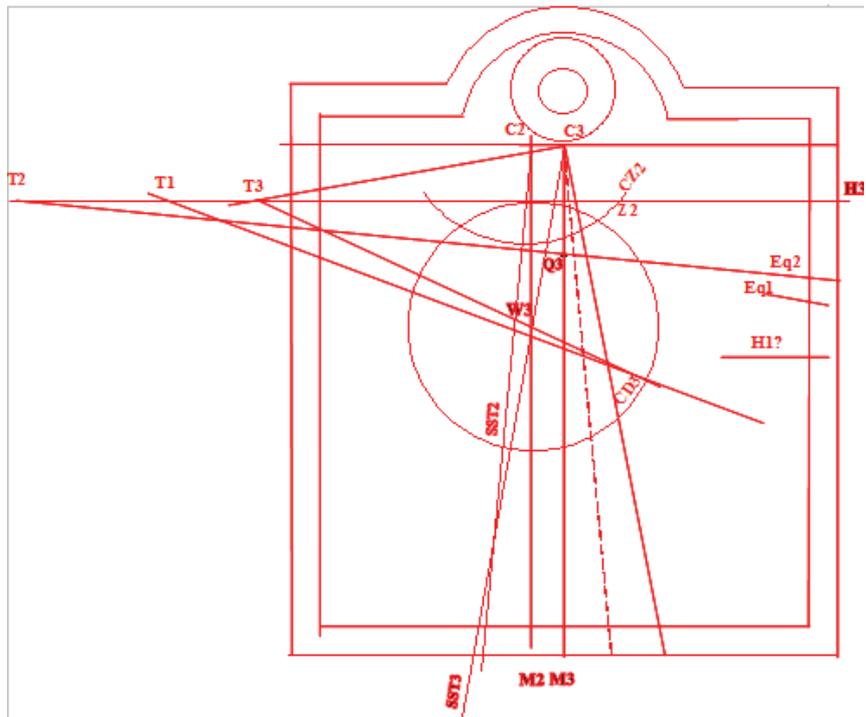


Figure 6 : Les tracés apparents sur le cadran

passant respectivement par C2 et C3. La position de C2 nous indique que ce cadran n°2 a été tracé avec une déclinaison gnomonique D de -5° et une sous-styloire SST2 proche de 11H35. Notant que les deux lignes de midi successives sont verticales, nous en déduisons que les différents cadrans ont été tracés en supposant le mur également vertical. Or nous avons pu nous rendre compte sur place qu'il n'en n'est rien: ce mur est incliné avec une distance zénithale de 7 à 8° et c'est probablement cette inclinaison non négligeable qui a du dérouter le (ou les) cadranier(s) en constatant que les indications n'étaient pas exactes, par simple comparaison avec les autres cadrans du hameau . Nous avons donc contrôlé également la déclinaison gnomonique du mur qui se situe entre -4° et -5° , ce qui montre que le cadran n°2 était le plus correct..

Comme aux Meyriès, aucune construction relative à l'inclinaison du mur n'apparaît, ce qui nous amène à penser que les divers tracés observés correspondent à différentes tentatives afin d'en tenir compte.

Sur la figure 7 ci-après, le cadran recalculé (en noir) avec les tracés (en rouge)

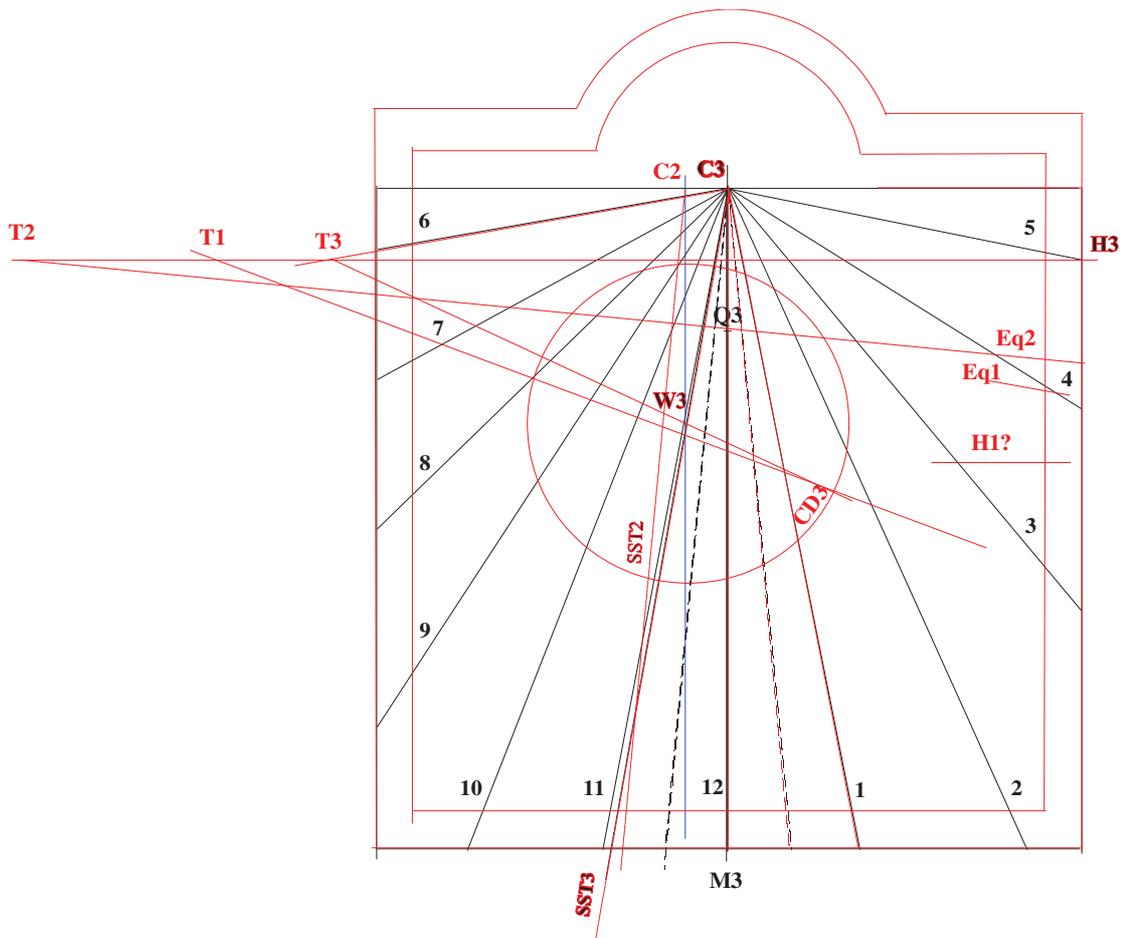


Figure 7

3 - Les cadrans complémentaires de la Chalp-D5

Juste avant de sortir du hameau se trouve une maison légèrement à l'écart de la route avec deux cadrans complémentaires à l'angle Sud-Ouest. Compte tenu de sa situation, nous nommerons les cadrans de cette maison « La Chalp-D5 » que nous découvrons sur le cliché de la figure 8 (On peut aussi trouver cet emplacement sous le nom « La Chalp-Jaune » par suite d'une ancienne couleur du crépis). Comme nous avons pressenti que nous allions obtenir des renseignements par le biais de ces



deux anciens cadrans, nous avons passé plusieurs mois à les observer afin d'en extraire le maximum d'informations, aussi nous allons vous en relater ici les principaux résultats.

3-1 Le cadran Ouest de la Chalp-D5

Le cliché de la figure 9 montre ce cadran presque plein ouest dont le centre est inaccessible et le style absent. Bien que le haut et la gauche du cadran aient été dégradés par des travaux et que les dessins subsistants soient peu contrastés, on y distingue bien les lignes horaires et l'équatoriale munie des signes de la Balance et du Bélier.



Figure 9 : Le cadran de la Chalp-D5-Ouest.[1]

3-1-1 Les lignes horaires

Comme à notre habitude, nous avons recalculé l'éventail horaire et en le comparant au modèle par superposition. Notre meilleur résultat reproduit ci-dessous (figure 10) a été obtenu en prenant une déclinaison gnomonique de 86° , ce qui correspond à une sous-styloire située vers 17h50, confirmant ainsi l'orientation et les tracés de ce cadran. On remarque que sur ce cadran de l'après-midi, les lignes horaires sont fléchées vers le bas, tandis que celles des demi-heures le sont vers le haut.

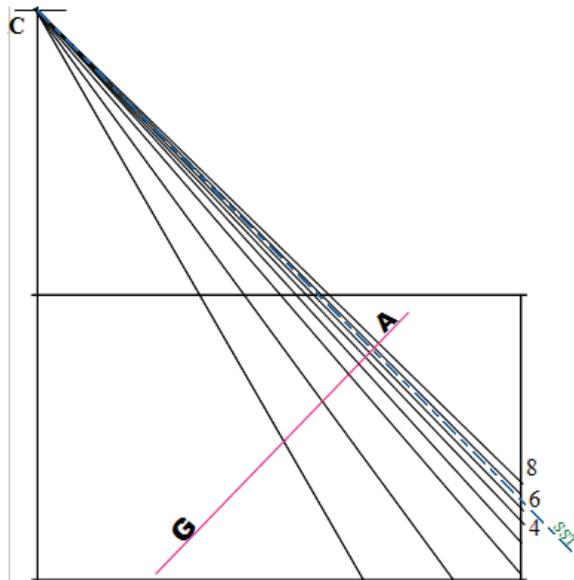


Figure 10 : Les lignes horaires calculées

3-1-2 Les textes

Sur ce cadran vertical n'ayant gardé qu'une jambe du style, on distingue relativement bien, de haut en bas, les textes suivants :

En haut, dans l'encadrement : « VULNERANT OMNES ULTIMA OCCIDIT » (Elles blessent toutes, la dernière tue) qui encadre l'abréviation centrale classique « IHS » au dessus des trois clous stylisés à l'intérieur d'une étoile rayonnante à 24 branches . Dans un premier temps, nous avons cru lire à la fin « OCCIDE », mais en examinant les deux dernière lettres de cette devise, nous avons mis en évidence la terminaison « IT » qui convient mieux au latin, les lettres « I » et « T » étant ici partiellement superposées après le « D ». En scrutant également le haut du cliché, on peut distinguer le dernier chiffre de la date : ...6. En comparant aux cadrans du Meyriès réalisés en 1837, et compte tenu de l'état nettement plus dégradé de celui-ci, nous pouvons proposer deux dates : soit 1826, soit 1836, mais nous penchons d'avantage pour la dernière comme nous le verrons plus loin. Sur la table du cadran,

on lit le nom du propriétaire et commanditaire : W▲J▲Martin▲; Et en bas, dans l'encadrement : « TOUTES BLESSENT. LA DERNIERE TUE. »

Rappelons nous que tous les graphismes de ces cadrans sont identiques à ceux d'une chapelle des Escoyères, en particulier ceux des lettres « A » avec une barre en forme de v. Aussi nous sommes nous posé la question : Mais qui donc a peint les fresques de cette chapelle isolée ?

Nous nous sommes concentrés sur la devise du bas comportant deux lignes presque effacées qui ont bien souffert de l'installation du balcon sur la gauche, aussi leur compréhension s'est avérée très laborieuse. Dans un premier temps il nous a fallu travailler le contraste et la luminosité de plusieurs clichés associés afin de reconstituer ces deux lignes (voir fig 11), dont la partie droite de la ligne supérieure finit par se lire «EST VOBIS VANUM MANE SURGERE ANTE LUCEM ». phrase qui nous a tout d'abord semblé provenir d'un Psaume connu, tandis que sur la deuxième ligne nous avons lu quelques éléments de mots tels que : « ... DOMINUS.....ONAM.... »



Figure 11 : la « reconstitution » du texte inférieur.[1]

Ces premiers résultats ont eu pour effet d'attiser notre soif d'en connaître et le mystère ne commença à s'éclaircir qu'au milieu du mois de mars 2010. C'est après bien des supputations et surtout une grande ténacité que l'un des co-auteurs réussit à en comprendre le sens et à dénicher la source de cette devise car il y a une jolie différence d'échelle avec les Psaumes qui étaient connus d'un simple curé de campagne : « Vanum est nobis ante lucem surgere. Surgite postquam sederitis, qui manducatis panem doloris, quia dilectis suis dederit somnum » c'est-à-dire « Il est vain de vous lever avant le jour, ô vous qui mangez le pain de la douleur, car [le Seigneur] a accordé le sommeil à ceux qu'il aime ». En découvrant le véritable contenu de la devise, nous avons alors compris que notre cadranier n'était pas du tout venant. Voyez plutôt :

« NON SIT VOBIS VANUM MANE SURGERE ANTE LUCEM
QUIA PROMISIT DOMINUS CORONAM VIGILANTIBUS »

Que nous pouvons traduire par : « Qu'il ne soit pas vain pour vous de vous dresser (du lit) le matin, avant le jour, puisque le Seigneur a promis la couronne à ceux qui veillent ». L'auteur de la devise est donc allé jusqu'à inverser l'idée des Psaumes.

Ces deux lignes ne trouvent donc qu'indirectement leur origine dans le Psaume 126 mais plutôt dans un recueil de chant grégorien, le « Corpus antiphonarium officii ».

Nous remarquons que le « Quia » semble avoir disparu faute de place, à moins que le scellement du balcon ne l'ait fait disparaître, tandis que dans le dernier mot le « T » est superposé à la deuxième jambe du « N », ce qui était d'une pratique courante car les lapicides manquent souvent de place et s'en aperçoivent trop tard (voir ci-dessus l'analogie avec la terminaison du mot « occidit » du cadran médian ouest).

Les Antiphonaires étant davantage la lecture des moines, ce dernier texte du cadranier inconnu nous oriente nettement vers un ecclésiastique qui se levait très tôt et qui chantait les

matines. C'était sans doute un moine ou un ancien moine. En effet, qui pouvait connaître ces chants grégoriens à cette époque ?

3-2 Le cadran Sud de la Chalp-D5

Le cliché de la figure 12 montre qu'il s'agit vraiment d'un vestige très effacé, avec une jambe de style tordue et un balcon de bois construit ultérieurement.



Figure 12 : le cadran de La Chalp – D5 – sud.[1]

Cependant, comme nous étions convaincus que les traces de peinture subsistante pouvaient parler, nous avons poussé notre examen.

Tout d'abord, nous avons constaté une déformation très importante sur les clichés pris à partir du balcon, ce qui s'explique par des défauts de perspectives inhérents depuis cet emplacement . La figure 13 a été réalisée à partir d'un cliché corrigé en perspective et en superposant d'une part le tracé de l'éventail horaire obtenu par le calcul avec une déclinaison gnomonique de -4° (tracé en noir) et d'autre part les lignes de construction (en bleu) qui sont encore assez bien visibles sur le cadran. Ces tracés et lignes horaires correctes nous confirment que leur auteur avait une certaine maîtrise de leur construction .

3- 2 –1 L'éventail horaire

La méthode de construction est classique. Tout d'abord la ligne de midi verticale qui passe par le centre C du cadran, le point H de l'horizon, et le point Q à l'intersection du cercle des latitudes avec la verticale. Ensuite une ligne horizontale HT qui passe ici par le pied de la jambe de style subsistante et par le point triple T. La sous-stylaire (en pointillé) se trouve à 11H37, donc légèrement à droite de la ligne de 11H30. L'équatoriale est la droite QT perpendiculaire à la sous-stylaire et le centre W du cercle équatorial auxiliaire est obtenu sur la sous-stylaire en traçant l'angle droit TWQ. Les points horaires sont marqués sur l'équatoriale par les intersections des rayons équi-angulaires de 15° à partir du centre W. La ligne de 6H correspond au segment CT.

On peut noter également que l'on distingue aux extrémités de la sous-styloire les signes habituels du Cancer et du Capricorne très atténués et inversés comme d'habitude.

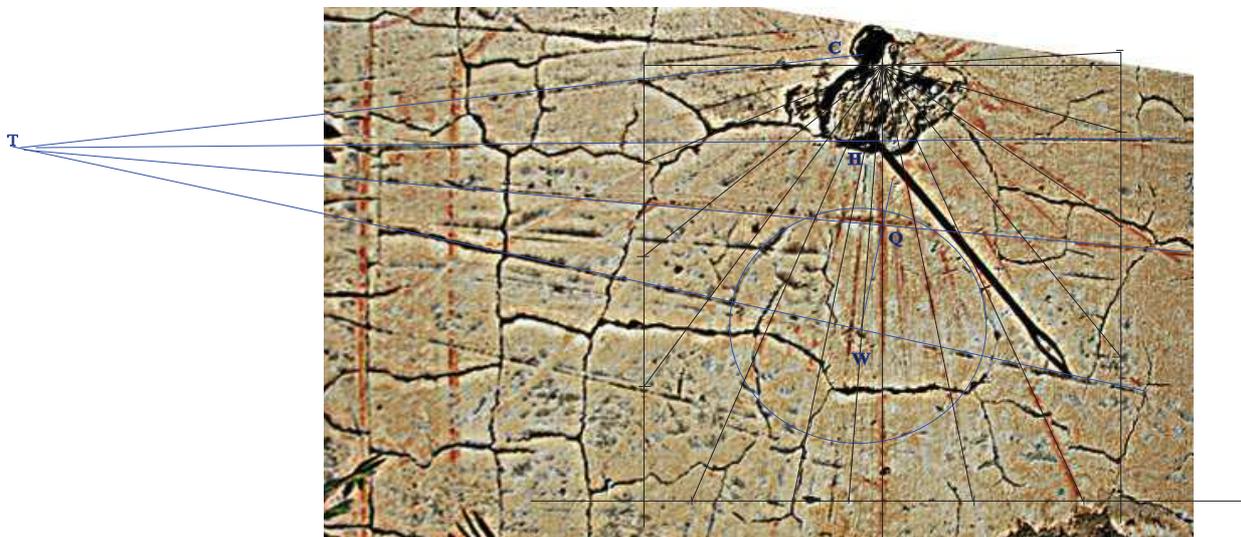


Figure 13 : La construction et l'éventail horaire.[1]

3-2-2 Les textes

On voit encore très bien l'étoile supérieure centrale à 24 branches avec le « IHS » central au dessus des trois clous qui sont caractéristiques de ce cadranier.

Pour parvenir à lire la devise supérieure nous avons juxtaposé plusieurs clichés en les contrastant, et après d'assez longues observations nous avons pu finalement obtenir (fig 14) :

« ANTE SOLEM PERMANET NOMEN D.N.I »

C'est à dire : « Avant le Soleil demeure le nom du Seigneur »

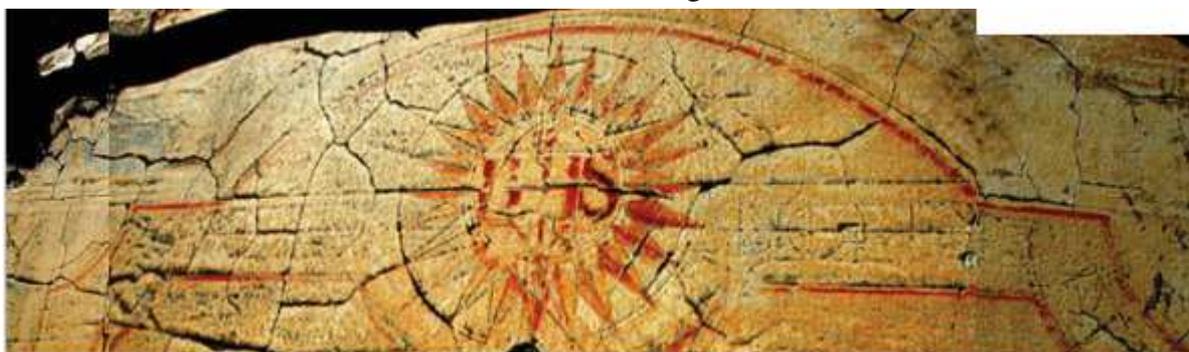


Figure 15 : Vue tronquée de la devise inférieure. [1]

Nous constatons qu'il s'agit de la même devise que sur le cadran de l'église de Château-Ville-Vieille réalisé en 1821.

Pour la date de réalisation marquée circulairement au dessus de la rosace, nous distinguons l'indication de l'année 1836, et, compte tenu d'autres observations, nous en déduisons que ces cadrans de la Chalpe ont été réalisés dans cette période.

La devise inférieure est presque complètement effacée, mais il est possible de deviner trois mots près du centre du cliché de la figure 15 :SOLIS ORTU USQUE...



Figure 15 : Vue tronquée de la devise inférieure. [1]

Comme la devise supérieure est une réplique de celle de l'église de Château-Ville-Vieille, nous avons raisonnablement pensé qu'il pouvait en être de même pour la devise inférieure qui comporte également les trois mots ci-dessus, et cela nous donne :

« A SOLIS ORTU USQUE AD OCCASUM L.N.D ».

C'est à dire : « Du lever du Soleil au coucher, il faut louer le nom du Seigneur ».

Ainsi, notre périple à La Chalp-Sainte-Agathe nous a permis d'obtenir des informations supplémentaires sur cet inconnu dont nous nous rapprochons. Il s'agit donc probablement d'un érudit ecclésiastique qui utilisait les mêmes méthodes que Zarbula dès le début du 19ème siècle. Ses cadrans, dont certains sont supportés par des murs inclinés, sont situés dans un périmètre limité autour de Château-Queyras, ce qui nous laisse penser qu'il s'agit d'un enfant du pays, habile fresquiste et gnomoniste.

Qui était donc ce personnage du pays, artiste et ecclésiastique qui avait appris la gnomonique ?

Ce cadranier inconnu du Queyras était-il aussi astronome ?

C'est en nous posant ces questions que nous terminerons cette deuxième partie et que nous laisseront le lecteur y méditer également .

[1] D'après les clichés de A. Ferreira

[2] D'après un cliché de P.Putelat

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Serge Grégori pour nous avoir mis sur la piste énigmatique de tous ces cadrans, ainsi qu'Alain Ferreira, Pierre et Gaëlle Putelat pour les bons clichés qu'ils nous ont remis.

ANNEXE (mise à jour)

Cadrans réalisés par l'inconnu

Commune	date	Lieu	signes	déclinaison
Abriès	1821	Eglise		0°
Château Ville-Vieille	18 ?	Le Rouet		-24°
Château Ville-Vieille	18 ?	Le Rouet		-24°
Château-Queyras	1828	Place	G J A D	-22°
Château-Queyras	1841	Eglise [3]		
Château Ville-Vieille	1837	Les Meyriès	A G	- 105°
Château Ville-Vieille	1837	Les Meyriès	G A	- 10°
Château Ville-Vieille	1839	Les Meyriès	G A	17°
Château Ville-Vieille	1821	église		0°

Fontgillarde	1839	Ancien tabac	G J A	42°30
Fontgillarde	18 ?	Eglise-Est		-55°
Fontgillarde	18 ?	Eglise-Ouest		35°
St Véran	1835	Gîte	G A	32°
St Véran	1836	La Chalp-médian	G J A	90°
St Véran	1836	La Chalp-médian	D	0°
St Véran	≥1836	La Chalp-Haut	effacés	-5°
St Véran	1836	La Chalp-D5	G J A	86°
St Véran	1836	La Chalp-D5	D J	-4°

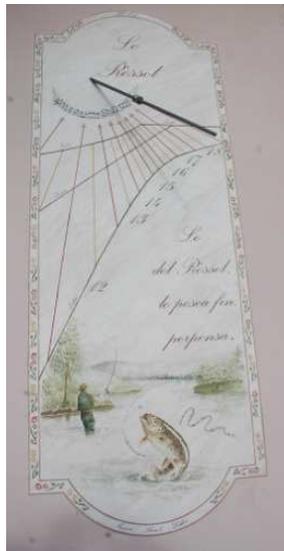
[3] Nous avons vu que ce cadran avait été restauré en 1939, mais qu'il comporte des éléments graphiques identiques. En outre, la devise se retrouve au sein de son inscription.

Autres cadrans attribuables à l'inconnu

Lieu	date	Lieu	signes	déclinaison
Aiguilles	1838	place		
Briançon [4]	1823	Place d'Armes	G A	20°
Château-Queyras	18 ?	château		

[4] Bien qu'ayant été restauré, ce cadran de la place d'arme de Briançon est très voisin de celui de l'église de Château Ville-Vieille (graphismes et devises)

Un nouveau cadran à Carmaux



Lieu: « Lo Ròssol » 81400 Carmaux
 Latitude: 44° 03' Nord; Longitude: -2° 9' soit - 0h 8 min 36 s
 Fuseau horaire: Greenwich + 1 heure; Ecart de longitude
 - 51 min 24s ; Année de référence 2011

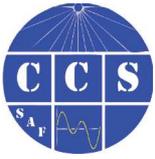
Déclinaison gnomonique du mur	45.38°
Inclinaison de la table	90°
Style polaire	297.12 mm
Sous-stylaire	256.48 mm
Style droit	150.00 mm
Angle style polaire / plan du cadran	-30.32°
Angle horaire à la sous stylaire	55.55° soit 15h 42min
12s	
Angle tabulaire de la sous stylaire	216.34°

Devise occitane :

Lo del Ròssol, lo pesca fin, perpensa. Devise en l'honneur du propriétaire des lieux homme de culture et de réflexion, à l'image de sa passion, la pêche, dont il était maître dans l'art.

Note - Lo Ròssol, en occitan défini un terrain humide, dans lequel l'eau suinte légèrement

Techniques et dessin : Cadran solaire réalisé sur une empreinte de chaux et marbre blanc de Carrare, peint avec des peintures minérales de techniques B du fabricant Allemand « Keim ». Le thème de la pêche et de la truite de Schubert décore ce cadran et rappelle par le phrasé musical situé sous le style, la passion de la propriétaire pour la musique classique.



Cadran sur parabolöide hyperbolique

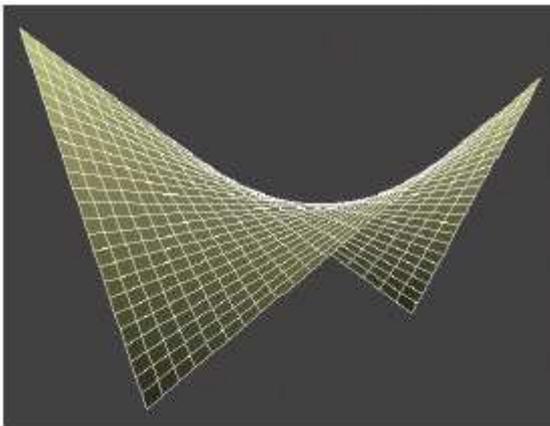
par Francis Ziegeltrum

Le plan est certainement la surface la plus utilisée comme support d'un cadran solaire de temps moyen ; il existe pourtant un grand nombre d'autres surfaces, bien plus esthétiques, qui pourraient se prêter à la réalisation d'un cadran solaire courbe. Voici les éléments pour réaliser un cadran solaire de temps moyen sur une surface parabolöide hyperbolique.

1 - Introduction

L'outil informatique et les logiciels de rendu 3D rendent possible des simulations très réalistes. La réalisation pratique est néanmoins plus difficile car il faut dans un premier temps fabriquer la surface puis, les calculs des courbes en huit effectués, les reporter sur la surface.

On se rend compte que, hormis le cylindre et le cône, il n'existe pas vraiment de surfaces susceptibles d'être fabriquées avec peu de moyen matériel, même la sphère nécessite un outillage spécifique. Pourtant, dès le début du XXème siècle, des architectes tels Gaudi ou Le Corbusier ont su intégrer des surfaces complexes dans leurs œuvres architecturales. Ils ont puisé dans la famille de surfaces dites réglées dont la caractéristique principale est d'être engendrée par des droites. Parmi ces surfaces, il en est une qu'ils affectionnaient particulièrement, le parabolöide hyperbolique.



Représentation graphique d'un parabolöide hyperbolique



Pavillon Philips de Yannis Xenakis et Le Corbusier, ouvrage réalisé à partir de parabolöides hyperboliques.

2 - Qu'est qu'un parabolöide hyperbolique ?

Un parabolöide hyperbolique est un conoïde droit, c'est à dire une surface réglée, dont les génératrices restent parallèles à un plan P , appelé plan directeur du conoïde tout en rencontrant une droite D , appelée axe du conoïde, perpendiculaire à P . Dans le cas du parabolöide hyperbolique les génératrices s'appuient également sur deux droites non coplanaires. La surface est en quelque sorte un empilage de droites parallèles à un plan tournant autour d'un axe (Figure 1). C'est cette particularité que nous allons exploiter pour

réaliser une maquette en bois.

3 - Réalisation de la surface courbe

Le support

Pour fabriquer le parabolôïde hyperbolique, il nous faut d'abord réaliser un support constitué d'une planchette qui matérialise le plan directeur et d'une baguette de section carrée dont l'une des arêtes matérialise l'axe du conoïde. La planchette est posée horizontalement et la baguette est fixée perpendiculairement à la face supérieure de la planchette (Figure 2). Il n'est pas nécessaire de matérialiser les droites portant les génératrices. Il suffira de vérifier durant le montage de la surface que les génératrices coupent l'une des droites.

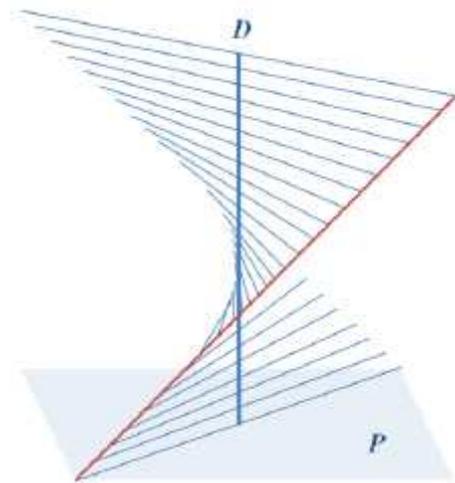


Figure 1

Les génératrices

Chaque génératrice de la surface est matérialisée par l'une des arêtes des tasseaux que l'on empile les uns sur les autres en les plaquant contre l'arête de la baguette matérialisant l'axe. Nous n'aurons donc qu'un certain nombre de génératrices, leur nombre dépendant de l'épaisseur des tasseaux utilisés et des dimensions choisies. La surface obtenue ne sera donc pas lisse et continue. (Figure 3).

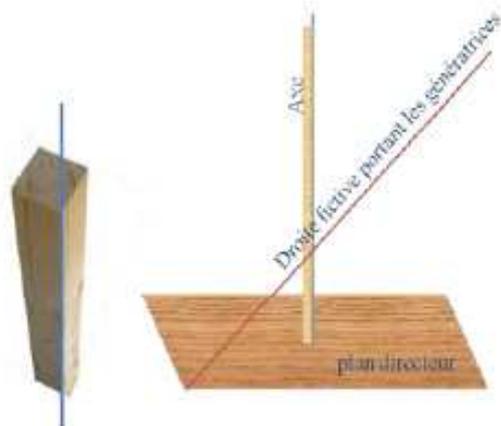


Figure 2: Matérialisation du plan directeur et de l'axe

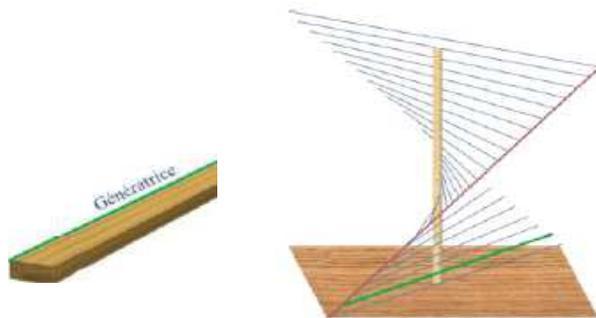


Figure 3: Matérialisation d'une génératrice

Les dimensions

Pour faciliter les calculs et pour simplifier la réalisation, j'ai choisi un parabolôïde hyperbolique contenu dans un cube de dimensions 300x300x300mm. Les droites portant les génératrices font un angle de 45° avec le plan directeur ; ce sont les diagonales de deux faces opposées du cube. Il convient de bien choisir la largeur des

tasseaux pour qu'ils restent, une fois empilés, en contact entre eux sur toute leur longueur. Pour la présente maquette, j'ai opté pour une largeur de 20mm et une épaisseur de 5mm. La surface du parabolôïde hyperbolique est constituée de 61 tasseaux figure 4).

La maquette

Un premier tasseau est posé sur le plan directeur, son arête matérialise la première génératrice. Le deuxième tasseau, convenablement coupé, vient se placer sur le premier,

décalé de 5mm. Les tasseaux sont coupés puis collés les uns sur les autres en suivant l'axe du conoïde et l'une des droites d'appui (Figure 5). La manipulation du parabolôïde hyperbolique ainsi obtenu permet de trouver l'orientation qui se prête le mieux à la réalisation d'un cadran solaire.

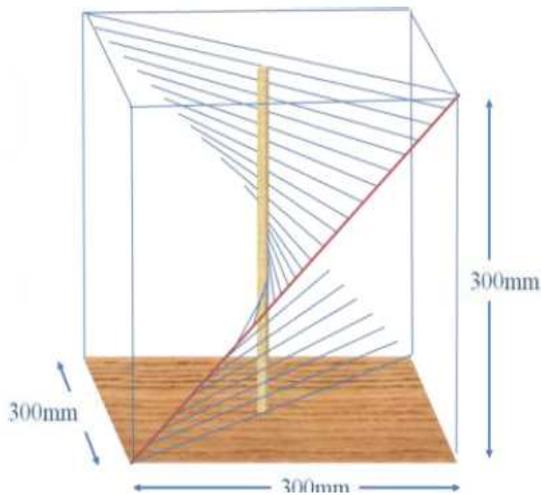


Figure 4: Dimensions du parabolôïde hyperbolique avec tasseaux de 5 par 20 (ci-contre ►)

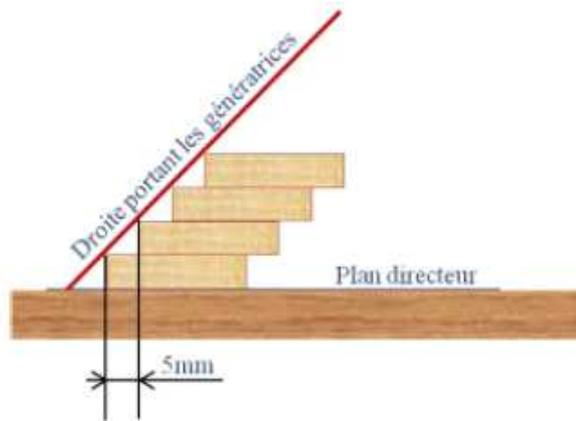
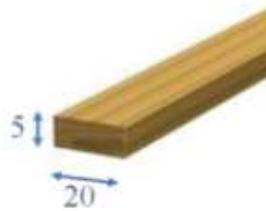
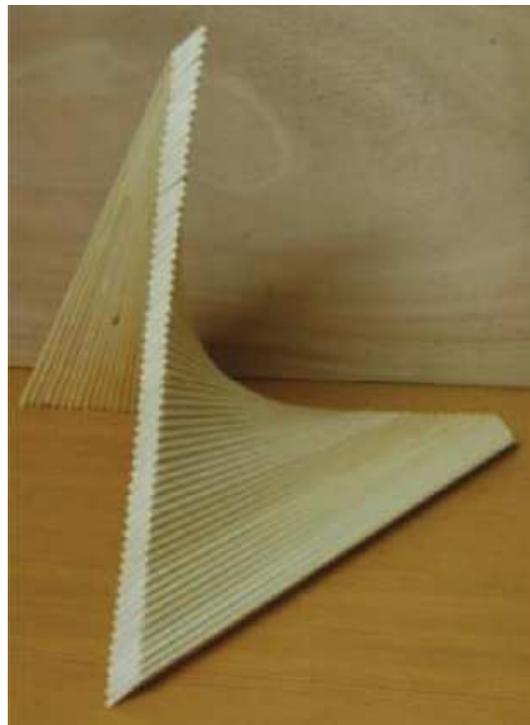


Figure 5 : Détail de l'empilage des tasseaux



La maquette sur son support de fabrication



La maquette terminée

4 - Calcul des courbes en huit

Paramétrage de la surface

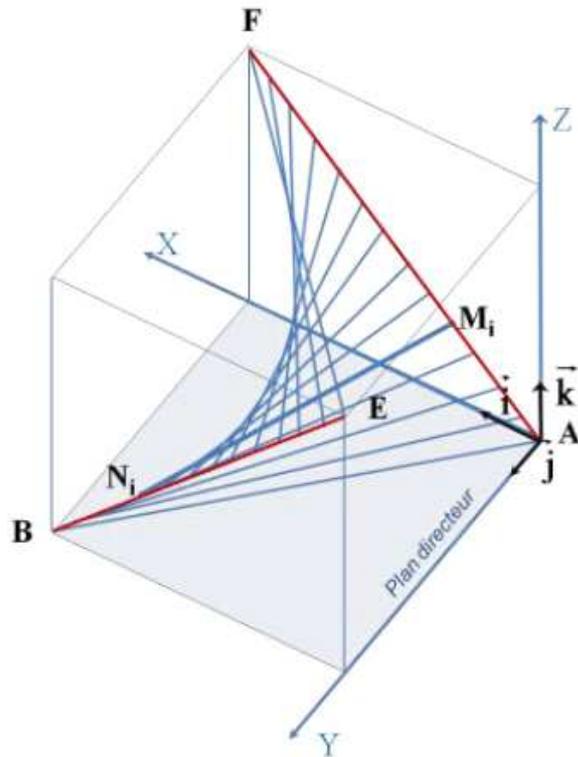
Il existe plusieurs manières de mettre le parabolôide hyperbolique en équation. La plus pratique pour la réalisation du cadran solaire est de paramétrer le vecteur directeur de la génératrice.

Comme le parabolôide hyperbolique est contenu dans un cube les sommets A,B,E et F ont pour coordonnées :

$$A \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B \begin{pmatrix} L \\ L \\ 0 \end{pmatrix} \quad E \begin{pmatrix} 0 \\ L \\ L \end{pmatrix} \quad F \begin{pmatrix} L \\ 0 \\ L \end{pmatrix}$$

Parabolôide hyperbolique placé dans le repère orthonormé :

$$(A, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$$



où **L** est la longueur d'un côté du cube et **d** l'épaisseur d'un tasseau. **L** est un multiple de **d**. Les deux droites d'appui, l'une passant par A et F et l'autre passant par B et E, ont pour vecteurs directeurs :

$$\overrightarrow{AF} \begin{pmatrix} L \\ 0 \\ L \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{BE} \begin{pmatrix} -L \\ 0 \\ L \end{pmatrix}$$

On en déduit les vecteurs directeurs unitaires :

$$\vec{u} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{v} \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Soient M_i et N_i les deux points de la $i^{\text{ème}}$ génératrice appartenant respectivement à la droite passant par A et F et à la droite passant par B et E.

M_i et N_i sont tels que:

$$\overrightarrow{AM_i} = i \cdot d \vec{u} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{BN_i} = i \cdot d \vec{v} \quad \text{avec} \quad 0 \leq i \leq \frac{L+d}{d}$$

$$\overrightarrow{M_i N_i} :$$

le vecteur directeur de la $i^{\text{ème}}$ génératrice peut être décomposé de la façon suivante :

$$\overrightarrow{M_i N_i} = \overrightarrow{M_i A} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BN_i} = -i \cdot d \cdot \vec{u} + \overrightarrow{AB} + i \cdot d \cdot \vec{v}$$

Connaissant les coordonnées de

$$\overrightarrow{AB} \begin{pmatrix} L \\ L \\ 0 \end{pmatrix}$$

les coordonnées du vecteur de la $i^{\text{ème}}$ génératrice

sont:

$$\overrightarrow{M_i N_i} \begin{pmatrix} L - 2 \cdot i \cdot d \\ L \\ 0 \end{pmatrix}$$

Le paraboloid hyperbolique est donc l'ensemble des droites de vecteur directeur

$$\overrightarrow{M_i N_i} \begin{pmatrix} L - 2 \cdot i \cdot d \\ L \\ 0 \end{pmatrix} \text{ avec } 0 \leq i \leq \frac{L+d}{d} \text{ et passant par le point } M_i \begin{pmatrix} i \cdot d \\ 0 \\ i \cdot d \end{pmatrix}$$

Positionnement de la surface

Pour orienter convenablement la surface du paraboloid hyperbolique servant de table de cadran solaire par rapport au Sud, il faut dans un premier temps la faire pivoter autour du segment AB de telle sorte que les points A, B et E soient dans le plan horizontal puis la tourner autour de l'axe vertical pour que la pointe au point B soit dans l'axe du meridien local.

Ces rotations sont effectuées en utilisant la matrice de rotation autour d'un axe quelconque qui s'écrit :

$$R(\vec{n}, \theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta + (1 - \cos \theta)n_1^2 & -n_3 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_1 n_2 & n_2 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_1 n_3 \\ n_3 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_1 n_2 & \cos \theta + (1 - \cos \theta)n_2^2 & -n_1 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_2 n_3 \\ -n_2 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_1 n_3 & n_1 \sin \theta + (1 - \cos \theta)n_2 n_3 & \cos \theta + (1 - \cos \theta)n_3^2 \end{pmatrix}$$

Où

$$\vec{n} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}$$

est le vecteur directeur unitaire de l'axe de rotation et θ l'angle de rotation autour de cet axe. La première rotation se fait autour du segment AB c'est-à-dire suivant l'axe dirigé par le vecteur unitaire

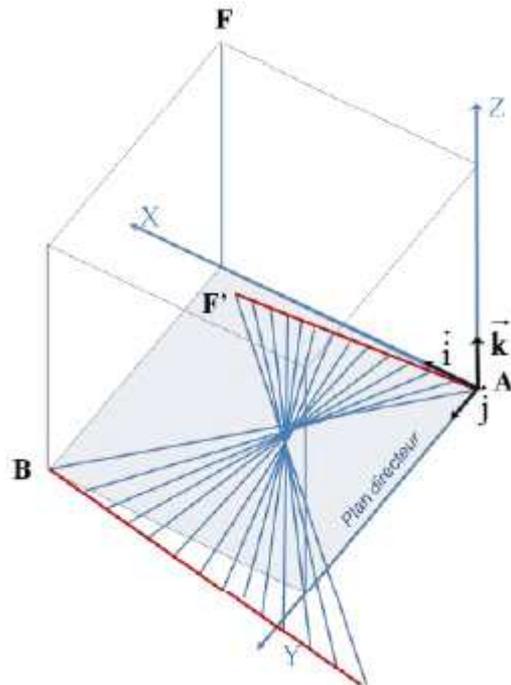
$$\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}$$

L'angle de rotation θ se calcule à partir des vecteurs normaux du plan contenant les points A, B, E et du plan horizontal. θ est l'angle entre les vecteurs

$$(\overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{AE}) \text{ et } \vec{k},$$

donc:

$$\cos(\theta) = \frac{(\vec{k} \cdot (\overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{AE}))}{\|\vec{k}\| \cdot \|\overrightarrow{AB} \wedge \overrightarrow{AE}\|}$$



Paraboloid hyperbolique après rotation autour du segment AB

Après cette première rotation, le vecteur directeur des génératrices s'écrit :

$$\overrightarrow{M'_i N'_i} = R\left(\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}, -\theta\right) \begin{pmatrix} L - 2 \cdot i \cdot d \\ L \\ 0 \end{pmatrix}$$

$\overrightarrow{AE'}$ et \vec{j} ,

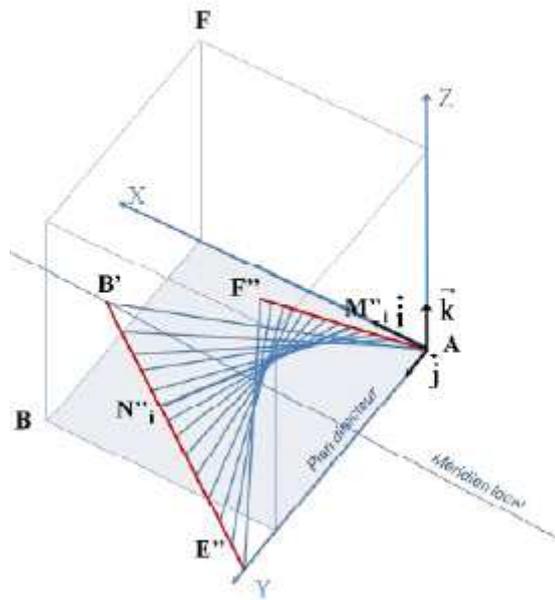
Pour aligner la pointe B sur le méridien local il reste à tourner la surface autour de l'axe Z. L'angle de rotation φ est l'angle entre donc:

$$\cos(\varphi) = \frac{(\vec{j}, \overrightarrow{AE'})}{\|\vec{j}\| \cdot \|\overrightarrow{AE'}\|}$$

Avec $\overrightarrow{AE'} = R\left(\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}, -\theta\right) \overrightarrow{AE}$

Après cette deuxième rotation, le vecteur directeur des génératrices s'écrit :

$$\overrightarrow{M''_i N''_i} = R(\vec{k}, -\varphi) \cdot R\left(\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}, -\theta\right) \begin{pmatrix} L - 2 \cdot i \cdot d \\ L \\ 0 \end{pmatrix}$$



Paraboloïde hyperbolique après rotation autour de l'axe Z.

Projection d'un point sur la surface

Le cadran solaire courbe est constitué de la surface du paraboloïde hyperbolique tourné vers le sud et d'un point P appartenant au segment B''F'' tel que

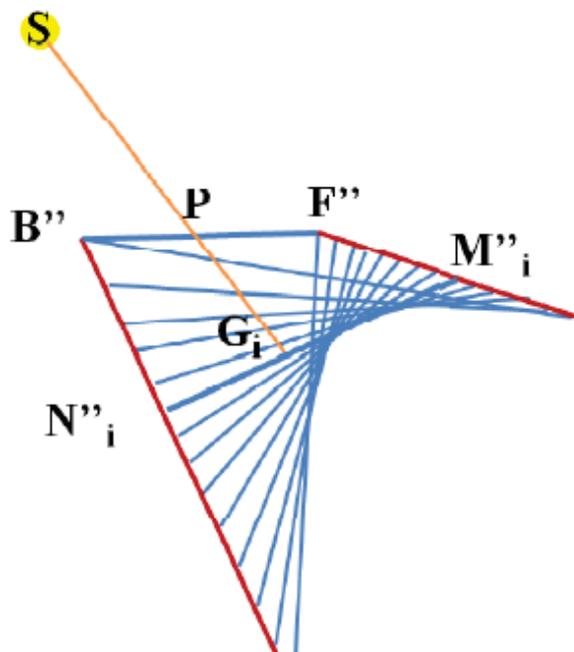
$$\overrightarrow{B''P} = \alpha \overrightarrow{B''F''}$$

C'est l'ombre de ce point P projetée sur la surface qui indique l'heure.

Le point P est projeté sur la surface si et seulement si il existe une génératrice sécante avec le rayon du Soleil passant par P ; c'est-à-dire s'il existe une valeur i telle que le produit mixte:

$$[\overrightarrow{SP}, \overrightarrow{M''_i N''_i}, \overrightarrow{PN''_i}] = 0$$

Le vecteur SP désigne le vecteur directeur du rayon du Soleil passant par le point P. Les coordonnées de ce vecteur se calculent à l'aide des formules développées



Projection de l'ombre d'un point sur la surface du paraboloïde hyperbolique

dans le "Traité abrégé de gnomonique", à savoir :

$$\overrightarrow{SP} \begin{pmatrix} -x_h \\ -y_h \\ -z_h \end{pmatrix} = -R_y \left(\frac{\pi}{2} - \Phi \right) \cdot R_z(LMST) \cdot R_z(-\varepsilon) \begin{pmatrix} \cos l_{\odot} \\ \sin l_{\odot} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

On peut alors calculer les coordonnées du point d'intersection Gi, entre le rayon du Soleil et la génératrice, en utilisant une méthode de calcul du point d'intersection de deux droites dans l'espace. Ce point Gi est l'ombre du point P projeté sur la surface suivant le vecteur SP calculé pour une date donnée. Pour tracer une courbe en huit, il nous faut donc calculer tous les points Gi pour une heure légale donnée.

La feuille de calcul Excel

Les calculs sont effectués à l'aide d'une fonction Visual basic Excel comportant trois parties :

- Dans la première partie on effectue les rotations nécessaires pour placer la surface face au sud et on calcule les coordonnées des principaux vecteurs.
- Dans la deuxième partie sont calculés les produits mixtes

$$\left[\overrightarrow{SP}, \overrightarrow{M''_i N''_i}, \overrightarrow{PN''_i} \right]$$

en faisant varier i de 0 à L/d.

- Dans la troisième partie on détermine la valeur de i pour laquelle le produit mixte est minimal.

	C	D	E	F	G	H	R	S	T	U	V
1											
2	HEURE	12:00:00									
3	LATITUDE	47.6506									
4	LONGITUDE	-7.4442									
5	L	300									
6	d	5									
7	ALPHA	0.6									
8		DATE	x _h	y _h	z _h	i	xi	yi	zi		Distance
9		11-avr	0.576	0.384	0.722	19	-110.01	-73.3	-138	3.00	210.8
10		18-avr	0.544	0.375	0.751	18	-103.33	-71.1	-143	3.00	205.0
11		26-avr	0.508	0.365	0.78	17	-96.787	-69.5	-149	3.00	199.5
12		4-mai	0.474	0.357	0.805	16	-88.544	-66.6	-150	4.00	193.4
13		4-juin	0.375	0.349	0.859	13	-73.962	-68.8	-169	3.00	186.1
14		20-juin	0.356	0.358	0.863	12	-70.467	-70.9	-171	2.00	186.9
15		18-juil	0.388	0.382	0.839	12	-78.021	-76.9	-169	2.00	196.8
16		30-juil	0.426	0.389	0.817	13	-85.589	-78.2	-164	2.00	201.8
17		18-août	0.508	0.39	0.768	16	-98.534	-75.6	-149	2.00	206.6
18		23-août	0.532	0.387	0.753	17	-101.27	-73.6	-143	3.00	207.0
19		27-août	0.553	0.385	0.739	18	-106.07	-73.8	-142	2.00	208.9
20		31-août	0.574	0.381	0.725	19	-109.36	-72.7	-138	3.00	209.8
21		4-sept	0.595	0.377	0.71	20	-111.91	-71.1	-134	3.00	210.3
22		9-sept	0.621	0.372	0.69	21	-112.43	-67.3	-125	2.00	209.8
23		13-sept	0.642	0.367	0.673	22	-114.64	-65.5	-120	2.00	210.5
24		17-sept	0.662	0.362	0.656	23	-116.66	-63.7	-116	2.00	211.2

Cette feuille de calcul contient également les formules permettant de calculer les coordonnées du vecteur SP à partir de la date, de la longitude et de la latitude du lieu.

Les données d'entrée sont :

- La longueur du côté du cube
- L'épaisseur des tasseaux
- La position de P sur le segment BF
- Les coordonnées du vecteur SP

Les résultats fournis par cette fonction sont :

- Les coordonnées des vecteurs

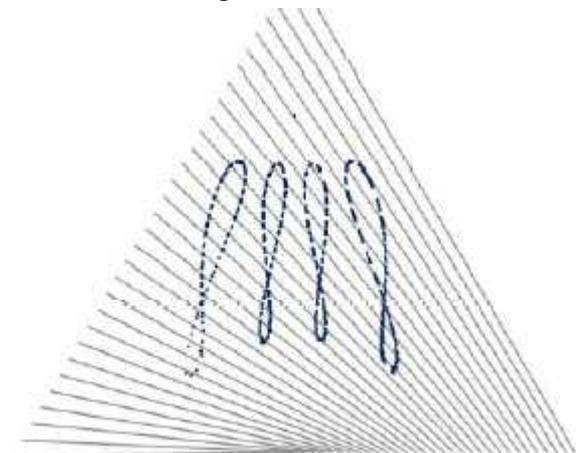
$$\overrightarrow{M''_i N''_i} \text{ et } \overrightarrow{AN''_i}$$

- La valeur de i correspondante permettant de localiser la génératrice de la surface.

Une fonction Visual Basic supplémentaire permet, grâce à ces résultats, de déterminer les points Gi des courbes en huit du cadran solaire de temps moyen.

La simulation

La représentation graphique des courbes en huit calculées pour différentes heures (par exemple 12h, 13h, 14h et 15h) et des segments de génératrices permet d'ajuster la position du point P et ainsi utiliser au mieux la surface du parabololoïde hyperbolique.



Vue de face du cadran solaire

Tracé des courbes en 8 sur la surface

Pour reporter les courbes en 8 sur la surface du cadran, nous allons pouvoir utiliser la caractéristique principale de d'une surface réglée. La surface étant générée par les tasseaux dont l'une des arêtes est dirigée par le vecteur

$$\overrightarrow{M''_i N''_i}$$

il suffit de calculer la distance et de la reporter sur l'arête du ième tasseau. Chaque point calculé est matérialisé par un clou enfoncé au plus près de l'arête.

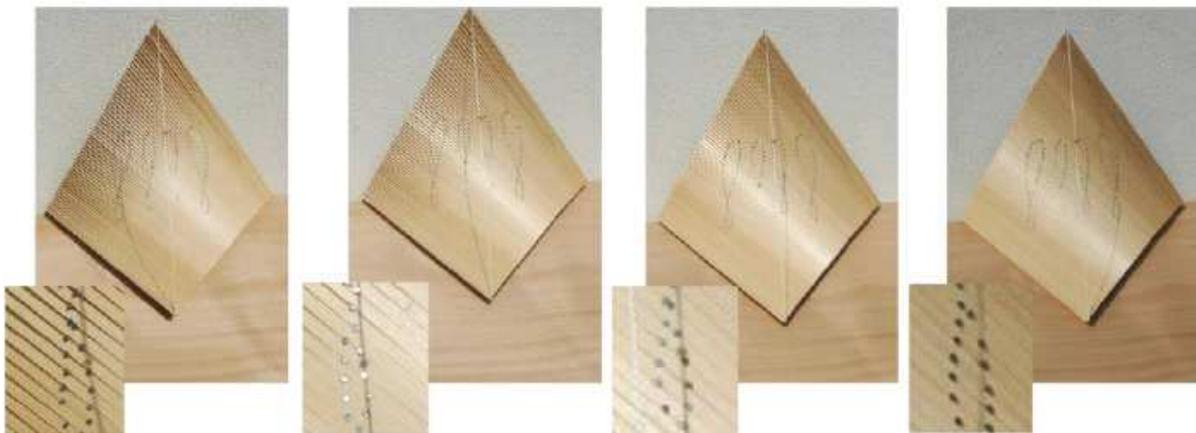
Mise en place du gnomon

Dans ce cas le gnomon se réduit au point P projeté sur la surface du cadran. Le segment BF peut être matérialisé par une ficelle tendue entre ces deux points et le point P par une perle placée à la bonne distance.

Voir page suivante les photos de la mise en place des courbes en huit et de la perle matérialisant le point P.



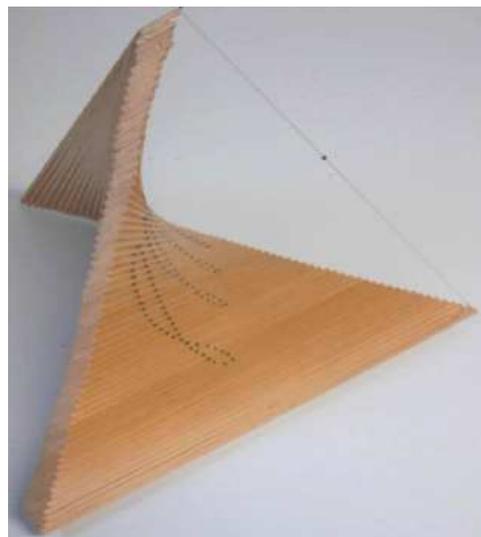
Vérification du fonctionnement du cadran solaire



Le 1er mai 2011, à 12h, 13h, 14h et 15h, le point d'ombre se trouve exactement sur la courbe en huit.

5 - Conclusion

Une surface courbe ne peut être utilisée pour la réalisation d'un cadran solaire que si elle possède des caractéristiques la rendant facile à construire et si des outils issus de la géométrie analytique peuvent être aisément utilisés pour le calcul de la projection d'un point sur cette surface. Nous venons de voir que le paraboloïde hyperbolique se prête à merveille à cet exercice. Existe-t-il d'autres surfaces susceptibles d'être transformées en cadrans solaires courbes ? La famille des surfaces réglées étant vaste, il est certainement possible, en cherchant bien, d'en trouver d'autres.



6 - Bibliographie

J.Lelong-Ferrand et J.M.Arnaudès : Cours de mathématiques-Tome 3-Géométrie et cinématique - Dunod Université; F.Ziegeltrum : Traité abrégé de gnomonique – Autoédition ; Le site <http://www.mathcurve.com>.



INFORMATIONS DIVERSES



° Les dernières réalisations:

- Information de Maurice Kieffer: Lu dans L'Union L'Ardennais champagne-Ardaine Picardie du 30 mai 2011

<<Sur la proposition de Jean-Charles Olivier et bien entendu après l'accord du maire Philippe Timmermann et des conseillers, un cadran solaire vient d'être installé sur la place des marronniers à Guignicourt (02).

L'initiateur du projet a dans un premier temps fait des recherches afin que ce cadran soit conçu en respectant les normes de fabrication et d'orientation obligatoires. En effet le cadran solaire permet de mesurer le temps en repérant, au cours de la journée la course de l'ombre d'un bâton dénommé le style sur une surface graduée appelée la table. Après des recherches techniques, le tracé du projet et 80 heures de travail effectué avec la participation de Nicolas Donnant, pendant lesquelles ils ont

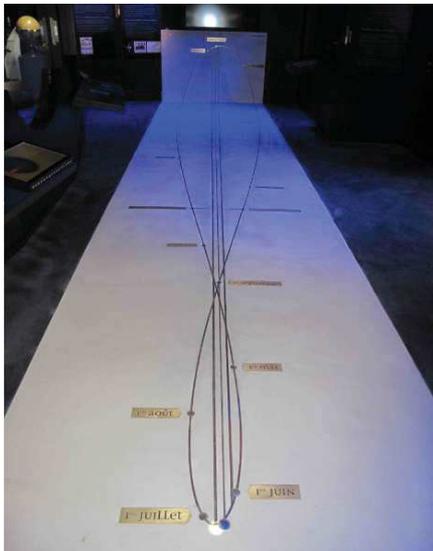
coupé, gravé, soudé, peint,... nos deux horlogers solaires, Jean-Charles et Nicolas, ont pu enfin installer le fruit de leur travail au vu de tous et orienté plein sud, le long de la rue P. Curtil.

Pas de piles à changer, ni de mécanisme à remonter, et à l'heure des économies d'énergies cette horloge qui nous fait remonter le temps est un clin d'œil fonctionnel, décoratif, pédagogique et écologique. Cependant évitez de mettre votre montre à l'heure en vous basant sur la lecture que vous pourrez faire sur le cadran solaire, il y a deux heures de décalage avec l'heure officielle>>.

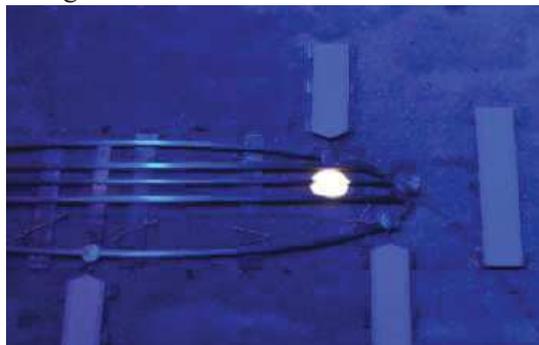


<<Nicolas Donnant et Jean-Charles Olivier : un travail de l'ombre à la lumière>>.

- de Denis SAVOIE: Une méridienne à Villers-Sur-Mer



En juin 2001, Denis Savoie a terminé une méridienne d'intérieure, installée dans le « Paléospace/ Odyssée » avenue Jean Moulin à Villers-Sur Mer 14640. Celle-ci se caractérise par les 2 tiges de part et d'autre de la ligne du midi vrai, qui encadrent (grand axe de l'ellipse) la tache lumineuse projetée tout au long de l'année.



<<Une méridienne a été construite à l'intérieur du musée. Lorsque le soleil est à son zénith (midi solaire), un ingénieux mécanisme laisse passer un de ces rayons qui vient frapper la date précise du jour. Karine Boutillier, directrice du Paléospace, présente cette réalisation sur vidéo à l'adresse:

http://www.14online.tv/Villers-sur-Mer-Installation-de-La-Meridienne-au-Paleospace_v85.html >>

- Information de Gilles BOUTEVILLE: Cadran à l'IUFM d'Auvergne

<< Voici le cadran réalisé à l' occasion de la fête de la science 2007 à l'IUFM d'Auvergne (36 Avenue Jean Jaurès 63400 CHAMALIERES).

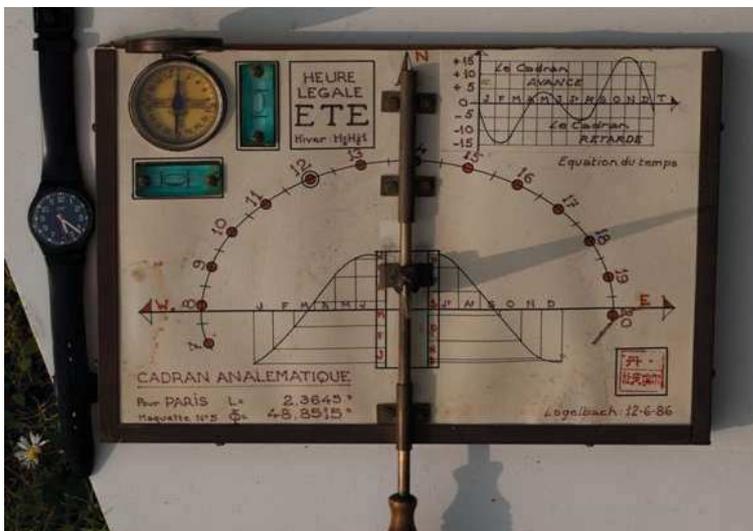
Réalisation:

- Partie centrale: dalles de pierres de Volvic (lave)
- Inscriptions: analème
- Dates remarquables : repérage par des baguettes d'aluminium et textes gravés sur supports PVC collés
- Heures : disque de granite (les chiffres romains sont en PVC collé)>>



◦ Ils ont vu:

- Hugues ALEXANDRE : Un cadran portable



<<Photo d'un cadran solaire portable analemmatique qu'un ami m'a transmis H.A. (6/06/2011) >>

- Joseph THEUBET : Cadran à réflexion de St-Antoine en Isère



Photos ci-dessous: races des lignes sur les parois et sous les marches de l'escalier dans la tourelle ▼

Joseph Theubet nous fait partager (voir dans « annexe » de Cadran-Info numérique) les photos qu'il a prises du cadran à réflexion situé dans la tourelle de l'église abbatiale de Saint-Antoine, en mai 2011.

Emplacement du miroir ►



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

◦ Photos du cadran à réflexion de St Antoine.

<<Les photos numérotées de 44 à 57 correspondent aux numéros des figures de l'article d'Yves et Marcel GAY et de Charles MORAT : « *L'HEURE A ST-ANTOINE L'ABBAYE* », paru dans le bulletin de l'Association Nationale des Collectionneurs et Amateurs d'Horlogerie Ancienne (ANCAHA) à l'occasion du bicentenaire de la Révolution française (1789-1989). Été 1989, No 55.

Autres sources bibliographiques : Paul Gagnaire, *Nouveaux aperçus gnomoniques à propos de l'abbatiale de St-Antoine en Dauphiné*, 6 pages et Andrée Gotteland, *Instruments solaires à réflexion*, pp. 16-18>

- Reinhold KRIEGLER : Trois cadrans à Hanovre



Dans la ville d'Hanovre, il existe encore une grande et magnifique demeure qui appartenait au roi de Hanovre. Elle était autrefois utilisée comme bibliothèque avec une collection très précieuse de livres. Maintenant, il est utilisé en partie pour le parc-office, dans le but d'accueillir... Reinhold Kriegler, s'il vient pour une visite royale !examiner des cadrans solaires

<<A l'origine, le roi George Ier d'Angleterre était un prince de Hanovre. Je suppose donc qu'il avait demandé à deux gnomonistes britanniques la réalisation de deux cadrans solaires en 1721 et 1722 et de les offrir à sa famille royale de Hanovre.

Mais les deux cadrans solaires disparurent pendant presque 300 ans et ils furent échangés par de très bonnes répliques de Erich Pollähne. Je cotoyais ce gnomoniste lors des réunions de la DGC. J'avais souvent parlé avec lui et lui avais écrit durant la dernière année avant sa mort , pour le soutenir moralement.

J'ai donc dû prendre des photos au mois de Mars et j'avais demandé alors directeur et à plusieurs autres musées si je pouvais voir les deux cadrans originaux. Ce fut évidemment une tâche difficile, car ils ne savaient probablement pas où ils étaient remisés. Habituellement, si je ne reçois aucune réponse, j'abandonne après deux demandes. Mais dans le cas présent, j'ai écrit deux lettres, envoyé trois courriels et j'ai téléphoné deux fois à une secrétaire. En fin de compte j'ai réussi et j'ai été invité à venir un vendredi pour voir les cadrans solaires.

Le temps était sombre et pluvieux et venteux: Pas de bonnes conditions pour prendre de bonnes photos en intérieur. Mais je l'ai réussi!

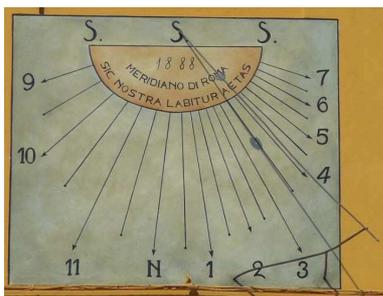


J'ai été si heureux que le secrétaire me permette d'utiliser la salle de la rotonde! J'étais seul avec «mes» cadrans solaires pendant une heure et j'ai essayé d'obtenir de bons clichés en gros plan. Une sélection de ma collection de photos peut être vue sur mon site (www.ta-dip.de) Maintenant j'espère seulement obtenir un article de journal qui concerne le cadran de la volée 1985 ...



° Réponses de Denis Savoie aux questions gnomoniques

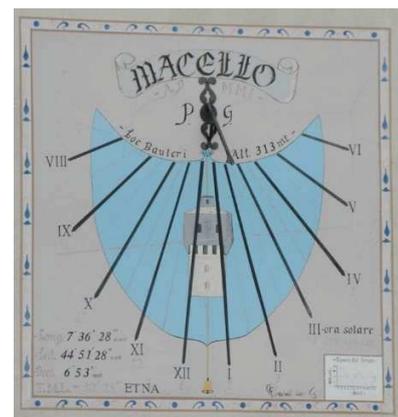
- Pourquoi la ligne midi n'est-elle pas verticale?



Cadran italien à Rocavione (ci-dessus) et à Macello (à droite) avec la ligne de midi...avant midi.

Sur un cadran vertical « classique » à style droit ou polaire¹ en France ou en Italie, une ligne midi qui n'est pas verticale signifie que le constructeur a calé son midi sur un autre lieu....ou qu'il s'est trompé dans ses calculs.

La ligne de midi peut être située à droite ou à gauche de la verticale. On sait que l'angle horaire H du Soleil à midi vaut zéro (ce qui explique pourquoi midi est verticale).



¹ Donc cadran vertical qui n'est ni bifilaire, ni à réflexion. Si le cadran est légèrement incliné, la ligne midi n'est plus verticale (en fait elle ne coïncide plus avec la ligne de plus grande pente). Sur un cadran cylindrique, midi est verticale.



Mais si H ne vaut plus zéro, alors midi ne coïncide plus avec la verticale.

Il existe une formule qui résume les deux cas de figure : $H = \lambda' - \lambda$, où λ' est la longitude d'un autre lieu et λ la longitude du lieu. Si $H > 0$, midi est à droite ; si $H < 0$, midi est à gauche.

– **ligne midi à droite de la verticale** (cas d'un mur regardant entre l'Est et l'Ouest):

C'est le cas le plus fréquent : le constructeur choisit de tenir compte de l'heure d'hiver (UT + 1 h) voire de l'heure d'été (UT + 2 h).

Dans ce cas, l'angle horaire du Soleil à midi ne vaut plus 0 mais + 15° dans le premier cas et + 30° dans le second. Cela revient à tracer un cadran dont la longitude λ' serait de + 15° ou de + 30°.

Le constructeur peut aussi choisir de faire indiquer le midi d'un lieu situé à l'Ouest de son méridien : par exemple un cadran situé à Cunéo ($\lambda = - 30$ m 12 s = - 7° 33') peut indiquer le midi de Greenwich ($\lambda' = 0^\circ$). Dans ce cas, on a $H = + 7^\circ 33'$ donc midi est à droite.

– **ligne midi à gauche de la verticale** (cas d'un mur regardant entre l'Est et l'Ouest)

Cas moins fréquent : le constructeur choisit de faire indiquer le midi d'un lieu situé à l'Est de son méridien. Exemple : à Paris ($\lambda = - 9$ m 21 s = - 2° 20' 15''), faire indiquer le midi solaire du Caire ($\lambda' = - 2$ h 5 m 04 s = - 31° 16'). Dans ce cas, il est évident que l'ombre du style doit couper la ligne « midi du Caire » avant celle du midi local, donc midi est à gauche (on a $H = - 1$ h 55 m 39 s = - 28° 54' 45'').

Mais le constructeur peut être à Brest ($\lambda = + 18$ min) et vouloir que son cadran indique le midi de Greenwich ($\lambda' = 0$). Dans ce cas, $H = - 18$ min (- 4° 30'), donc midi est à gauche.

Que sont les droites d'heures égales sur les astrolabes?

Détails de la question posée par P.J. Dallet:

Les astrolabes sont gradués en « heures égales » sans autres précisions. Ces heures égales semblent englober les heures de temps vrai local et les heures de temps moyen local. C'est au sujet de ces heures que nous posons notre question.

D'autre part, remarquons que le problème ne se limite pas aux heures égales : Les auteurs de traités sur l'astrolabe nous donnent le moyen de tracer des « Heures inégales d'astrolabe » susceptible de procurer des heures temporaires de nuit. Il nous semble que ces heures sont différentes des heures temporaires romaines. Lorsqu'elles sont obtenues par la hauteur d'une étoile au lieu de la hauteur du Soleil elles seraient incohérentes. Existe-il des cadrans Romains gravés dans une cavité creusée dans une pierre, procurant des heures temporaires de nuit ? Non nous ne le pensons pas. Ces « heures inégales d'astrolabes » sont donc bien d'un type distinct des heures temporaires romaines.

Il nous semble donc que toutes les heures obtenues par la hauteur d'une étoile par les astrolabes sont différentes des mêmes heures obtenues par un cadran solaire. Nous nous posons des questions ...

Nous rencontrons un problème difficile à comprendre ; nous recherchons une explication, voire une rectification.

Les lignes droites, ici tracées (figure 1), sur le tympan, sont dites « droites d'heures égales ». Il nous semble qu'elles sont des « droite d'heure vraie » si elles sont activées par le résultat découlant de la mesure de la hauteur du Soleil. Au contraire, elles deviendraient des « droites d'heure moyenne locale » si le résultat qui les active découle de la mesure de la hauteur d'une étoile.

L'instrument de l'auteur ne dispose pas d'ostensor pour lire les heures sur le limbe. Un ostensor permet de lire ces heures sur une graduation du limbe de 5 en 5 minutes (figure 2) , nous n'avons qu'une ligne par heure, soit une tous le 15°.

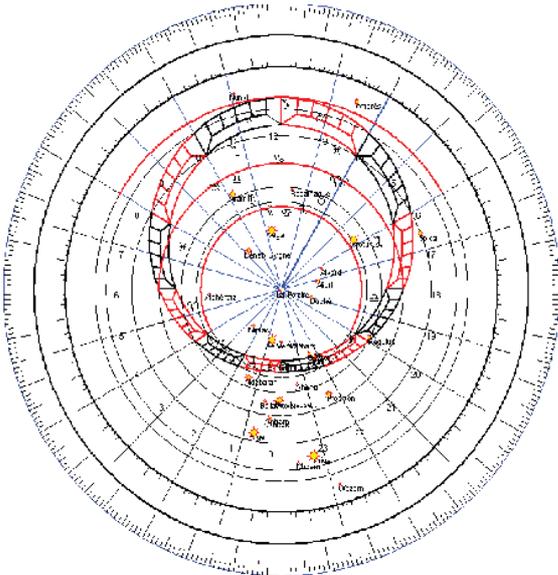


Figure 1 Le cadran-astrolabe de la collection DALLET est de ce type. Son auteur le considère bien plus comme un cadran solaire que comme un astrolabe



Figure 2 Ce cadran procure par le Soleil, à USSEL (19) le temps vrai de Greenwich. Par la hauteur d'une devrait procure-t-il le Temps Universel ?

Le cercle de l'écliptique est calculé par un rayon fonction de la déclinaison et des angles ayant pour origine l'abscisse positive à droite, de l'instrument. La déclinaison est préalablement calculée à partir de la longitude écliptique vraie du Soleil et de l'obliquité de l'écliptique. Pour être précis, le rayon du cercle de l'écliptique doit être très grand, plus d'un mètre probablement. Le rôle de ce cercle est uniquement de procurer la déclinaison d'un Soleil, vrai ou fictif. Il est gradué en longitude écliptique vraie du Soleil.

Nous devons donc pour l'utiliser disposer de la longitude écliptique vraie du Soleil pour l'instant de l'observation. Le logiciel AlgoSola procure une telle table.

Le cercle de l'écliptique est calculé par un rayon fonction de la déclinaison et des angles ayant pour origine l'abscisse positive à droite, de l'instrument. La déclinaison est préalablement calculée à partir de la longitude écliptique vraie du Soleil et de l'obliquité de l'écliptique. Pour être précis, le rayon du cercle de l'écliptique doit être très grand, plus d'un mètre probablement. Le rôle de ce cercle est uniquement de procurer la déclinaison d'un Soleil, vrai ou fictif. Il est gradué en longitude écliptique vraie du Soleil. Nous devons donc pour l'utiliser disposer de la longitude écliptique vraie du Soleil pour l'instant de l'observation. Le logiciel AlgoSola procure une telle table.

A notre avis : 1er cas nous avons un astre (le Soleil) affecté de l'équation du temps; deuxième cas nous avons un astre (une étoile) non affecté de l'équation du temps. Si l'astre était affecté de l'équation du temps sa hauteur ne serait pas la même.

1) Utilisation par mesure de la hauteur du Soleil.

Mesurer la hauteur du Soleil. Déterminer la place du Soleil sur le cercle de l'écliptique, côté EST ou OUEST suivant notre observation. Remarquons que pour lire « l'heure inégale » dans ce cas nous devons utiliser le « point anti-soleil » diamétralement opposé. pour lire dans la zone du tympan dépourvue du canevas des lignes d'almicantarats et d'azimut.

Placer le Soleil sur la ligne de hauteur où nous l'avons observé. Nous obtenons le temps vrai local.

Le rôle de l'instrument consiste en ceci : avec les données : « hauteur du Soleil, sa déclinaison, la latitude », nous obtenons l'angle horaire du Soleil vrai observé.

Bien évidemment, nous pensons que la comparaison des heures obtenues ne peut se faire qu'en se référant à une horloge. En faisant la différence entre les deux heures procurées il semble que nous devrions obtenir l'équation du temps.

Cette particularité est-elle exacte ?

2) Utilisation par mesure de la hauteur d'une étoile.

Mesurer la hauteur d'une étoile figurant sur l'araignée. Déterminer la « place du Soleil » sur le cercle de l'écliptique, côté EST ou OUEST suivant notre observation. La graduation est en degrés de longitude écliptique vraie. Une table annuelle permet à l'utilisateur de déterminer la longitude écliptique vraie du Soleil pour le jour et pour l'heure estimée. Placer l'étoile sur la ligne de hauteur où nous l'avons observée, côté EST ou OUEST suivant notre observation.

Nous obtenons le temps moyen local par le point « Place du Soleil ».

Le rôle de l'instrument consiste en ceci : avec les données : « hauteur du Soleil, sa déclinaison, la latitude », nous obtenons le « l'angle horaire du Soleil moyen ».

NB: Par la hauteur d'une étoile, les HUIT et les lignes des autres heures ne devraient pas être exactes. Alors, l'instrument figure 2, serait bien seulement un cadran et non un astrolabe ?

Réponse de D. Savoie: Astrolabe et temps solaire

Sur le limbe d'un astrolabe, gradué de 15° en 15°, on lit l'angle horaire d'un astre (Soleil ou étoile). Pour le Soleil, c'est du temps solaire vrai, que ce soit le Soleil ou une étoile qui a permis de régler l'astrolabe.

Exemple : le 3 novembre 2012, sur l'astrolabe, je relève que la hauteur de l'étoile Altaïr est de 30°. Mon Soleil est placé sur l'écliptique à cette date du 3/11 : sa longitude vaut à peu près 221° (si l'astrolabe est assez grand, la graduation écliptique peut être plus précise, de sorte que le lis une longitude du soleil de 221°,5).

Je lis maintenant sur le limbe de l'astrolabe (en plaçant l'ostensor sur le Soleil) que l'angle horaire du Soleil vaut 24°, 9, soit 13 h 40 m temps solaire vrai.

Si je place l'ostensor sur Altaïr, je lis sur le limbe son angle horaire : – 53°,75 (20 h 25 m). L'étoile n'est pas passée au méridien.

Je relève au même instant la hauteur du Soleil : j'obtiens 22° 08' (en imaginant que je puisse lire la hauteur avec une telle précision). Là encore l'ostensor indique sur le limbe un angle horaire de 24°, 9, soit 13 h 40 m temps solaire vrai.

Quelle heure est-il en temps moyen à l'instant de la mesure de hauteur ? Il est 13 h 23 m. Mais pour obtenir cette heure moyenne, j'ai dû corriger l'heure solaire de l'équation du temps, valeur issue d'une table (E = – 16 m 26 s). En aucun cas on ne peut lire directement l'équation du temps sur un astrolabe (sauf en faisant des opérations algébriques).

Donc que j'utilise le Soleil ou une étoile, j'obtiens le même temps : du temps solaire vrai. Car le principe de l'astrolabe revient à lire sur une abaque l'angle horaire H extrait de la formule bien connue :

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

On obtiendrait le même résultat (du temps solaire) en relevant l'azimut d'une étoile et du Soleil. On peut même imaginer qu'à un instant donné, le Soleil ait les mêmes coordonnées qu'une étoile fictive, qui aura donc la même hauteur et le même azimut : relever la hauteur de l'étoile ou du Soleil donnera le même angle horaire, du temps solaire vrai.

Et en aucun cas on ne peut lire le temps moyen sur un astrolabe classique.

Note, coordonnées géographiques prises : latitude de 48° 52', longitude nulle. (Ajouté d'après un mail)

Annexe de P.J. Dallet:

Dans le logiciel AlgoSola j'ai ajouté la possibilité de tracer les graphismes des "heures inégales des astrolabes" Leur algorithme de calcul est différent de "heures temporaires romaine" Elles sont utilisables le jour et théoriquement aussi la nuit, mais en pratique, la nuit ce n'est probablement pas facile.

J'ai ajouté une image (ci-dessous). J'ai aussi ajouté la table pour utiliser un astrolabe dont je mets quelques lignes ci-dessous également.

Extrait d'une table pour astrolabe
(2012 à 0h 0m)

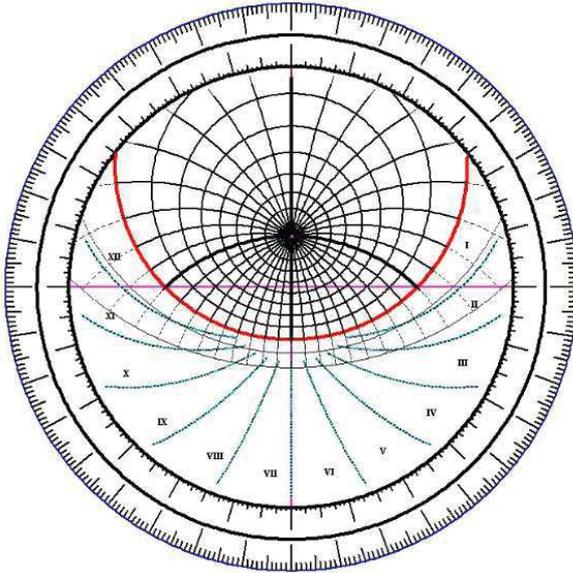


Table pour utilisation de cercle écliptique d'un astrolabe.

Sur la sphère céleste la longitude écliptique est comptée à partir du point gamma, printemps.

L'équation du temps est la différence entre le temps solaire vrai et le temps uniforme obtenu par les étoiles ou des horloges précises. C'est le temps à ajouter à l'heure vraie solaire locale observée pour obtenir le temps solaire moyen local.

Ajouter aussi 1 heure en hiver 2 en été si l'heure légale française actuelle est à obtenir.

En raison des imperfections des calendriers les dates varient de positions pour une longitude écliptique d'une année à l'autre.

Nov 2012	L.v. écliptique	Ascension droite	Déclinaisons	Equation du temps
Je. 1	219	216.6	-14° 29'	-16mn 25s
Ve. 2	220	217.6	-14° 48'	-16mn 26s
Sa. 3	221	218.6	-15° 7'	-16mn 26s
Di. 4	222	219.5	-15° 26'	-16mn 26s
Lu. 5	223	220.5	-15° 44'	-16mn 25s

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

- ° Présentation du livre d'Antoine Parent
- ° Procès-verbaux de l'Académie Royale des Sciences, 1701
- ° Mode d'emploi du compas solaire Abrams



° **Informations diverses**

- La méridienne intérieure du château de Versailles

Lors de notre visite de l'exposition « "Versailles et les sciences" », Madame Béatrix SAULE, directrice du musée et des collections, nous a demandé des précisions sur la méridienne tracé au sol du « cabinet de la pendule ». Voici le compte-rendu rédigé par D. Savoie suite à une visite le lundi 23 mai dernier.

<<La présence d'un magnifique soleil a permis de vérifier astronomiquement la méridienne tracée au sol dans le Cabinet de la pendule.

A l'instant du passage au méridien ce 23/05/2011 (longitude du lieu estimée à - 0 h 8 m 29 s du méridien international), soit 13 h 48 m 14s temps légal, on a pu vérifier que l'ombre d'un fil à plomb s'alignait parfaitement sur la méridienne. Celle-ci est donc tout à fait exacte.

On a pu également constater que l'ombre de l'arête du mur ne pouvait servir d'indicateur puisqu'elle cisaille la méridienne quelques minutes avant le passage au méridien, signe que l'arête n'est pas dans le plan Nord-Sud. Il reste maintenant un point essentiel, à savoir comment était utilisée cette méridienne. Il ne fait aucun doute que l'absence de graduations saisonnières en fait une méridienne dont la fonction est de donner uniquement le midi solaire, ceci pour régler les horloges. Rappelons que les horloges de Versailles (de Passemant, etc) ne comportent pas de mécanisme à équation : entre deux midis, il s'écoule exactement 24 h. Or les inégalités du temps solaires provoquent des écarts

pouvant atteindre un peu de plus de 15 min : il était donc nécessaire de régler les horloges régulièrement sur le soleil puisqu'elles prenaient tantôt de l'avance, tantôt du retard sur l'astre du jour.



Cette méridienne a donc une fonction de réglage; son utilisation suppose de repérer le passage soit de l'ombre, soit d'une tache de lumière.

° Trois hypothèses :

a) la moins probable selon moi est un œilleton enchâssé dans un carreau de verre de la fenêtre. L'œilleton aurait dû être placé à 223 cm du sol pour que la tache de lumière atteigne l'extrémité de la méridienne en hiver (longueur sensible de 700 cm, latitude du lieu de $48^{\circ} 48' 17''$). Placé plus bas, la tache de lumière serait montée sur le mur. Mais un œilleton placé sur une fenêtre qui s'ouvre et qui se ferme finit par "s'user" en raison du jeu provoqué par la mobilité de la fenêtre.

b) il existait à l'extérieur, près de la fenêtre, une sorte d'œilleton ou de style muni d'une boule, fixe, qui projetait une ombre sur la méridienne. Mais on n'a pas trouvé de trace d'un tel agencement.

c) il faut chercher un système simple et pratique; je pense à une sorte de tripode, sorte de gnomon vertical mobile soutenu au sol par trois pieds et que l'on place sur la méridienne en attendant que son ombre recouvre la bande métallique. On peut le déplacer en fonction des saisons afin d'avoir une bonne lecture de l'ombre puis le ranger. C'est simple et efficace et c'est ce système qui a ma faveur.



Il est évident qu'il faudrait poursuivre les recherches sur cette méridienne dans les archives de Versailles : qui l'a tracée, comment et comment s'en servait-on, pourquoi faire. Cela peut faire l'objet d'un beau mémoire d'un étudiant en histoire ou en histoire de l'art. On peut juste dire que son auteur maîtrisait bien l'astronomie>>>.

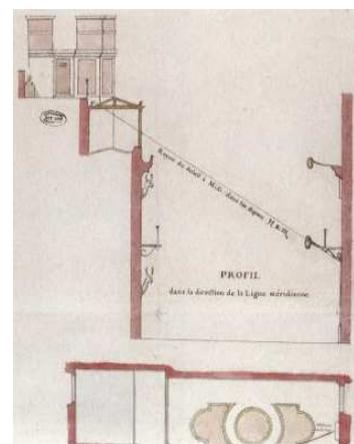
Denis Savoie,

Que dites les archives de Versailles sur le sujet?

Monsieur Yves Carlier Chef du Département des Ressources documentaires, nous a communiqué un document des Archives nationales, qui est une coupe sur la cour des Cerfs dans laquelle figure le cadran solaire du château avec indication du rayon du soleil à midi. Ce document a été dessiné par l'agence d'Ange Jacques Gabriel, en 1767 selon toute vraisemblance. (Voir ci-contre).

Il nous a informé que les documents conservés à Versailles concernent les XIXe et XXe siècles et qu'il n'y a pratiquement pas de documents concernant Versailles au XVIIIe siècle. Madame Karine Mc Grath Chef du service des archives, nous a confirmé: <<nous n'avons que très peu d'archives des XVIIème et XVIIIème siècles, celles-ci ne portent que sur des matériaux "lourds", de construction ou de rénovation, du Château.

Rien donc sur la méridienne de la chambre de l'horloge>>>.



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

Une copie de « Les méridiennes du château de Versailles » extrait de la « Revue de l'histoire de Versailles » 1972, adressé par son auteur Louis Janin à notre ancien président R. Sagot.

A noter que malgré l'éloignement des méridiennes de la cour des cerfs, L. Janin considérait que ces dernières permettaient le réglage de la pendule de Passemant. La méridienne au sol dans le cabinet, n'étant selon lui, qu'un repère géographique.

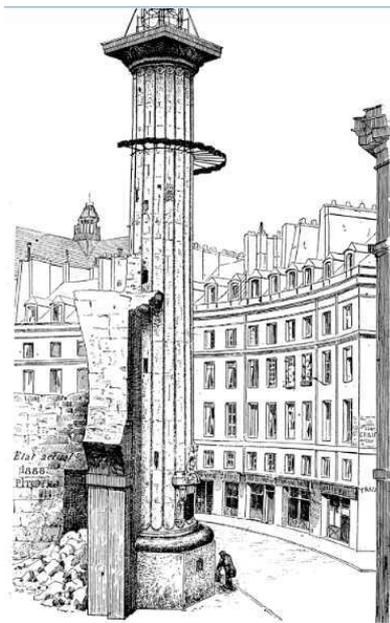
- Restauration du cadran de Pingré

Dans la rubrique « Informations » de Cadran-Info n° 18 d'octobre 2008, était présenté un projet de réhabilitation du cadran de Pingré situé place des halles à Paris, la description du cadran et la proposition de rénovation est en annexe de la version numérique de ce caran-Info ou à lire sur:

<http://www.paris.fr/portail/viewmultimediasdocument?multimediasdocument-id=25299>

Fin juin 2011, D. Savoie a rencontré une personne de la Maire de Paris pour évoquer ce sujet. Voici son compte rendu:

<<J'ai eu un rendez-vous cette semaine avec une adjointe du Maire de Paris, chargée des travaux aux Halles. Je lui ai présenté le projet de restaurer le cadran de Pingré; elle semble très intéressée et va présenter ce projet aux différents services de la mairie de Paris (culture, architecture, scientifiques...). Plusieurs problèmes restent à régler : on ne sait pas à qui appartient la colonne Catherine de Médicis (mairie ou bourse du commerce...). Il faut ensuite établir un devis sur le coût de l'opération et trouver les fonds pour lancer la restauration. Celle-ci n'est donc pas pour demain mais l'important est d'avoir lancé l'opération>>.



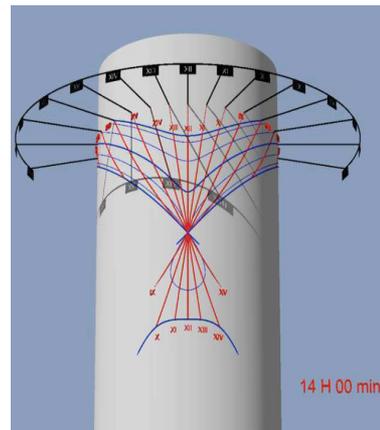
Pour en savoir plus sur ce cadran unique au monde:

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

° "Les Halles, projet de rénovation du cadran".

° Article de D. Savoie " : L'ancien cadran solaire de la colonne Catherine de Médicis à Paris" Astronomie Vol 112 février 1998.

° "Mémoire sur la colonne de la halle aux bleds et sur le cadran cylindrique que l'on construit au haut de cette colonne" par A.G. Pingré 1764.



A gauche vue de la colonne en 1888.

Au-dessus tracé numérique du cadran.

- Heures à Nuremberg (Joseph Theubet)

<<Voici un tableau d'heures bab/ital et heures de Nuremberg pour la latitude de Nuremberg, soit 49,45°. Je le propose pour Cadran Info d'octobre 2011. L'original est en allemand j'ai la permission du Dr Zenner de le publier en français>>.

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

° Le tableau complet sous .jpg et sous Excel



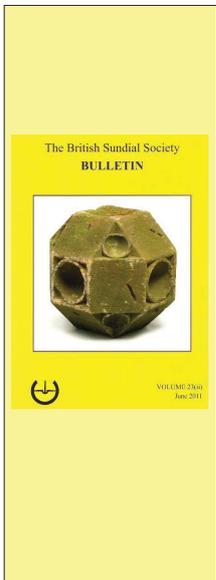
° Gnomonique du Monde

- **Sommaires des dernières revues ou bulletins:**



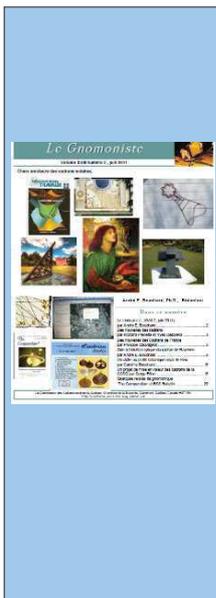
Arbeitsgruppe sonnenuhren im Österreichischen Astronomischen Verein N°41 Juin 2011 (papier) de la **GNOMONICAE SOCIETAS AUSTRIACA GSA**

Editorial, Adresses, Termes 2; Une nouvelle horloge solaire à Allensteig *Kurt Descovich d'Almissa* 3; Est-ce que φ et $\lambda = \lambda$? *Erich Imrek* 6; À la mémoire de *Franz Vrabc* 10; Horloges solaires inhabituelles *Helmut Sonderegger* 11.



VOLUME 23 (ii) - Juin 2011 (papier) de la **BRITISH SUNDIAL SOCIETY**

1. Editorial
2. The Rainbow as a Solar Timekeeper - *Allan Mills*
8. A Horizontal Quadrant of 1658 by Henry Sutton; Part 1 - *Michael Lowne & John Davis*
13. War Memorial Dials - *Tony Wood*
14. Before the BSS – A Sundial Chronicle - *Christopher Daniel*
20. The Sundial Goes to War: Part 1 - *Malcolm Barnfield*
25. Readers' Letters - *Cowan*
26. A Dial to Travel With - *Jackie Jones*
26. The John Rowley Dial - *John Davis*
27. Minutes of the 22nd Annual General Meeting, Wyboston, 1 May 2011
28. Accounts 2010
33. Photographic Competition 2010 - *Ian Butson*
36. The Ecclesiastical 'Scratch Dial' as a Serious Timekeeper - *Peter I. Drinkwater*
43. Readers' Letters (continued) - *Taylor, Foad*
44. A Stained Glass Sundial with a Magnetic Gnomon - *John Carmichael*
48. Restoring the Sundial at St Nicholas' Church, Leicester - *Robert Owens*
51. West Indies Dials - *JD*
54. The Great Amwell Scottish Renaissance Obelisk Dial Boss. Part 1. Reading a Scottish renaissance sundial boss
Malcolm Bishop



LE GNOMONISTE VOLUME XVIII-2 JUIN 2011 de la **COMMISSION DES CADRANS SOLAIRES DU QUEBEC** à télécharger sur le site : ([HTTP://CADRANS SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/](http://CADRANS_SOLAIRES.SCG.ULVAL.CA/))

- 1 *La page titre du Bulletin (L:XVIII,2)* par quelques photos de chaque article. [page 1](#)
- 2 *Liminaire (L:XVIII-2)* par André E. Bouchard. [pages 2-3](#)
- 4 *Des nouvelles des cadrans* par Richard Frenette et Yves Desbiens. [pages 4-5](#)
des nouvelles des Cadrans de France par Philippe Sauvageot.
- 6 *Ode à l'intuition lyrique du cadran de Ravenne (Arnaldi)* par André E. Bouchard. [pages 6-15](#)
- 16 *Une visite des cadrans au jardin botanique royal de Kew à Londres* par Caroline Bouchard. [pages 16-17](#)
- 18 *Un projet de mise en valeur de nos cadrans* par Serge Filion. [page 18-19](#)
- 20 *Quelques revues de gnomonique* par The Compendium et The BSS Bulletin. [page 20](#)

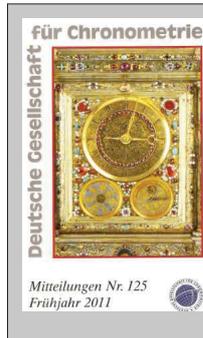
The COMPENDIUM vol 18-2 Juin 2011 (sur CD) de la NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY			
	Sundials for Starters – Penumbral Shadow	Robert L. Kellogg	1
	Quiz Answer: Progressive Sunsets	Bill Gottesman	7
	Quiz: The Shadow Of A Pergola	Rolf Wieland	8
	Declination Of The Sun (Approximating Formulae)	Herbert O. Ramp	9
	Digital Bonus		10
	Developing Ozanam's Map Dial Into A Modern Dial	Bill Gottesman	11
	Students Construct Sundials	Mac Oglesby	17
	Sundial Sighting... At Butler University	Mark Montgomery	20
	The Sundial On The Bridge	C.M. Paine (1905)	21
	Ancient Hour Lines: Italic, Babylonian and Unequal Hours	Alessandro Gunella	22
A Panoramic Sundial	L. Ghia & T. Tasselli	26	
How Accurate Are Bernhardt Rollers?	Rolf Wieland	30	
Solving A Bifilar Sundial Using Vectors	William D. Horst	36	
The Tove's Nest		40	

SCAPHE N° 6 Estu-Verano 2011 (sur papier) du CENTRE MEDITERRANI DEL RELLOTGE DE SOL	
	Editorial pàg. 3
	Les maquetes de rellotges de Sol de Francesc Clarà pàg. 4
	Última obra de Francesc Clarà pàg.45
	Agenda - Resum d'activitats pàg.46
	Rellotges de Sol calculats per Francesc Clarà pàg.47
	Solstici d'estiu pàg.48

La BUSCA de PAPER N° 68 Printemps 2011	
	Editorial 3 ; Correus de Socis i Amies 4 ; L'Àngel de la Concàrdia, per J. Ma Val Soriano 5 ; Ressenyes 7 ; Per a navegants 7 ; Restauracio d'un rellotge de pastor del sXVIII, per R. Soler 8 ; Un rellotge de sol insolit sobre columna en l'antic convent de La Baumette, per M. Pizarro 10. ; Una cronologia de la Cronometria (VII), per E. Farré 17 ; L'equacio del temps en els rellotges de sol i en els rellotges Mecànics, per E. Farré 20 ; Un nou tipus de rellotge de sol, per]. Girbau 25 ; Textos en castellano 28 ; Alguns rellotges de sol de Sant Julià de Vilatorca (imatges J.M.Val) 35

GNOMONICA ITALIANA anno VIII N° 23 Mars 2010 (papier) de la COORDINAMENTO GNOMONICO ITALIANO - CGI	
	2 Equinozi e rifrazione, Le osservazioni equinoziali di Egnazio Danli (seconda parte) par Paolo Albéri Auber; 8 Un orologio solare "a cornice" piano verticale par Riccardo Anselmi; 12 Rassegnba Stampa, par Alessandro Gunella 15 Un uso un poco particolare del diagramma di oughtred par Alessandro Gunella; 16 La linea meridiana cella certosa di San Martino a Napoli par Nicola Severino; 25 XVII seminario di Gnomonica; 29 Nel"500 erano in uso due diversi sistemi" di ore Planetarie? (Ovvero cronaca di un insuccesso) par Alessandro Gunella; 33 Equinozi e rifrazione; L'armilla equinoziale di Egnazio Danti a Bologna par Paolo Albéri Auber; 38 Un altro predecessore di Zarbula?

par Alessandro Gunella.



MITTEILUNGEN N° 125 Printemps 2011 (papier) de la DEUTSCHE GESELLSCHAFT für CHRONOMETRIE

Nous avons noté un article concernant la gnomonique, celui de Y. Opizo: Die Erde, der Himmel und das Meer page 4 à 9 et bien sûr de nombreuses études sur l'horlogerie ou la mesure du temps.

- Informations diverses:

° **BRITISH SUNDIAL SOCIETY:**

Chris Daniel (chairman) et Graham Alfred (secrétaire) se retirent de la BSS. Ils sont remplacés respectivement par Frank King et Chris Williams.

Meilleurs souhaits à tous dans leurs nouvelles activités.

° **NORTH AMERICAN SUNDIAL SOCIETY:**

Fred Swayer et son épouse sont venus à Paris en juin dernier. Une promenade gnomonique a été organisée par Alain Ferreira dans le quartier latin le mardi 14 après-mi.



Toutes les sociétés gnomoniques étrangères peuvent faire paraître des informations dans cette rubrique. This heading is open at every gnomonic society.

Toutes les revues peuvent être scannées, envoyées par mails ou sur CD (si volume important) ou par courrier (Prix de la page au tarif de la SAF + frais d'envoi suivant poids.)



° **Articles à paraître dans Cadran Info**

- ° Différentes études gnomoniques de Paul Gagnaire
- ° Abaques de localisation du soleil apparente en tout lieu du globe terrestre et à tout moment par André Marchal.
- ° Principe du Pros pan Klima par André Marchal.
- ° La boussole solaire ABRAMS, fabrication et utilisation André Marchal.
- ° Traduction de l'article de Riccardo Anselmi concernant les cadrans de Mondovi
- ° Passage au méridien et culmination par Alexandre Vial





Photo de Ph. Sauvageot

Eglise de Avenches (Suisse)