

PHOTOS
COULEURS

CADRAN-INFO

Sommaire du N° 10

▪ Le logiciel SHADOWS	Blateyron F
▪ Technique et cadran	Benoît D
▪ Paramètres des cercles de Lambert et des marqueurs saisonniers, extension aux compas solaires.	Cornec JP
▪ Cadran pot de fleurs renversé	Dallet PJ
▪ Cadrans Islamiques	Dallet PJ
▪ Les instruments du temps à Athènes	Gotteland A
▪ Les Méridiennes du monde	Gotteland A
▪ Les Cadres solaires géants	Gojat P
▪ Mesure de la déclinaison - Différence d'azimuts	Labrosse G
▪ Cadrans de hauteur à lignes rectilignes	Massé Y
▪ Mesure de l'Orientation d'un plan déclinant-incliné	Massé Y
▪ Reproduction du cadran de Brou	Mazziotti T
▪ Cadran conique inverse	Savoie D
▪ Equation du Temps et déclinaison du soleil	Savoie D
▪ Heure dans verre à cognac (26 déc 1978)	Sagot R
▪ Enquête sur les cadrans canoniaux	Schneider D
▪ Héliochronomètre optique	Vercasson M
▪ Appareil de mesure de déclinaison d'un mur pour les non-gnomonistes	Vercasson M
▪ Bric à Brac gnomonique: Informations-livres	
▪ courrier, sites internet, articles parus dans CI 1 à 9.	

CADRAN-INFO

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

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

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

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

Remarques:

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

Ph. Sauvageot

Vice-Président de la Commission des cadrans Solaires

Le Logiciel SHADOWS (F. Blateyron)

Cet outil convivial et pédagogique permet au profane ou au professionnel de réaliser des cadrans du plus simple au plus complexe.

Ce logiciel déjà utilisé par des milliers de personnes dans le monde a fait l'objet d'un rapport de test dans le magazine d'Astronomie "Sky & Telescope" de septembre 2004.

A la parution de cet article, le logiciel Shadows sera entièrement finalisé. Pour le décrire, puisons dans la présentation faite sur le site internet de F. Blateyron.

Et pour en savoir plus, je vous invite à vous rendre sur ce site à l'adresse:

www.cadrans-solaires.org

ou bien de contacter directement l'auteur.

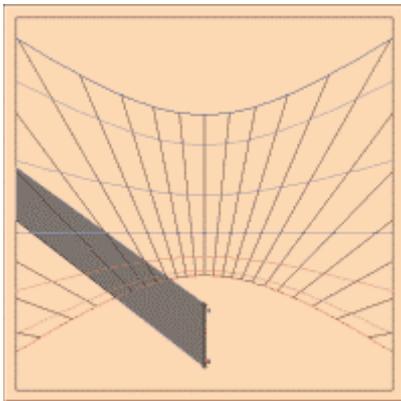
Ph. Sauvageot

Ci-dessous informations partielles issues du site Web de F. Blateyron

Un logiciel simple et convivial

Shadows est un logiciel de conception de cadrans solaires. Il est utilisable par tous sans connaissances préalables et permet de calculer et imprimer tous les tracés nécessaires à la réalisation d'un cadran solaire personnalisé.

Un logiciel pédagogique et utile



Les différentes fonctionnalités du logiciel permettent de comprendre comment l'ombre du style fournit l'heure solaire et, par le biais de corrections expliquées en détail, l'heure de la montre.

L'aide en ligne très complète, au format HTML, propose de découvrir la gnomonique et d'apprendre les secrets des cadrans solaires. De nombreuses rubriques prodiguent des conseils utiles pour la fabrication de son cadran à partir des informations fournies par le logiciel.

Un logiciel pour tous

Shadows se distingue des autres logiciels depuis plusieurs années par sa convivialité, le rendant accessible à tous les curieux, même ceux qui n'ont aucune connaissance en astronomie ou en mécanique céleste. Ici, aucune équation compliquée ; juste quelques clics de souris dans des boîtes de dialogue simples et le logiciel fournit directement un tracé utilisable tel quel ou modifiable par le biais d'options pilotées par des icônes.



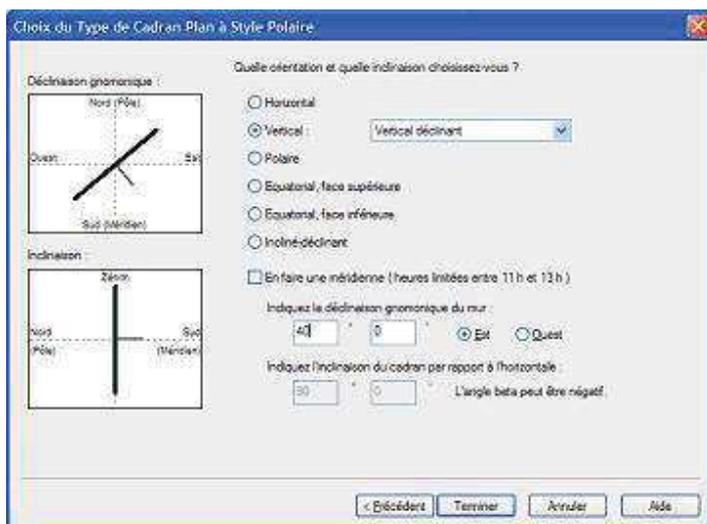
Les trois niveaux du logiciel

Shadows dans sa version de base est gratuit. Il peut être utilisé par tous pour des besoins personnels ou commerciaux. Il comporte un ensemble très complet de fonctionnalités et dispose d'une documentation complète. Les utilisateurs de la version 1.6 retrouveront ici ses fonctionnalités plus de nombreuses nouveautés. Ceux qui souhaitent aller encore plus loin pourront passer à la version **Shadows Expert**.

Shadows Expert est un niveau destiné aux personnes ayant acquis les bases et souhaitant accéder à des fonctions plus évoluées du logiciel. Ce niveau nécessite l'achat d'une licence **Shadows Expert** (voir le lien **Commander**).

Shadows Pro est le niveau le plus complet du logiciel. Il est destiné aux professionnels et amateurs chevronnés. Ce niveau nécessite l'achat d'une licence **Shadows Pro** (voir le lien

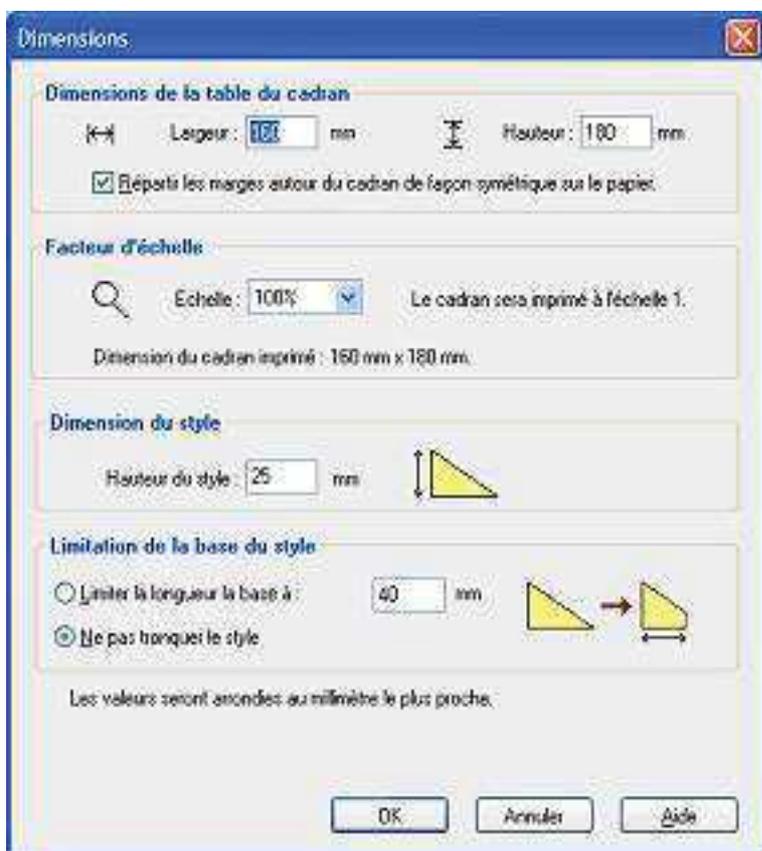
Types de cadrans solaires		Shadows	Shadows Expert	Shadows Pro
Cadran plan horizontal		✓	✓	✓
Cadran plan vertical méridional		✓	✓	✓
Cadran plan vertical déclinant (toutes déclinaisons)		✓	✓	✓
Cadran plan équatorial (faces supérieures et inférieures)		✓	✓	✓
Cadran plan polaire		✓	✓	✓
Cadran plan incliné déclinant			✓	✓
Méridienne sur la base d'un cadran plan (heures entre 11 h et 13 h)	NEW!		✓	✓
Cadran analemmatique horizontal à style droit	NEW!		✓	✓
Cadran analemmatique vertical à style droit	NEW!		✓	✓
Cadran analemmatique horizontal à style incliné	NEW!			✓
Cadran analemmatique vertical déclinant à style droit	NEW!			✓
Couronne armillaire	NEW!		✓	✓
Cadran demi-cylindrique polaire sans style	NEW!		✓	✓
Cadran cylindrique vertical externe à style déclinant	NEW!			✓
Cadran de berger cylindrique	NEW!		✓	✓
Cadran cylindrique vertical interne	NEW!			✓



Un large choix de type de cadrans

Le logiciel **Shadows** propose un vaste choix de modèles de cadrans. Les cadrans plans (les plus classiques) pour toutes les orientations et inclinaisons, mais aussi les cadrans analemmatiques, les cadrans cylindriques, les couronnes armillaires, le cadran de berger, ect. Chaque type est décrit en détail et configuré pas à pas à l'aide de l'assistant de création du cadran.

Il est ainsi possible de commencer par un cadran simple (méridional par exemple) puis de découvrir progressivement des cadrans plus techniques.



Une configuration aisée

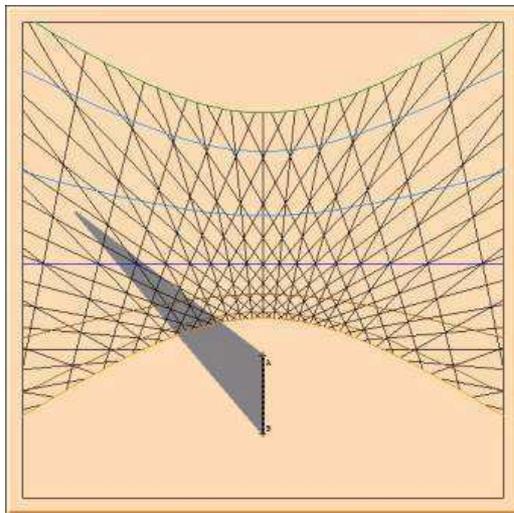
La taille du cadran, la hauteur du style, les couleurs et l'épaisseur des traits, la nature des informations fournies par le cadran, tout est configurable par l'intermédiaire de boîtes de dialogue claires.

Chaque boîte de dialogue dispose d'un bouton Aide qu'il suffit de cliquer pour voir afficher la page correspondante détaillant chaque option et les cas d'utilisation.

Fonctions diverses		Shadows	Shadows Expert	Shadows Pro
Visualisation de l'ombre sur le cadran en temps réel	NEW!	✓	✓	✓
Animation de l'ombre sur le cadran (automatique ou pas à pas)	NEW!	✓	✓	✓
Simulation de l'ombre à un instant donné (jour et heure)	NEW!	✓	✓	✓

Ephéméride pour un instant donné	NEW!		✓	✓
Ephéméride réactualisée en temps réel	NEW!		✓	✓
Outil de tracé d'un rapporteur		✓	✓	✓
Outil de tracé d'un cercle d'azimut	NEW!	✓	✓	✓
Outil d'aide à la détermination de la déclinaison gnomonique d'un mur	NEW!			✓
Outil de conversion entre les degrés décimaux et ° ' "	NEW!	✓	✓	✓

Simulation de l'ombre



▲ Mouvement de l'ombre du style pour un jour choisi.

Ephémérides du soleil



▲ Calculées pour une date donnée ou en temps réel pour le temps présent.

www.shadowspro.com

Le site du logiciel Shadows

Le logiciel de conception de cadrans solaires pour novices et amateurs chevronnés
créé par François Blateyron

Technique et cadran (D. Benoit)

M. Didier Benoit, spécialiste de part sa profession en peinture industrielle, traitement de surface, préservation de la pierre et de la brique... et applicateur agréé KEIM/RUST-OLEUM-INTERNATIONAL a mis son expérience dans la réalisation d'un cadran solaire sur la façade Nord-Est de sa maison. Cet article reprend les termes de son courrier technique qu'il m'a adressé en juin dernier.

Ph.Sauvageot

1- Le cadran:

Il s'agit d'un cadran vertical fortement déclinant (-155°) calculer à l'aide du logiciel Solarium. Il est implanté sur la demeure de D. Benoit et porte le nom du lieu "La Grèze" qui définit un sol rocailleux propice entre autre à la culture de la vigne. Latitude: $44^\circ 03'$; Longitude $-2^\circ 9,5'$; mur vertical.



Relevé de la déclinaison du mur



Préparation du support



Lisage du support

2- La Réalisation:

Le cadran est réalisé sur un enduit minéral "Keim", à base de chaux et poudre de marbre blanc de Carrare; Apr7s séchage, on pulvérise sur l'enduit de l'eau déminéralisée à saturation (éviter les ruissellements) de façon à pouvoir appliquer les "peintures d'artistes Keim" mouillé sur mouillé.

Les peintures d'artistes Keim sont des pigments (terres ou oxydes de métaux) livrés détrem্পés dans l'eau distillée. Les pigments pénètrent le support et se fixent sans former de film à la surface (non filmogène). Il est possible d'interrompre à tout moment l'application des peintures d'artistes. Il sera simplement nécessaire d'humidifier de nouveau le fond avant de reprendre le dessin. De même des retouches peuvent être effectuées à tout moment, il suffit d'humidifier, d'effacer à l'aide d'une éponge et d'appliquer de nouveau la peinture d'artistes.

Une fois le dessin terminé et après séchage on pulvérise du silicate de potassium (voir point 3) liquide qui par cristallisation va fixer définitivement l'œuvre. C'est l'opération la plus délicate car il faut emmener par plusieurs pulvérisations espacées de 12 heures à bloquer tous les pigments sans créer de vitrification de surface du décor. Cette technique bien mise en œuvre assurera à votre dessin avec un minimum d'entretien une tenue bien au-delà centenaire.



Perçage du logement du style



Maintien du style en position
durant la prise du scellement



Dessin du cadran

3 - Propriété du silicate de potassium:

Le silicate de potassium qui constitue le liant, est le résultat de la fusion à haute température de la silice avec du carbonate de potassium, selon des proportions bien définies – la nature du silicate pouvant être déterminée par le rapport silice/potassium.

Cette fusion produit une espèce de verre grossier: le silicate de potassium crystallisé. Ces cristaux sont alors dissouts en autoclave dans de l'eau à 200° C et sous une pression de 8 bar, jusqu'à obtention d'un liquide transparent comme de l'eau (en allemand "Wasserglas" qui signifie "verre liquide").

Le mélange de ce silicate de potassium liquide ainsi obtenu avec des pigments minéraux, donne une peinture minérale pure. Appliquée sur un support minéral (crépis à la chaux, ciment ou chaux et ciment, pierres naturelles ou reconstituées, fibrociment, briques, tuiles béton cellulaire et autres supports à base de plâtre), elle se cristallise: un processus inverse se réalise et la peinture se transforme par le biais de la silicification en une combinaison chimique stable qui donne à ces peintures minérales les propriétés suivantes:

- absence de film sur le support
- ininflammables
- insolubles et résistantes à des températures très hautes ou très basses
- non polluantes
- non nocives pour l'applicateur,
- assurent une microporosité optimale
- adhérence parfaite
- inaltérable aux rayons ultraviolets
- très grande résistance à la pollution industrielle (dioxyde de carbone)
- perméabilité à la vapeur d'eau permettant au support de conserver tout son pouvoir respirant
- consolidation des fonds minéraux
- hautement alcaline luminosité éclatante



**CALCUL DES PARAMETRES DES CERCLES DE LAMBERT
ET DES MARQUEURS SAISONNIERS.
EXTENSION AUX COMPAS SOLAIRES (J.P. CORNEC)**

Un article du précédent 'Cadran-Info' avait établi l'existence des Marqueurs Saisonniers et démontré la réalité des Cercles de Lambert dans un cadran analemmatique horizontal classique à style vertical mobile. Ici nous établirons les expressions mathématiques de diverses grandeurs qui leur sont associées. Elles avaient été précédemment données sans démonstration.

1- CERCLES DE LAMBERT

Une fois l'existence du cercle établie, le calcul des coordonnées de son centre et de son rayon sont immédiates. On se référera à la Figure 1. E représente le point de l'échelle des dates correspondant à la déclinaison δ , G et K les points horaires de l'ellipse indiquant respectivement les heures des lever et coucher solaires. T sera le point diamétralement opposé à E sur le cercle de Lambert. Enfin F et F' sont les foyers de l'ellipse. Le repère de référence est centré au centre O de l'ellipse; l'axe Ox aligné sur le grand axe, positif à l'est; l'axe Oy est sur le petit axe, positif vers le nord. Le demi grand axe sera pris pour unité.

Dans ce repère l'équation de l'ellipse est alors :

$$x^2 + \frac{y^2}{\sin^2 \Phi} = 1$$

Et le point horaire de l'ellipse pour un angle horaire H a pour coordonnées :

$$x = \sin H$$

$$y = \sin \Phi \cos H$$

-1.1- Rayon d'un cercle

Le cercle de Lambert pour une déclinaison δ admet bien sûr la direction du petit axe de l'ellipse comme diamètre, puisque les 5 points qui le définissent forment une ensemble symétrique par rapport à ce petit axe. Soit C le centre du cercle sur la Figure 1, et R son rayon. L'angle au centre FCE soutend l'arc EF auquel correspond l'angle inscrit EF'F qui est égal à δ , propriété du cadran analemmatique. L'angle FCE vaut donc 2δ . D'où la relation :

$$CO = CE - OE$$

soit :

$$R \cos 2\delta = R - \text{tg } \delta \cos \Phi$$

d'où :

$$R = \frac{\cos \Phi}{\sin 2\delta}$$

Ce résultat peut aussi être établi plus directement en faisant appel à une propriété des triangles impliquant les côtés, les angles et le rayon du cercle circonscrit. Appliquée au triangle FEF' cette propriété s'écrit

$$\frac{EF}{\sin \delta} = \frac{EF'}{\sin \delta} = \frac{FF'}{\sin 2\delta} = 2R$$

En remplaçant FF' par sa valeur $2 \cos \Phi$ on retrouve bien l'expression ci-dessus.

-1.2- Centre d'un cercle

Seule son ordonnée Y_c est à calculer sur le diamètre ET. Dans un repère de centre O, l'axe Ox étant porté par le grand axe avec les x positifs vers l'est, l'axe Oy par le petit axe positif vers le nord, l'équation du cercle de Lambert s'écrit :

$$x^2 + (y - Y_c)^2 = R^2$$

Pour le point E l'équation se réduit à :

$$(\text{tg } \delta \cos \Phi - Y_c)^2 = R^2$$

Pour le point F elle se réduit à :

$$\cos^2 \Phi + Y_c^2 = R^2$$

En éliminant R^2 entre ces deux expressions on déduit :

$$Y_c = -\frac{\cos \Phi}{\text{tg } 2\delta}$$

Le signe négatif traduit bien le fait que le centre est à l'opposé de E par rapport à O, vers le sud pour les déclinaisons positives, vers le nord pour les négatives. En pratique les centres se trouvent rejetés assez loin en dehors de la surface de l'ellipse. A nos latitudes seuls les centres des cercles pour les deux solstices sont proches du tracé de l'ellipse dans la mesure où $\text{tg } 2\delta$ est lui-même proche de 1. Cela facilite en pratique le tracé des cercles pour ces époques.

-1.3- Equation d'un cercle

L'équation du cercle de Lambert est donc :

$$x^2 + \left(y + \frac{\cos \Phi}{\text{tg } 2\delta}\right)^2 = \frac{\cos^2 \Phi}{\sin^2 2\delta}$$

qui se réduit en :

$$x^2 + y^2 + 2y \frac{\cos \Phi}{\text{tg } 2\delta} - \cos^2 \Phi = 0$$

Par vérification, pour $y=0$ (grand axe) on retrouve bien les abscisses des deux foyers : $x = \pm \cos \Phi$; et pour $x = 0$ (petit axe) on retrouve d'une part l'ordonnée du point E, $y = \cos \Phi \text{ tg } \delta$, et l'ordonnée du point T, diamétralement opposé à E, $y = -\cos \Phi / \text{tg } \delta$. Ces deux équations permettent de tracer point par point des portions de cercles de Lambert quand le centre est inaccessible.

-1.4- Procédé de construction du centre d'un cercle.

Ce procédé ne peut guère être utilisé en pratique que pour les cercles des solstices. Pour retrouver le point C, les points E et F étant donnés, il nous suffit de construire en F une droite faisant avec EF un angle égal à l'angle FEO.

Sur la Figure 1 les triangles EFC ou EF'C sont isocèles. Avec la pointe du compas en F on trace un arc de cercle de rayon FE qui coupe le petit axe en un point E1 symétrique de E par rapport au grand axe. Puis de E on trace un arc de cercle de même rayon EF. Enfin, à partir de F, on reporte sur cet arc une corde FE2 égale à EE1. La droite FE2 coupe le petit axe au point C cherché.

Il n'y a plus alors qu'à tracer le cercle de rayon CE (ou CF ou CF') qui coupera l'ellipse aux points G et K.

-1.5- Intersection de l'ellipse avec les cercles

A partir des équations de l'ellipse et d'un cercle il n'est pas difficile de déterminer les coordonnées des points d'intersections des deux courbes. L'élimination de x^2 entre les équations des deux courbes conduit à deux valeurs de y :

$$y_1 = \frac{\sin^2 \Phi}{\cos \Phi} \frac{1}{\text{tg } \delta} \qquad y_2 = -\frac{\sin^2 \Phi}{\cos \Phi} \text{tg } \delta$$

On voit facilement que, pour les gammes de déclinaison qui nous intéressent, y_1 a toujours le même signe que la déclinaison, tandis que y_2 a toujours le signe opposé. L'intersection d'ordonnée y_1 a lieu dans la même moitié de l'ellipse que la partie de l'échelle des dates qui contient le point pour la déclinaison δ . Or on a vu que pour les Cercles de Lambert l'intersection correspondant aux lever/coucher pour une déclinaison solaire se situe dans la moitié de l'ellipse opposée à la partie de l'échelle des dates qui contient la déclinaison. Donc seul y_2 est à retenir ici pour les lever/coucher. L'autre ordonnée correspond à une autre intersection qui concerne la zone intertropicale : elle se produit à une heure comprise entre midi et 6 heures ou 18 heures.

En reportant les expressions dans l'équation de l'ellipse par exemple, on obtient les abscisses des points d'intersection :

- a - Cas des lever/coucher :

$$x = \sqrt{1 - \text{tg}^2 \Phi \text{tg}^2 \delta}$$

qui, bien entendu !!!, s'écrit :

$$x = \pm \sin H(L/C)$$

où $H(L/C)$ est l'angle horaire du soleil lors des lever/coucher. L'abscisse n'existe que si le radical est positif, ce qui sera toujours le cas d'un cercle polaire à l'autre, et partiellement suivant l'époque de l'année au-delà des deux cercles polaires. Une autre confirmation de ce résultat s'obtient en faisant correspondre à l'ordonnée y_2 un point horaire, donc un angle horaire sur le cadran analemmatique :

$$y_2 = -\frac{\sin^2 \Phi}{\cos \Phi} \text{tg} \delta = \sin \Phi \cos H$$

soit :

$$\cos H = -\text{tg} \Phi \text{tg} \delta$$

à nouveau expression bien connue donnant l'angle horaire aux lever/coucher.

- b - Autre point d'intersection :

$$x^2 = 1 - \frac{\text{tg}^2 \Phi}{\text{tg}^2 \delta}$$

qui se transforme en :

$$x = \pm \frac{1}{\cos \Phi \sin \delta} \sqrt{\sin(\delta + \Phi) \sin(\delta - \Phi)}$$

Ici encore x n'existe que si la quantité sous le radical est positive, condition qui est satisfaite pour :

$$\delta + \Phi > 0 \quad \text{ET} \quad \delta - \Phi > 0$$

ou

$$\delta + \Phi < 0 \quad \text{ET} \quad \delta - \Phi < 0$$

Ces deux conditions se réduisent à :

$$\delta > 0 \quad \text{et} \quad \delta > |\Phi|$$

ou

$$\delta < 0 \quad \text{et} \quad |\delta| > |\Phi|$$

Dans les deux cas la déclinaison est supérieure à la latitude, ce qui ne peut se produire qu'entre les tropiques. A nouveau faisons correspondre un angle horaire à y_1 :

$$y_1 = \frac{\sin^2 \Phi}{\cos \Phi} \frac{1}{\text{tg} \delta} = \sin \Phi \cos H$$

ou :

$$\cos H = \frac{\text{tg} \Phi}{\text{tg} \delta}$$

Entre les tropiques c'est l'expression qui donne l'angle horaire à l'instant de la plus grande digression du soleil en azimut au cours de la journée. En effet on sait que, dans cette région, le soleil passe deux fois par le même azimut dans la matinée et, à nouveau, dans l'après-midi [D. Savoie, la Gnomonique]. Cet azimut passe donc par un maximum à une certaine heure solaire $H(R)$ donnée par l'expression ci-dessus. D'ailleurs si on reprend l'expression initiale de x^2 ci-dessus on peut l'écrire :

$$x = \pm \sin H(R)$$

Dans les régions tropicales l'échelle des dates d'un cadran analemmatique "dépasse" de l'ellipse pour les valeurs de la déclinaison de même signe que la latitude et supérieure à celle-ci en valeur absolue. Pour ces déclinaisons le style se positionne à l'extérieur de l'ellipse. Il est donc possible à partir de cette position de mener une tangente à l'ellipse, le point de tangence matérialisera l'instant de la plus grande digression en azimut. A cet instant de l'après-midi ou de la matinée l'ombre du style sera tangente à l'ellipse.

Dans les régions inter tropicales, un Cercle de Lambert pour une déclinaison supérieure à la latitude coupe l'ellipse d'un cadran analemmatique en quatre points : deux d'entre eux correspondent aux heures des lever et coucher du soleil; les deux autres donnent les heures de plus grande digression du soleil en azimut le matin et l'après-midi.

Ces quatre points sont symétriques deux à deux par rapport au petit axe de l'ellipse. Dans cette région un Cercle de Lambert et l'ellipse ont alors sept points remarquables en commun : un point de l'échelle des dates, les deux foyers, les points horaires des lever et coucher et les deux points horaires des azimuts maximums du soleil.

Du point de vue géométrique une normale à l'ellipse menée du point de l'échelle des dates donne les heures des lever/coucher tandis qu'une tangente menée de ce point donne les heures d'azimut maximum.

Mais en pratique, dans cette zone de latitudes, les heures des lever/coucher s'écartent peu de 6 heures et les points horaires restent concentrés à l'extrémité de l'ellipse; de même les foyers sont très proches des extrémités de la courbe. Les Cercles de Lambert sont donc ici plus indiqués pour marquer les heures du maximum d'azimut du soleil comme ils indiquent les heures de ses lever/coucher aux latitudes plus élevées.

Le Cercle de Lambert donne ainsi un procédé pratique pour positionner sur l'ellipse les points de digression maximale. Graphiquement la méthode n'est pas précise car l'intersection de l'ellipse et du cercle se fait sous un angle très fermé; il vaut mieux avoir recours aux expressions des coordonnées des points.

La Figure 4 présente un exemple pour une latitude de 15° Nord. L'ellipse du cadran est graduée en demies heures. Les six cercles de Lambert ont été tracés; leurs intersections avec l'ellipse pour les heures de jour sont marquées par des points. Bien sûr seuls les deux cercles de déclinaison supérieure en valeur absolue à 15° coupent l'ellipse.

A partir de la formule donnant $\cos H$ on peut calculer les heures de digression maximale pour les deux déclinaisons concernées :

Déclinaison	Matin	Après-midi
$\pm 23^\circ,44$	9h07	15h27
$\pm 20^\circ,15$	8h32	14h52

qui correspondent bien aux points de la Figure 4.

2- MARQUEUR SAISONNIER

Sur la Figure 1 EK représente la direction du soleil au moment du coucher. L'angle OEK est l'azimut de cette direction, compté partir du nord. Sa valeur est donnée par :

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \Phi}$$

Soit M le marqueur du coucher pour une déclinaison δ . Dans le triangle EOM, le côté OM qui est l'abscisse du marqueur, s'exprime par :

$$OM = EO \operatorname{tg} A$$

En remplaçant EO par son expression et en exprimant $\operatorname{tg} A$ en fonction de $\cos A$ on obtient :

$$OM = \frac{\cos \Phi}{\cos \delta} \sqrt{(\cos^2 \Phi - \sin^2 \delta)}$$

que l'on réécrit :

$$OM = \frac{\cos \Phi}{\cos \delta} \sqrt{(\cos(\Phi + \delta) \cos(\Phi - \delta))}$$

Cette expression ne dépend pas du signe de δ puisque $\cos \delta$ est ici toujours positif et $\sin \delta$ intervient par son carré. Cette propriété n'est pas surprenante si on se souvient que l'échelle des dates est symétrique par rapport au grand axe de l'ellipse et qu'un point de cette échelle (sauf les solstices) est utilisé deux fois dans l'année. Donc un même point va servir soit pour 2 mois, les 2 solstices ou les 2 équinoxes, soit pour 4 mois. Les marqueurs sont toujours situés entre le centre et les foyers de l'ellipse. Leur position sur le grand axe change relativement peu au cours de l'année, de l'ordre de quelques pourcents de la longueur du demi grand axe . La Figure 2a donne la position des marqueurs en fonction de la latitude jusqu'au cercle polaire. La Figure 2b donne cette position pour les latitudes françaises. Les points isolés à une ordonnée supérieure représentent les foyers de l'ellipse.

OM n'existe que si l'expression sous le radical est positive. C'est le cas pour les déclinaisons qui nous intéressent au moins jusqu'à une latitude de $66,5^\circ$. C'est normal puisqu' au delà de cette latitude, à certaines dates de l'année le soleil ne se couche ou ne se lève plus : il n'y a donc plus de marqueurs.....

La distance entre un marqueur et le point correspondant de l'échelle des dates peut également être calculée. Cette distance est l'hypoténuse du triangle EOM. D'où :

$$EM = \frac{\cos^2 \Phi}{\cos \delta}$$

A l'équateur, $\Phi = 0$, l'abscisse des marqueurs devient ± 1 : ils coïncident avec l'extrémité du segment qui constitue l'"ellipse" pour cette latitude. On vérifie que la distance EM devient naturellement $1 / \cos \delta$.

Remarque : assez paradoxalement il existe un marqueur pour les équinoxes. Pourtant à cette époque de l'année la direction des lever et coucher solaires coïncide avec le grand axe de l'ellipse, il n'y a donc plus matériellement d'intersection.

3- AUTRES RELATIONS ET PROPRIETES

A partir de la Figure plusieurs autres relations ou particularités peuvent être établies.

-a- Rappel :

EK = EG = $1 / \cos \delta$	EF' = EF = $\cos \Phi / \cos \delta$
EF'F = δ	EO = $\text{tg } \delta \cos \Phi$

-b- Soit les trois points E, M et K. Le rapport de KM à KE est :

$$\frac{KM}{KE} = \sin^2 \Phi$$

Il ne dépend que de la latitude. **Donc quand δ varie la division des trois points reste semblable à elle-même.** Cette relation constitue d'ailleurs une propriété générale de l'ellipse. Ce rapport vaut 0,5 pour la latitude 45° : le point M est alors toujours au milieu de EK.

-c- L'équation des droites EK et EG des lever/coucher est :

$$y = \pm \frac{x \sin \delta}{\sqrt{\cos(\Phi + \delta) \cos(\Phi - \delta)}} + \text{tg } \delta \cos \Phi$$

Le signe '+' est pour le lever, le signe '-' pour le coucher.

-d- Pour le cas des zones tropicales il est facile de montrer que l'équation de la tangente menée d'un point de l'échelle des dates extérieur à l'ellipse est :

$$y = \pm x \frac{\sqrt{\sin(\delta + \Phi) \sin(\delta - \Phi)}}{\cos \delta} + \cos \Phi \operatorname{tg} \delta$$

On en déduit que l'intersection de cette tangente avec le grand axe se produit à une abscisse :

$$x = \pm \frac{1}{\sin H(R)}$$

La pente de la tangente est donnée par :

$$p = \pm \sqrt{\frac{\cos^2 \Phi}{\cos^2 \delta} - 1}$$

-e- On établit facilement que :

$$TK = \frac{2\sqrt{(\cos(\Phi + \delta) \cos(\Phi - \delta))}}{\sin 2\delta}$$

d'où la relation :

$$OM = TK \sin \delta \cos \Phi$$

Ce résultat peut se retrouver à partir de la similitude des triangles EOM et EKT qui entraîne en particulier:

$$\frac{OM}{OE} = \frac{TK}{EK}$$

En remplaçant les termes par leurs expressions on retrouve la relation entre OM et TK.

-f- De même :

$$OT = \frac{\cos \Phi}{\operatorname{tg} \delta}$$

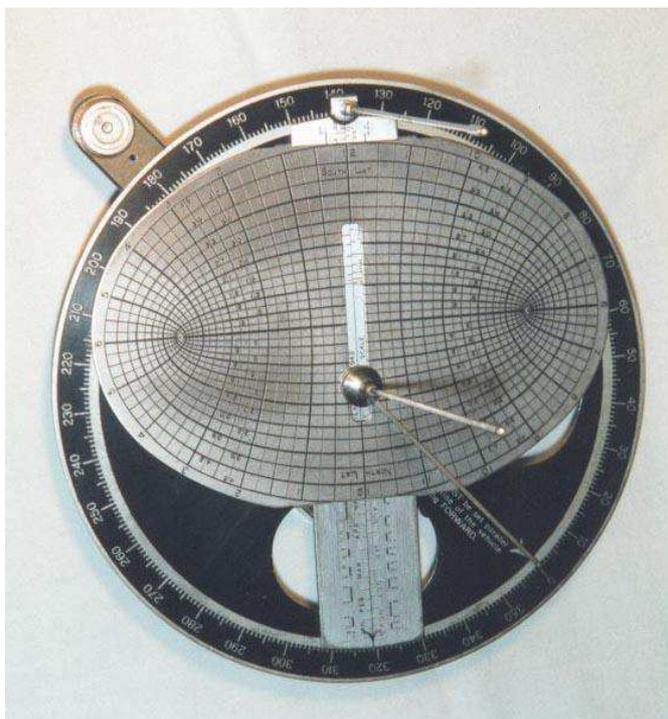
Lorsque δ tend vers zéro le point T est bien rejeté à l'infini.

-g- Une Annexe expose un procédé pratique permettant de mener une normale à une ellipse à partir d'un point du petit axe.

-h- Dans le cercle de Lambert, le triangle EKT est naturellement rectangle. Son angle T est le complément de l'azimut A; il soutend l'arc EK qui est lui-même soutendu par l'angle au centre S. on a donc

$$S = 180 - 2A \quad \text{etc, etc.....}$$

4- COMPAS SOLAIRES ET CERCLES DE LAMBERT.



Un compas solaire est composé d'un ensemble d'ellipses qui constituent autant de cadrans analemmatiques pour un ensemble de latitudes : ces cadrans partagent la même échelle des dates et les mêmes foyers. Il a été inventé et mis au point pour constituer un instrument de navigation dans le but essentiel de déterminer la direction du Nord. Il remplace avantageusement une boussole là où celle-ci serait perturbée par des masses métalliques ou lorsque la déclinaison magnétique est mal connue ou potentiellement importante. A condition bien sûr que le soleil brille !

Notre collègue F. Pineau a réalisé un site internet très détaillé et très complet sur le sujet que l'on pourra consulter à l'adresse donnée dans les Références.

-4.1- Théorie simplifiée

Soit une latitude Φ_0 . Les paramètres d'un cadran analemmatique pour cette latitude sont :

Compas solaire américain Abrams [Site de F. Pineau]

Demi grand axe :	L_0
Demi petit axe :	$L_0 \sin \Phi_0$
Demi distance focale :	$L_0 \cos \Phi_0$
Déplacement maximum du style :	$L_0 \operatorname{tg} \epsilon \cos \Phi_0$

Pour une autre latitude Φ_1 , les paramètres deviennent :

Demi grand axe :	L_1
Demi petit axe :	$L_1 \sin \Phi_1$
Demi distance focale :	$L_1 \cos \Phi_1$
Déplacement maximum du style :	$L_1 \operatorname{tg} \epsilon \cos \Phi_1$

On veut utiliser ces deux cadrans simultanément dans un même ensemble, par exemple gravés ou dessinés sur une même plaque. Les dimensions des ellipses sont différentes, de même que leurs échelles des dates. La solution la plus simple est d'utiliser la même échelle des dates, c'est-à-dire unifier le déplacement du style, quitte à adapter les autres paramètres. Cela implique que si, par exemple, l'échelle pour la latitude Φ_0 est choisie comme échelle commune:

$$L_0 \operatorname{tg} \epsilon \cos \Phi_0 = L_1 \operatorname{tg} \epsilon \cos \Phi_1$$

Ou : $L_1 = L_0 \cos \Phi_0 / \cos \Phi_1$
 Les paramètres du deuxième cadran deviennent alors:

Demi grand axe :	$L_0 \cos \Phi_0 / \cos \Phi_1$
Demi petit axe :	$L_0 \cos \Phi_0 \operatorname{tg} \Phi_1$
Demi distance focale :	$L_0 \cos \Phi_0$
Déplacement maximum du style :	$L_0 \operatorname{tg} \epsilon \cos \Phi_0$

On voit que le second cadran aura en plus même distance focale que le premier; mais les dimensions relatives de l'ellipse seront toujours celles pour la latitude Φ_1 .

Toutes ces dimensions ont le facteur $L_0 \cos \Phi_0$ en commun. Pour simplifier on peut prendre comme unité la valeur de ce facteur pour la latitude $\Phi_0 = 0^\circ$. D'où :

Demi grand axe :	$Lo / \cos \Phi$
Demi petit axe :	$Lo \operatorname{tg} \Phi$
Demie distance focale :	Lo
Déplacement maximum du style :	$Lo \operatorname{tg} \epsilon$

Le cadran correspondant à la latitude 0° se réduit à un segment de longueur $2Lo$ avec une échelle des dates de longueur $Lo \operatorname{tg} \epsilon$. Les extrémités du segment sont les "foyers" de cette ellipse aplatie.

L'équation de l'ellipse pour une latitude Φ est :

$$x^2 \cos^2 \Phi + \frac{y^2}{\operatorname{tg}^2 \Phi} = 1$$

Les coordonnées des points horaires sur l'ellipse de latitude Φ sont :

$$x = \frac{\sin H}{\cos \Phi} \qquad y = \operatorname{tg} \Phi \cos H$$

Si on élimine Φ entre ces deux expressions on obtient la relation :

$$\frac{x^2}{\sin^2 H} - \frac{y^2}{\cos^2 H} = 1$$

qui est l'équation d'une hyperbole : pour un angle H donné les points horaires des différentes ellipses se répartissent sur cette hyperbole.

Le compas solaire est ainsi constitué d'un plus ou moins grand nombre d'ellipses correspondant aux latitudes où il sera utilisé. Elles sont par exemple espacées de 3 en 3 degrés, utilisables pour les latitudes nord et sud ou seulement nord. Généralement en pratique, plutôt que de déplacer le style, celui-ci est fixe : c'est l'ensemble des ellipses qui est translaté pour régler le compas suivant le jour.

Son usage est simple. On suppose d'abord connue la zone géographique où l'on se trouve, caractérisée par une latitude et une longitude, même approximatives. La latitude va déterminer l'ellipse qui sera utilisée. La longitude va permettre de trouver l'heure solaire du moment, à partir de la connaissance de l'heure UTC, et de la valeur de l'Equation du Temps pour le jour. Il suffit alors d'orienter le compas jusqu'à ce que l'ombre du style indique l'heure solaire du moment sur l'ellipse de la latitude du lieu. Le petit axe des ellipses indiquera alors la direction du méridien local. Si le compas est destiné à régir la marche d'un véhicule, une échelle circulaire périphérique permet de repérer le cap à suivre, et donc d'orienter le compas de sorte que, au fur et à mesure que le véhicule se déplace, l'ombre du style continue d'indiquer l'heure solaire. Bien sûr des ajustements périodiques sont nécessaires à intervalles de temps réguliers.

Les compas solaires ont été utilisés dans des expéditions polaires et sont surtout connus pour l'usage qui en a été fait durant la Seconde Guerre Mondiale dans les déserts d'Afrique du Nord.

-4.2- Les Cercles de Lambert

Les Cercles de Lambert d'un cadran analemattique passent, comme on l'a vu, par 5 points remarquables : les foyers, un point de l'échelle des dates et les points correspondant de l'ellipse donnant les heures de lever et coucher solaire. Mais pour définir un cercle trois points suffisent, en l'occurrence ici les foyers et le point de l'échelle des dates.

Il en découle que pour un compas solaire, si les foyers et l'échelle des dates sont communs à toutes les ellipses, l'ensemble des Cercles de Lambert sera unique pour toutes les ellipses.

Le calcul des paramètres des cercles est immédiat. Dans le même repère que précédemment les coordonnées des trois points sont ici $(+1,0)$ et $(-1,0)$ pour les foyers et $(0, \operatorname{tg} \delta)$ pour le point de l'échelle des dates. On en déduit que l'ordonnée du centre et la valeur du rayon sont données par :

$$Y_c = -\frac{1}{\operatorname{tg} 2\delta}$$

$$R = \frac{1}{\sin 2\delta}$$

Le tableau suivant donne les valeurs numériques de ces paramètres pour des déclinaisons correspondant à des valeurs de longitude solaire variant de 10° en 10° entre solstice et équinoxe:

δ (°)	Yc	R	δ (°)	Yc	R
23,439	0,936	1,370	14,814	1,758	2,023
23,062	0,961	1,387	11,472	2,362	2,565
21,949	1,039	1,442	7,819	3,572	3,710
20,150	1,179	1,546	3,961	7,187	7,256
17,741	1,403	1,723	0,000	∞	∞

L'équation du cercle pour une déclinaison δ est :

$$x^2 + y^2 + \frac{2y}{\operatorname{tg} 2\delta} - 1 = 0$$

On vérifie que l'ordonnée du second point d'intersection avec l'axe des ordonnées est $-1/\operatorname{tg} \delta$.

Par conséquent, si on se rappelle que le petit axe d'une ellipse vaut ici $\operatorname{tg} \Phi$, on voit que le cercle de Lambert pour δ va tangenter d'une part l'ellipse tracé pour la latitude $\Phi = \delta$ au niveau du point δ sur l'échelle des dates; et d'autre part l'ellipse tracée pour $\Phi = (90 + \delta)$. En effet l'ellipse tracée pour Φ coupe l'axe des ordonnées à la valeur $\operatorname{tg} \Phi$ cad en $1 / \operatorname{tg} (90 - \Phi)$, ou encore en $-1 / \operatorname{tg}(-90 - \Phi)$ qui correspond à l'intersection de l'axe des ordonnées par le cercle pour $\delta = -(90 - \Phi)$.

Exemple : le cercle pour $\delta = -\epsilon$ tangente l'ellipse pour $\Phi = -23,44$ et l'ellipse pour $\Phi = 90 + (-\epsilon) = 66,56$.

Bien sûr n'oublions pas les deux autres points qui caractérisent le cercle : les intersections d'un cercle donné avec les ellipses indiqueront les heures des lever/coucher pour les latitudes indiquées par ces ellipses. A partir des équations d'une ellipse et d'un cercle il n'est pas difficile de déterminer les coordonnées des points d'intersections des deux courbes. Comme précédemment l'élimination de x^2 entre les deux équations conduit à deux valeurs de y bien réelles:

$$y_1 = \frac{\operatorname{tg}^2 \Phi}{\operatorname{tg} \delta} \qquad y_2 = -\operatorname{tg}^2 \Phi \operatorname{tg} \delta$$

Entre les tropiques une de ces solutions existe mais ne correspond pas à un lever/coucher puisqu'elle se produit à une heure comprise entre midi et 6 heures ou 18 heures, souvent proche de midi. Dans la gamme de latitudes $[+90^\circ, -90^\circ]$ et de déclinaisons $[+\epsilon, -\epsilon]$ on voit facilement que le signe de y_1 a toujours le même signe que la déclinaison, tandis que y_2 a toujours le signe opposé. L'intersection d'ordonnée y_1 a lieu dans la même moitié de l'ellipse que la partie de l'échelle des dates qui contient le point pour la déclinaison δ . Or on a vu précédemment que pour les Cercles de Lambert dans le cas général l'intersection correspondant aux lever/coucher pour une déclinaison solaire se situe dans la moitié de l'ellipse opposée à la partie de l'échelle des dates qui contient la déclinaison. Donc seul y_2 est à retenir ici pour les lever/coucher.

En reportant son expression dans l'équation de l'ellipse par exemple, on obtient les abscisses des points d'intersection :

- a - Cas des lever/coucher :

$$y_2 = -\operatorname{tg}^2 \Phi \operatorname{tg} \delta$$

$$x = \pm \frac{\sin H(L/C)}{\cos \Phi}$$

qui s'écrit aussi :

$$x = \pm \frac{1}{\cos^2 \Phi \cos \delta} \sqrt{\cos(\Phi + \delta) \cos(\Phi - \delta)}$$

Pour les gammes de valeurs possibles de la latitude et de la déclinaison les cosinus sous le radical sont toujours positifs donc l'abscisse existe toujours.

- b - Autre point d'intersection :

$$y_1 = \frac{\operatorname{tg}^2 \Phi}{\operatorname{tg} \delta}$$

$$x = \pm \frac{1}{\cos^2 \Phi \sin \delta} \sqrt{\sin(\delta + \Phi) \sin(\delta - \Phi)}$$

Ici, à nouveau, x n'existe que si la quantité sous le radical est positive. D'où les conditions :

$$\delta + \Phi > 0 \quad \text{ET} \quad \delta - \Phi > 0$$

ou

$$\delta + \Phi < 0 \quad \text{ET} \quad \delta - \Phi < 0$$

Ces deux conditions se réduisent à :

$$\begin{aligned} \delta > 0 \quad \text{et} \quad \delta > |\Phi| \\ \delta < 0 \quad \text{et} \quad |\delta| > |\Phi| \end{aligned}$$

Dans les deux cas la déclinaison est supérieure à la latitude, ce qui ne peut se produire qu'entre les tropiques. La conclusion est la même que dans le cas général exposé plus haut. Ces points d'intersection correspondent aux instants de digression maximale de l'azimut du soleil le matin et l'après-midi. En effet si, à nouveau on fait correspondre un angle horaire à l'expression de l'ordonnée y_1 on retrouve bien l'expression $\cos H = \operatorname{tg} \Phi / \operatorname{tg} \delta$ qui donne l'angle H à l'instant des maxima d'azimut solaire.

La Figure 5 présente un exemple de compas solaire pour les latitudes comprises entre 0 et 51°, avec un pas de 6° entre chaque courbe. Les six cercles de Lambert ont été tracés; leurs intersections avec l'ellipse pour les heures de jour sont marquées par des points bleus. On voit que plus la latitude diminue et plus les instants des maxima d'azimut solaire se rapprochent de 6 h du matin ou du soir. Les moments des lever/coucher sont également marqués. La Figure 6 est un agrandissement de la partie centrale de la Figure 5 par dilatation de l'échelle du petit axe (les figures sont déformées). Les ellipses sont tracées de 3° en 3°.

La Figure 5 réunit ainsi un ensemble d'ellipses (les différents cadrans), d'hyperboles (les lieux des ponts horaires) et de cercles (les cercles de Lambert).

Références

- J.-P. Cornec, B. Rouxel : Cercles de Lambert et Marqueurs Saisonniers. Cadran-Info N°9
 D. Savoie : La Gnomonique. Annexes p. 401 : La rétrogradation de l'ombre . Les Belles Lettres 2001
 F. Pineau : "Compas Solaires et Navigation Terrestre" que l'on peut consulter à l'adresse :
<http://perso.wanadoo.fr/cadrans-solaires/navigation/navigation.html>
 J.-P. Parisot : La rétrogradation de l'ombre dans les cadrans analemmatiques. Journal for the History of Astronomy, Vol. 16, Part 1, pp. 43-48.

Notations

Φ :	Latitude	ε :	Inclinaison de l'écliptique
δ :	Déclinaison du soleil	H :	Angle horaire du soleil

Annexe

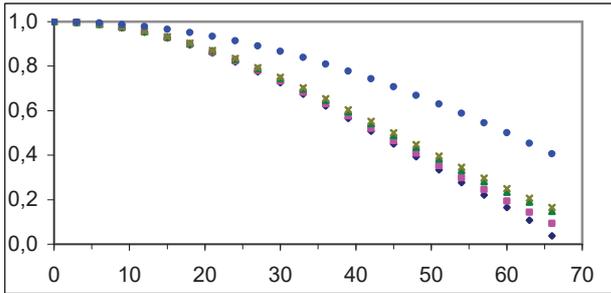
Une méthode pour mener une normale à l'ellipse à partir d'un point du petit axe (B. Rouxel, communication privée)

On veut mener d'un point E du petit axe d'une ellipse une normale EK à celle-ci (Figure 3). Le point E est bien sûr intérieur à l'ellipse. Soit ABCD le rectangle circonscrit à cette ellipse.

Si on abaisse de E la perpendiculaire à la diagonale AC, celle-ci coupe l'autre diagonale BD en H. La parallèle au grand axe menée par H coupe l'ellipse au point cherché K. Il lui correspond son symétrique G par rapport au petit axe. Ce résultat peut être vérifié analytiquement

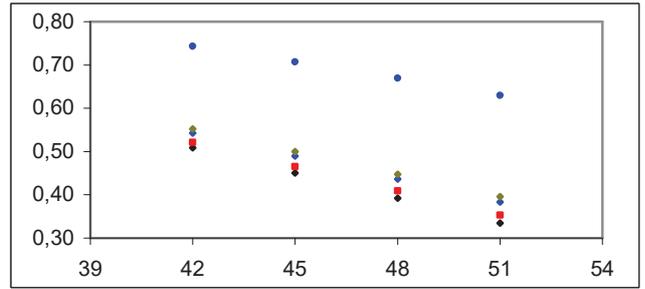
On peut même "mécaniser" le procédé dans la mesure où les segments EH et HK ont une direction fixe quel que soit le cas de Figure. Ces segments pourraient être remplacés par deux tringles T1 et T2 solidaires en un point H, coulissant sur une glissière placée sur la diagonale AC. Une fois T1 positionnée sur le point E, l'intersection de T2 avec l'ellipse donne automatiquement les point K et G cherchés.

Figures



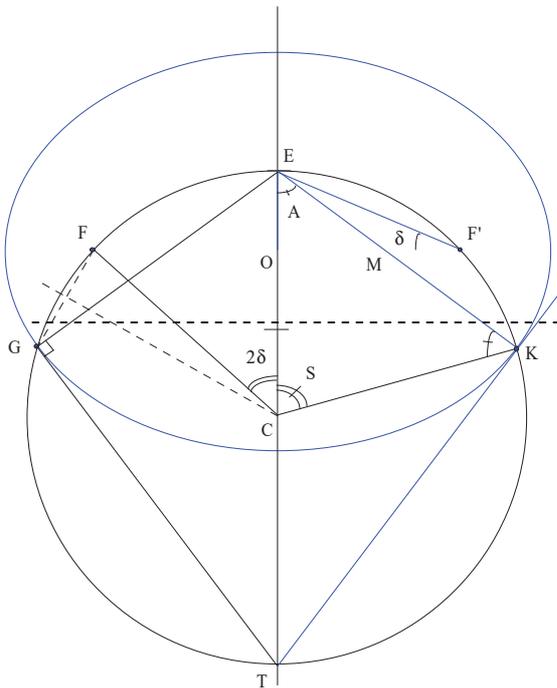
▲ **Figure 2a**

Positions des marqueurs en fonction de la latitude, par rapport aux foyers (courbe supérieure). L'axe des ordonnées représente le demi grand axe de l'ellipse.

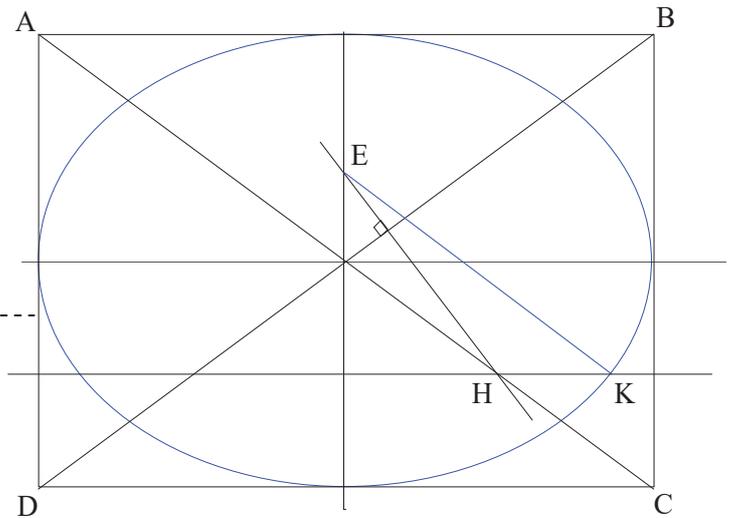


▲ **Figure 2b**

Même Figure pour les latitudes de 42° à 51°



▲ **Figure 1**



▲ **Figure 3**

Tracé d'une normale EK à l'ellipse

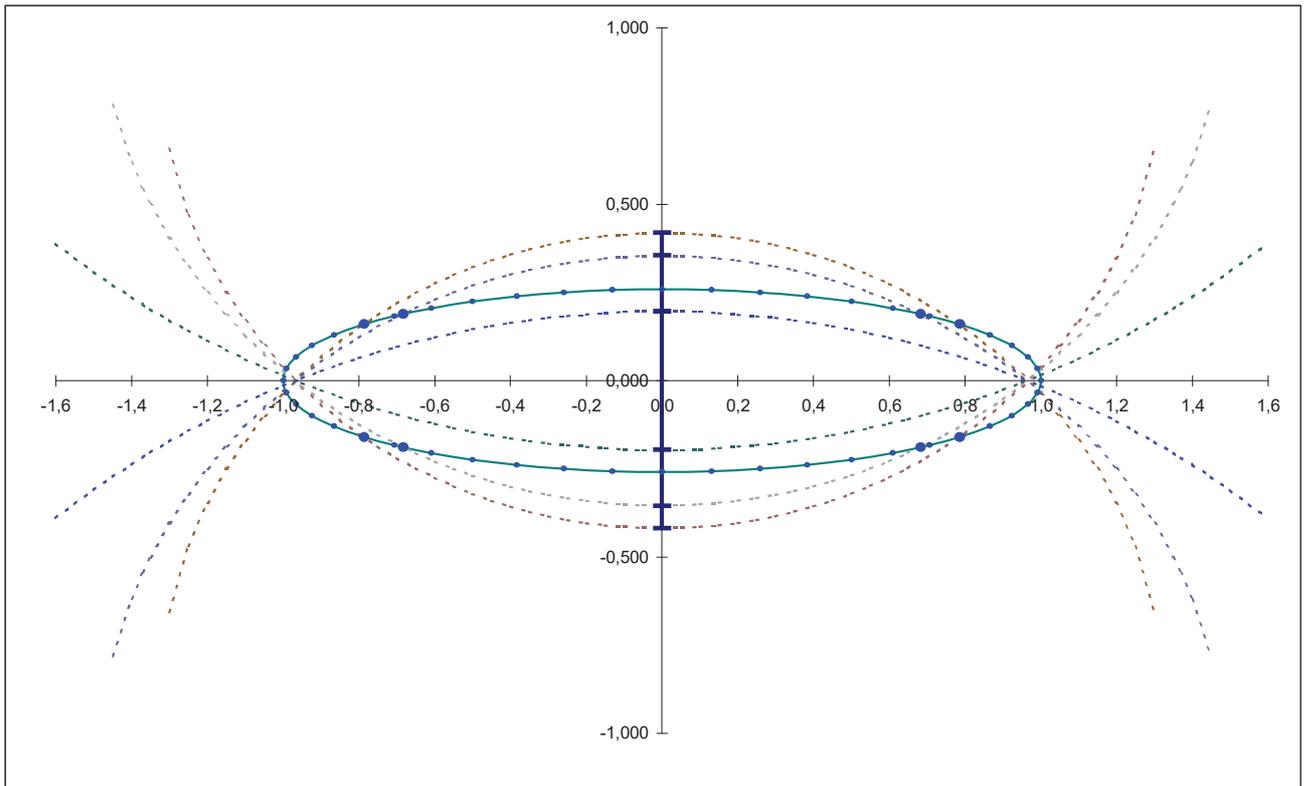


Figure 4
Cadran analemmatique pour 15° de latitude nord.
Cercles de Lambert et instants de digression maximum du Soleil en azimut

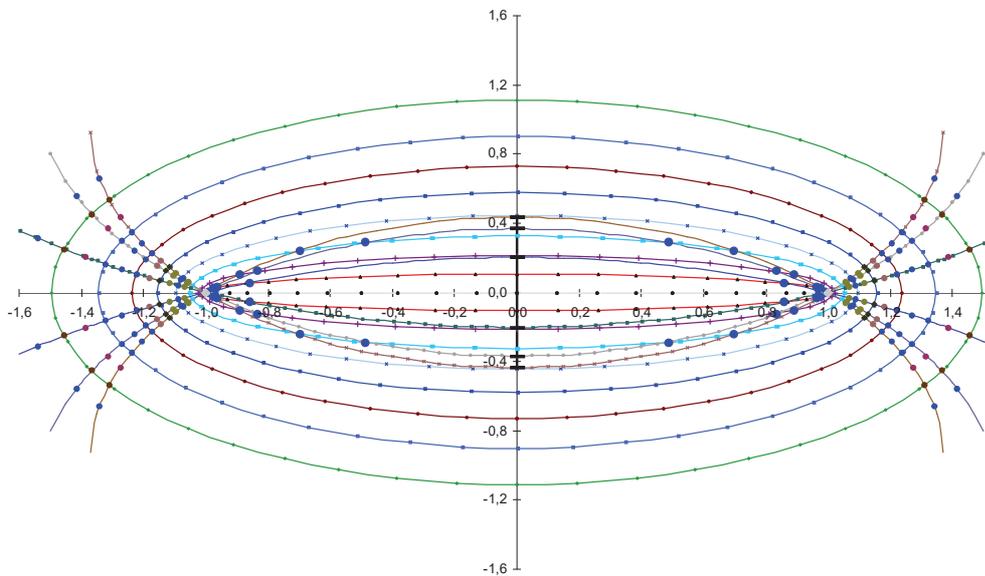


Figure 5
Compas solaire pour des latitudes comprises entre 0 et 51°, de 3 en 3°
Cercles de Lambert et instants de digression maximum du Soleil en azimut

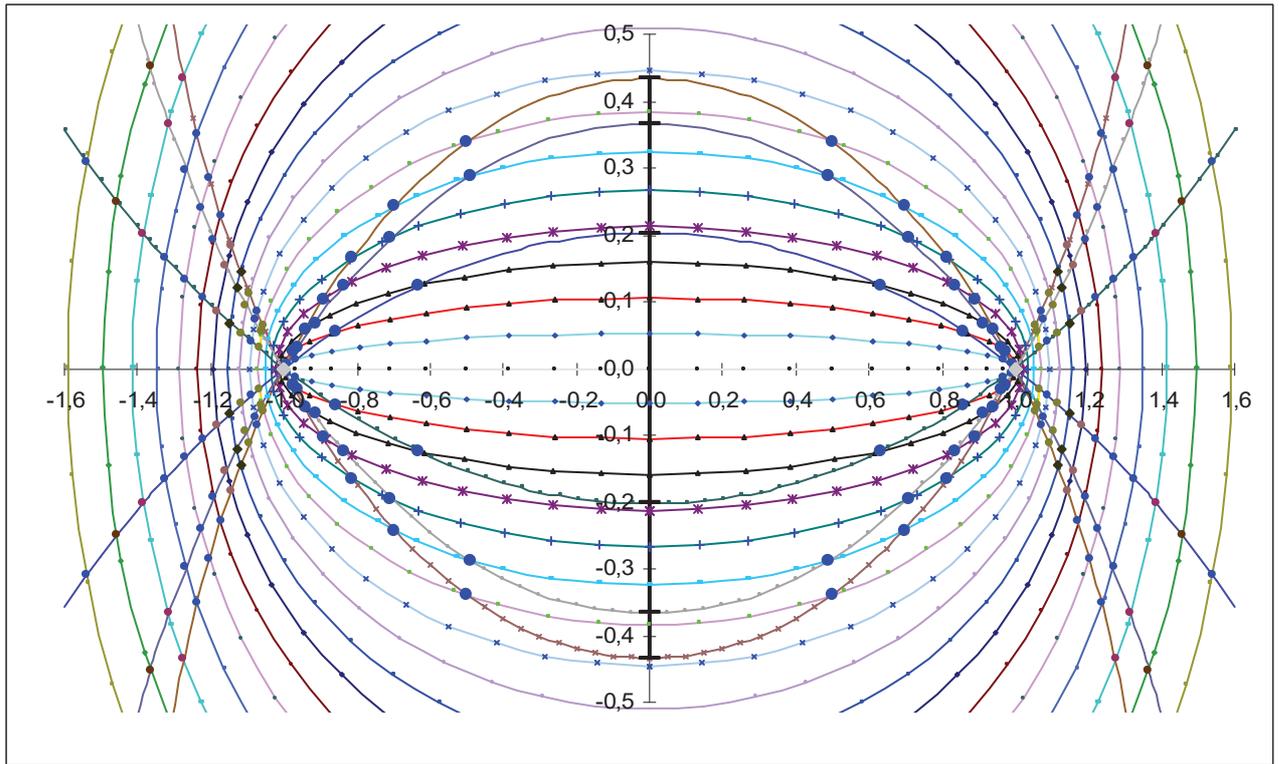


Figure 6
Partie centrale de la Figure 5

Cadran solaire à vendre

Un magasin propose à la vente une "horloge solaire" et "un conseil" pour l'optimiser : <<Courbez "l'aiguille" vers le haut>> sic!!!!



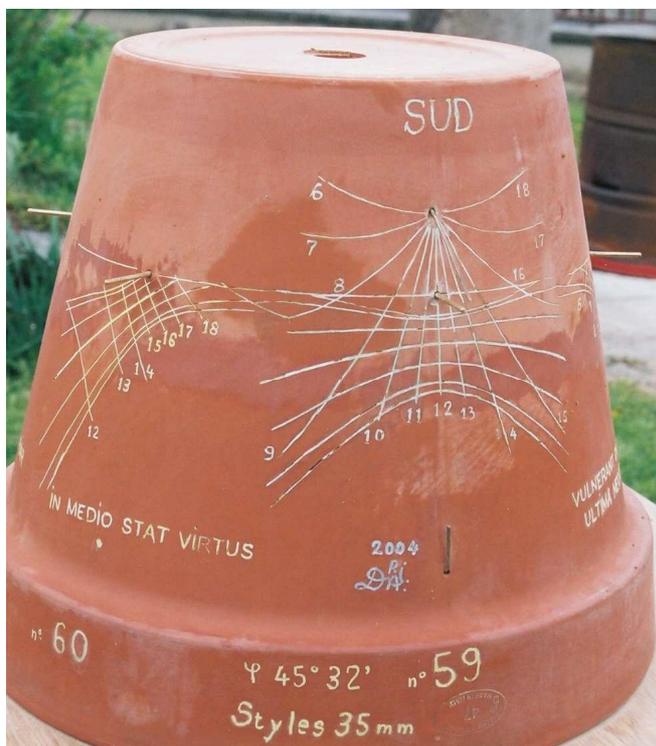
A Horloge solaire. A notre époque moderne, où tout va trop vite, on aime retrouver le charme nostalgique des temps passés. Réalisation très résistante en fer forgé, avec chiffres dorés à la main. Pour un affichage optimal, courbez légèrement l'aiguille vers le haut ! Enduit anti-intempéries. Livré avec matériel de fixation. Dim. H 48 x l. 72 cm Réf. 952130-44 € 68,-

B Fauteuil pliant "Juist". Un coloris discret pour ce fauteuil pliant à

en sy
confé
solid
reha
en ti
son !
au n
à la
Dim
Réf.
C
que
stru
d'u
etal

Cadran "pot de fleurs" (P.J. Dallet)

- **Emplacement** : Jardin botanique privé; Latitude : 45° 32'.N. Longitude 2°19' E; Département Corrèze; Localité Ussel.
- **Matériaux de fabrication** : un pot à fleur en terre cuite, renversé.
- **Dimensions** : Rayon au niveau des styles 170 mm, Rayon diamètre à 160 mm plus bas 205mm, demi ouverture du cône à son sommet 12°38',
 - Six styles droits 35 mm.
 - NORD Style polaire 40.6 mm, Sous-styliste : 29.3 mm
 - SUD Style polaire 64.8 mm, Sous-styliste : 47.4 mm
- **Date de réalisation** : 24 avril 2004./ 12 mai 2004
- **Type** : cône, solide à 6 styles ponctuels supportés par des axes longs de 410 mm, dépassant le pot de 35 mm. Rayon du cône au niveau des styles : 170 mm. Cadran n° 59 à 64
- **Position** : un style tout les 60° (corde = rayon)...
- **Styles (dispositif procurant les renseignements)** : 6 styles ponctuels externes supportés



Cadran n° 59; Plein Sud, D = 0°

Heure vraie donnée par un style horizontal et par un style polaire, 6h à 18h.

par des axes horizontaux longs de 410 mm. Les parties dépassant le pot de 35 mm sont dites « styles horizontaux » 2 styles polaires doublant les styles horizontaux, 1 au NORD et 1 au SUD. Les styles horizontaux ne sont pas perpendiculaires (droits) à la surface dont ils émergent.

- **Renseignements procurés par le cadran** : Temps vrai local et arc du calendrier zodiacal.
- **Particularités** : Tracés les plus difficiles à obtenir par calculs.
- **Mode de tracé** : par 6 poncifs (1 par cadran) dessinés à l'ordinateur, collés sur le pot après avoir percés les trous des styles. Gravure des lignes au disque diamant de mini-perceuse. Rainures comblées par du ciment blanc colorées en vert (oxyde de chrome), en jaune (vanadate de bismuth), en bleu (bleue cobalt royal) et en noir (noir d'ivoire).

Inscriptions SUD, chiffres des heures, numéros des cadrans 59 à 64, Latitude $\phi = 45^{\circ}32'$, Quatre devises :

IN MEDIO STAT VIRTUS : La vertu se tient au milieu

NON OMNIS MORIAR : Je ne mourrai pas totalement (Horace)

VULNERANT OMNES ULTIMA NECAT : Elles blessent toutes. La dernière tue

VERITAS TEMPORIS FILIA : La vérité est fille du temps

Date et signature 2004, DA. P. J. entrelacées.

Les CADRANS du MONDE ISLAMIQUE (Pj Dallet)

Préambule

La présente étude des cadrans islamiques n'a pour but que de permettre les tracés par SOLARIUM ou d'autres logiciels des lignes de ces cadrans. Ces cadrans permettent de comprendre comment il est parfaitement possible de repérer les instants de la journée autrement que par l'angle horaire du Soleil. Ces graphismes sont finalement assez simples, et ne sont pas difficiles à tracer ni à comprendre.

Les chiffres des heures.

Ce sont les mêmes que chez nous, mais écrits différemment, il faut apprendre à les lire



(Caractères Akba mt)

Généralités

Pour comprendre les calendriers islamiques et le système de détermination des heures de prières il est indispensable de comprendre leurs contextes d'origine.

Un homme, nomade des déserts, allant d'oasis en oasis, peut à l'aide de quelques règles simples déterminer le 1^{er} jour de chaque mois et les instants des débuts des périodes de prières. Bien évidemment ces hommes étaient complètement démunis de calendrier écrit, d'horloge et de moyens de communication. Nous pouvons penser qu'ils possédaient des astrolabes, même rudimentaires.

Le 1^{er} jour du mois musulman commence dès qu'un croissant de la Nouvelle Lune a été vu juste après le coucher du Soleil. Pour que cela soit possible il faut qu'au coucher du Soleil l'âge de la Lune soit de 0.5 à 3 jours, que la Lune soit au-dessus de l'horizon. Remarquons qu'en zone polaire il est possible que le Soleil soit toujours au-dessus de l'horizon et la Lune en dessous à cette période. En plus il faut que le ciel soit clair. Mais dans le contexte d'origine, cette règle est toujours applicable.

Actuellement il semble qu'une mutation de l'islam est en cours pour déterminer des règles de fixation des temps de prières et du calendrier. Cette adaptation est comparable à celles réalisées dans les autres religions.

A notre époque.

Les moyens de communication font que les observations ne sont plus individuelles. Des calendriers imprimés sont utilisés. Ils sont locaux. Il n'est pas possible de calculer un calendrier islamique de concordance sans utiliser des règles locales. Pour cette raison nous avertissons les utilisateurs de Solarium que les dates islamiques obtenues ne sont pas garanties concordantes avec les calendriers édités par les mosquées.

Pour les débuts des temps de prières, en raison de la latitude il se peut que nous soyons en zone de jours continus en été, nuit continues en hiver. En France, à Paris, en été, le Soleil ne descend jamais en dessous de -18° , heures de prières de nuit.

Là il est possible à l'aide de Solarium de retrouver les règles utilisées, mais les résultats ne peuvent pas être garantis concordants avec les horaires édités par les mosquées.

Les heures vraies des cadrans islamiques

Les heures vraies : elles sont divisées en 15 degrés, on compte deux fois douze heures, chiffrées de 1 à 12, de minuit à midi, et de midi à minuit.

Les heures italiques : Comptées en deux fois douze heures, chiffrées de 1 à 12, à partir du coucher, chiffré 12, dans le sens de l'écoulement du temps. Elles sont parfois confondues par les Européens avec le temps restant avant la prière du MAGREB (couchant).

Les heures babyloniennes : Comptées en deux fois douze heures à partir du lever du Soleil dans le sens de l'écoulement du temps.

Les heures temporaires romaines. Douze heures à partir du lever. Comptées dans le sens de l'écoulement du temps, entre le lever et le coucher du Soleil. La durée de l'heure est le douzième de la période lever / coucher.

Les temps de prière

Nous en compterons six. Il semble qu'il existe de nombreuses variantes de noms. De nombreux détails de règles de fixation du calcul des heures de prières varient avec les mosquées.

1. Le FAJR : Dès que la nuit cesse d'être complètement noire, lorsque le Soleil est à -18° sous l'horizon, en Afrique du Nord et quelques autres pays. Seule les lignes de jour qui la précèdent, de jour, sont utiles sur les cadrans, sauf pour les astrolabes. Les lignes des cadrans se tracent avec un peu d'avance, -19° , pour que la prière puisse être dite à l'heure.
2. Le SOBAH ou SUB, au lever du Soleil. Les lignes de cette prière n'existent pas sur les cadrans ou sont confondues avec celles des heures babyloniennes.
3. Le DOHR, ou ZOHR, ou ZUHR (prononcé SZOHRR.). La première consonne est le Th des Anglais Par le fait que cette consonne n'existe pas en français nous avons plusieurs noms de cette prière. La ligne du ZOHR est parfois complétée de lignes donnant le temps restant avant le début de la prière, en degrés un par un ou cinq par cinq, parfois par heure. La définition du ZOHR, utilisée pour déterminer son début lorsque l'on ne dispose de rien d'autre est la suivante : Le ZOHR débute lorsque la longueur de l'ombre d'un homme a augmenté depuis sa longueur à midi, de $1/16$ de l'homme (un doigt) ou $1/8$ de l'homme (un pied). A notre époque c'est parfois simplement 10 minutes après midi. La fraction d'allongement à utiliser actuellement pour retrouver des heures publiées à Tunis est de $1 / 512^\circ$ environ. La formule donnant la hauteur du Soleil à cet instant est par exemple :
$$\tan (h) = \tan(|\text{Phi}| - \text{De} * \text{sign}(\text{phi})) + 1/16$$
4. L'ASR :Milieu de l'après midi . ASR ou ASHR ou ATHR (th anglais, prononcé ASZHRR). La ligne de l'Asr est parfois complétée de lignes donnant le temps restant avant le début de la prière, en degrés un par un, cinq par cinq, parfois par heure. Ces lignes sont chiffrées en degrés (temps), pour exprimer le temps restant avant le temps de prière. La définition de l'Asr, utilisée pour déterminer son début lorsque l'on ne dispose de rien d'autre est la suivante : L'Asr débute lorsque la longueur de l'ombre d'un homme est égale à la longueur de son ombre à midi augmentée de la longueur de l'homme. La formule donnant la hauteur du Soleil à cet instant est:

$$\tan(h) = \tan(|\text{Phi}| - \text{De} * \text{sign}(\text{phi})) + 1$$

La longueur ajoutée peut être un multiple de la longueur de l'unité 2 par exemple. C'est le 2° asr. La formule est alors la suivante :

$$\tan(h) = \tan(|\text{Phi}| - \text{De} * \text{sign}(\text{phi})) + 2 .$$

Ce serait l'indication de la fin de la période durant laquelle il est préférable de dire la prière.

5. Le MAGREB le couchant. Période débutant juste après le coucher complet du Soleil. La ligne du MAGREB est parfois précédée de lignes donnant le temps restant avant le début de la prière, en degrés, parfois par heure.
6. L'ICHA, ou Isha, Icha ou Aïcha, fin du crépuscule. La période débute dès que la nuit est complètement noire lorsque le Soleil est à -18° , sous l'horizon. Les lignes des cadrans se tracent avec un peu d'avance, -17° , pour que la prière puisse être dite à l'heure.
7. Seules les lignes de jour qui la précèdent, sont utiles sur les cadrans, sauf pour les astrolabes. Elles sont chiffrées en degrés ou en heures.

En Europe, les hauteurs négatives du Soleil ne peuvent pas toujours être utilisées pour déterminer les temps de prières. Dans ces cas les heures des prières sont fixées par les responsables des mosquées. N'oublions pas qu'à partir de 50° de latitude nous avons des nuits, en été, sans fin de crépuscule ni début d'aube.

Les coordonnées de navigation permettant les traversées de déserts

Les lignes d'almicantarat. (de l'arabe al muquantarat, astrolabe) : cercles de hauteur.

Les lignes d'azimut.(de l'arabe al samt : le droit chemin)

La direction de la Qibla. Direction de la Mecque ($39^\circ 48'E, 21^\circ 35'N$).

Formes courantes des cadrans.

Plans, cylindres, cônes, sphères.

Types de projections courants :

Style polaire, styles ponctuels, stéréographique.

Calculs de temps de prières.

Nous devons d'abord demander à un musulman pratiquant à quelle heure localement se disent les prières du FAJR (le matin) et de l'ICHA (le soir). Au delà des latitudes de 41° elles ne se disent pas à la hauteur -18° . Après plusieurs essais à partir de plusieurs calendriers nous avons trouvé -18.5° pour le FAJR et -17.5° pour l'ICHA augmentée de $\frac{1}{2}$ degré par degré de latitude à partir de 41° , parfois même à partir de 36° .

Nous allons page 9 de SOLARIUM, « coordonnées des astres brillants ». Nous saisissons la date, l'heure de la prière, par un click sur planètes nous calculons la hauteur du Soleil à cet instant.

Nous revenons à la page 12 et là nous pourrons répondre aux questions nous demandant les normes locales.

En-dessous de 41° de latitude ces prières se disent généralement lorsque le Soleil est à 18° sous l'horizon. Mais, attention, pour que les prières puissent se dire à l'heure leurs

temps de débuts sont annoncés un peu avant. Par défaut SOLARIUM propose – 17.5° le soir, et – 18.5° le matin.

Comparaison des temps de prières du monde islamique et du monde chrétien

Heures	Islam	Christianisme
Début de l'aube	Fajr	Les Matines
Lever du Soleil	Sobah	Les Laudes, la Prime
Milieu de la matinée		La Tierce
Midi	Dohr	La Sexte
Milieu de l'après-midi	Asr	Les Nones
Coucher du Soleil	Magreb	Les Vêpres
Fin du crépuscule	Icha	Les Complies

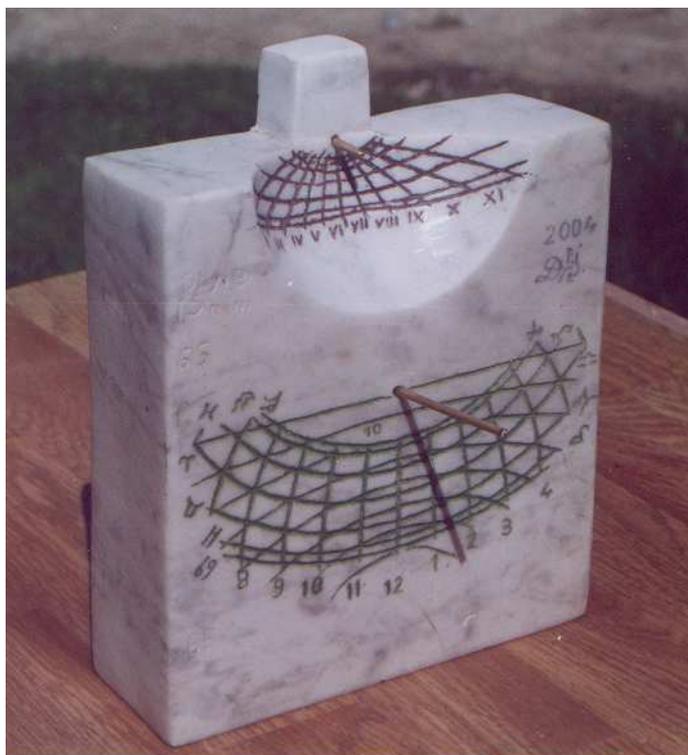
©Dallet 25/07/2004

Multicadran réalisé par PJ Dallet

Multicadran n° 66 et 67 à styles droits de la collection de M. PJ Dallet:

Calotte sphérique scaphé romain (hémicyclium)

Plan stéréographique vertical (ough tred)

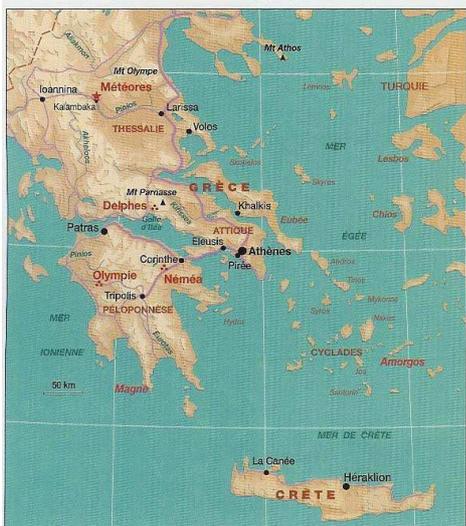


Les instruments du temps à Athènes (A. Gotteland)

"C'est par le temps que tout est engendré et détruit
Le Temps est cause de destruction plutôt que de génération"

Aristote, Physique, 222 b, 16-26

VOYAGE EN JUILLET 2003



Après avoir rassemblé la documentation concernant les instruments solaires de la Grèce antique, je me suis rendue à Athènes, réputée pour la mesure du temps et où sont conservés quelques instruments solaires.

Les cadrans solaires de la Tour des Vents et du "National Garden" étaient faciles à trouver.

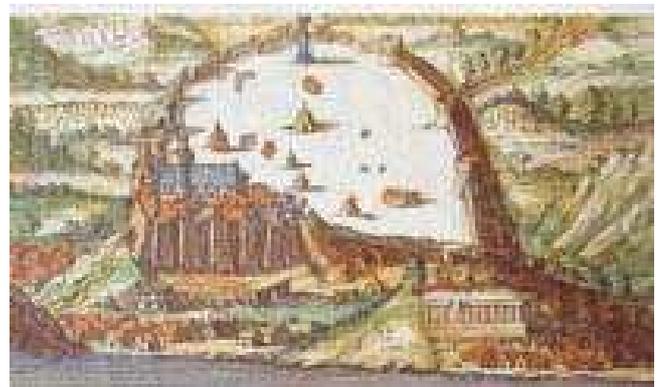
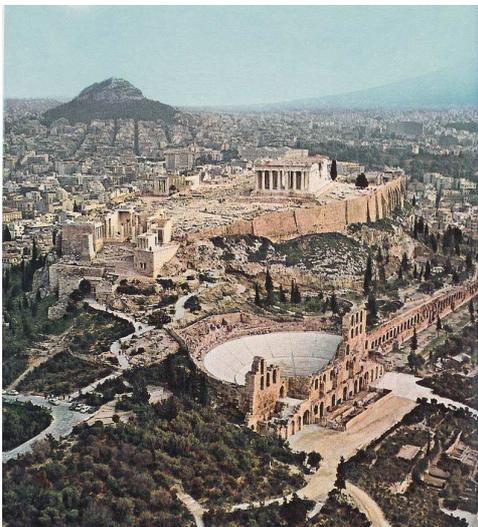
Par contre, les gnomons, cadrans solaires et scaphés, cités par Sharon L. Gibbs, dans *Greek and Roman Sundials*, en 1976, les situait sur des sites, difficiles à trouver et dans les musées, souvent fermés.

La Grèce se préparait aux Jeux Olympiques de 2004 et restaurait ses monuments, en particulier le Parthénon, ses musées, et même l'Office du Tourisme.

LA GRECE

Athènes

Dans l'Antiquité, la ville d'Athènes était un centre riche et puissant. Elle se constituait autour de deux pôles, l'Acropole, appelée primitivement "cité", à la fois position défensive et sanctuaire et la ville basse autour de l'Agora, qui accueillait les bâtiments civils, tribunal et prytanée.



L'Acropole

En passant par les Propylées, on peut atteindre l'Acropole, puis admirer le Parthénon, dont la construction a débuté dans les années 440 av. J.C., le temple d'Athéna Parthenos, la "déesse vierge", bâti en marbre pentélique blanc. L'ensemble était en restauration au moment de mon voyage.

L'Agora

L'Agora se situe en partie basse de la ville. C'est une place publique, un lieu de rencontres qui a un aspect économique, politique et religieux.

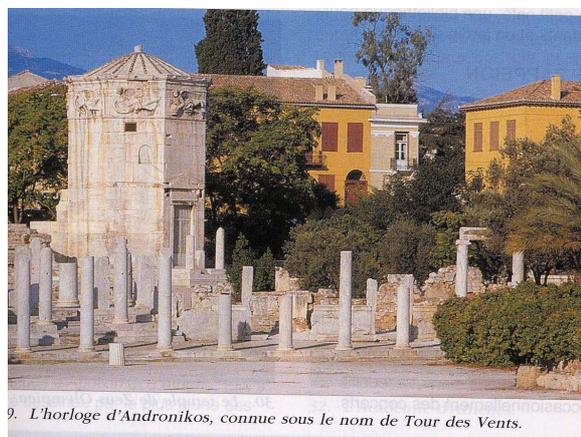
Le marché quotidien était composé de paysans et de commerçants possédant leurs magasins. C'est là que l'on trouve le Bouleutérion, avec ses bureaux et ses archives, un temple d'Arès, un autre d'Apollon et le Metrôn, ainsi que divers autels, dont celui des douze dieux. Elle est également traversée par la Voie Sacrée qui relie l'Acropole à Eleusis. L'Assemblée du peuple "Ecclesia", constituée de tous les citoyens, se réunit d'abord à l'Agora, puis, vers 500, sur la Pnyx.



Le Forum romain

Son nom est connu aussi sous le nom d'Agora romaine. À une centaine de mètres, à l'Est de l'Agora, cette extension de l'Agora grecque fut construite par Jules César et Auguste, respectivement au pouvoir de 59 à 44 et de 44 à 14 av J.C.. Le licteur y annonçait les quarts de jour;

C'est près de ce Forum que se trouvait la célèbre Tour des Vents, qui sera décrite en dernier, étant donné qu'elle comprend tous les instruments solaires grecs.



9. L'horloge d'Andronikos, connue sous le nom de Tour des Vents.

La Pnyx

La Pnyx, "lieu où on est serré", se trouve au Sud de l'Observatoire et à l'entrée de l'Acropole. Elle comprend une tribune aux harangues et un autel dédié à Zeus, signe du lien entre laïcité et religion. Elle a la forme d'un grand hémicycle. Sur le mur du fond, des niches votives creusées dans la roche attestent la présence d'un ancien sanctuaire dédié à Zeus Hypsostos, le "Très haut". Au milieu de ce mur, une estrade à trois degrés signale la tribune qui, du V^e au IV^e siècle av. J.C., accueillit les plus grands orateurs dont Aristote, Thémistocle, Périclès, et Démosthène. Dominant cette dernière, sur des gradins taillés dans le rocher, se tenait le bureau des Assemblées.



Elle était capable de contenir, sur une vaste esplanade, 2000 personnes. Tous les citoyens, en foule compacte, 18 000 pendant l'Âge d'Or, tenaient leurs assises en Assemblée Populaire, pour approuver ou rejeter les lois.

Du "rostrum", taillé à même le roc, les orateurs, mais aussi un grand nombre de démagogues haranguaient les Athéniens dans la première tentative faite dans le sens de la démocratie.

L'observatoire astronomique

Du sanctuaire de Zeus, une route gravit la colline et conduit au jardin du vieil observatoire astronomique, "l'Astériskopion" Le promontoire, sur lequel se dresse le nouveau télescope, offre un beau point de vue sur l'Acropole.

Son jardin occupe l'emplacement du sanctuaire des Nymphes, construit entre 1843 et

1846 par l'architecte danois, Théophile vo Hansen, grâce au mécène Simon Sinas.



LE CIEL

Dans l'Odyssée, plusieurs allusions sont faites sur le ciel:

"Dans le jour, il se guidait d'après le Soleil et dans la nuit d'après les étoiles, Calypso lui ayant dit : "Laissez toujours la Grande Ourse à votre gauche"

"Le navire atteignit l'île d'Ithaque à l'instant où l'étoile du matin parût au ciel"

"Alors le faux mendiant dit "Écoutez-moi. Je vous annonce qu'Ulysse va revenir : oui; il sera ici avant la prochaine nouvelle Lune"

L'astronomie

On admet que les Grecs ont reçu leurs premières connaissances astronomiques des Babyloniens et des Chaldéens

Vers la fin du IV^e siècle, av. J.C., les connaissances scientifiques des Grecs prirent tout à coup une immense extension, grâce aux travaux de deux écoles différentes : l'école astronomique dont Bérosee, Eudoxe de Cnide et Aristarque de Samos sont les plus illustres représentants et grâce aussi à l'école mathématique dont Archimède, Apollonius de Pergé et Dionysodore de Mélos, sont les premiers chefs.

La première application pratique des connaissances nouvelles fut la recherche d'instruments propres à indiquer les heures par l'observation de l'ombre du Soleil, en un mot, de véritables cadrans solaires.

Les astronomes

Le berceau de la science moderne se trouve dans les Îles de la Mer Égée orientale et en Asie mineure. C'est là que vécurent, entre 600 et 400 av J.C., de remarquables philosophes ioniens qui ont aidé à faire progresser l'astronomie.

Ce sont Thalès de Milet (625-545 av. J.C.), Anaximandre (610-547 av. J.C.), Euctemon (V^e siècle av. J.C.). Pythagore de Samos, (VI^e siècle av. J.C.), Heraclide (VI^e siècle av. J.C.), Anaxagore (VI^e siècle av. J.C.) et Phéréclide de Syros (VI^e siècle av. J.C.).

Puis viennent, à l'époque hellénistique, Aristote de Samos (320-250 av. J.C.), Hipparque (190-120 av. J.C.), Anaximandre (610-547 av. J.C.), Anaximène (610-546 av. J.C.), Eudoxe (409-356 av J.C.), Meton (431 av. J.C.), Hérodote (484-420 av. J.C.), Ératosthène (284-192 av J.C.), Ptolémée (100-165 ap. J.C.).

Les calendriers

Dans l'ancienne Grèce, il n'y avait pas de calendrier commun. Chaque ville ou région avait son propre calendrier, qui, en général, ne correspondait pas avec les autres. En conséquence les fêtes des anciens Grecs ne correspondaient pas entre elles.

Dans le calendrier luni-solaire d'Athènes, l'année commençait le jour de la première Nouvelle Lune, après le solstice d'été. Il est la compilation, dans chaque ville, des rites des principales familles.

Dans le calendrier traditionnel, le Roi et l'Archonte se partageaient la maîtrise du calendrier. Le culte exigeait régularité et correction, comme le pouvoir. L'année était divisée en 12 mois lunaires de 29 à 30 jours alternativement.

La grande époque historique, l'année, civile aussi bien que religieuse, commençait au solstice d'été. Le premier mois, notre mois de juillet, devait son nom aux importants sacrifices qu'on y offrait au dieu Apollon, pour appeler sa bénédiction sur l'année nouvelle. Les Grecs comptaient par "olympiades", périodes de quatre années pleines, commençant à la pleine Lune qui suivait le solstice d'été de la cinquième année. C'était alors que se célébraient à Olympie ces jeux si fameux dans toute l'Antiquité.

Le jour et la nuit étaient chacun divisés en douze parties égales. Le nombre 12 rappelait directement le nombre de lunaisons complètes au cours d'une année. Il y avait ainsi 12 heures de jour et 12 heures de nuit. Chaque heure était censée se trouver placée sous l'influence de telle ou telle planète, les "Régents de l'heure". Sur le Mont Atos en Grèce, le Soleil est l'unique point de référence de la journée.

Les fêtes religieuses d'Athènes, très nombreuses, rythment la division du temps de l'année et la vie des États. L'année officielle commence au mois "d'Hécatombeon". Le mois le plus chargé en fêtes est "Pyanopsion". Les jeux panhelléniques sont aussi un point de repère important de ces activités, le moment d'aller au marché ou aux séances de l'Assemblée.

Les instruments

Les anciens Grecs désignaient les instruments, destinés à mesurer le temps, sous le nom d'"Horologium" et d'autres noms encore..

Ceux-ci se divisent en deux. Les instruments qui servent à mesurer ce temps, à observer la hauteur du Soleil et la longueur ou la direction de l'ombre sont les gnomons et les cadrans solaires. Ceux qui permettent d'évaluer l'intervalle de temps par l'écoulement régulier d'un liquide, hors d'un vase ou dans un vase sont les clepsydres et les horloges hydrauliques.

De nombreux instruments ont été trouvés et conservés soit en Grèce, soit dans d'autres pays.

À Athènes, se trouvent différents instruments : l'héliotrope, l'horloge sphérique ou "hémicyclum", le gnomon, le gnomon à pointe, le scaphé, l'horloge solaire et le cadran solaire. Dans la Tour des Vents, il y avait aussi une clepsydre et une horloge à eau.

L'héliotrope

Meton faisait des observations, grâce à son héliotrope, et en a construit plusieurs à Athènes, ainsi que des calendriers gravés pour connaître les heures du jour. Il réglait ses activités, le moment d'aller au marché ou aux séances de l'Assemblée, grâce à cet instrument, à l'occasion de la réforme du calendrier, en l'an 434 av. J.C

Un miroir plan réfléchissait les rayons solaires à grande distance et faisait des signaux convenus, placés sur un des murs de la Pnyx, Ce serait le premier héliotrope à être installé.

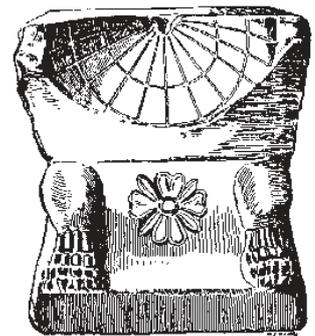
Phérécyde de Syros aurait installé un immense héliotrope dans sa patrie, l'île de Syros.

L'horloge sphérique ou "hémicyclum"

Une horloge sphérique, trouvée à Athènes, est conservée au Musée du Louvre à Paris.

Sont visibles 10 lignes horaires et 3 de déclinaison, creusées dans la cavité hémisphérique. Le trou du gnomon semble de grande dimension. Deux lignes de déclinaison indiquent le solstice d'hiver et les équinoxes. La distance entre les deux lignes diurnes et le bord de la cavité représente la limite de la courbe du solstice d'été.

L'horloge est abîmée sur les bords et à l'extrémité inférieure de la cavité. La base est décorée de deux pattes de lion au milieu desquelles se trouve une fleur.



Le gnomon

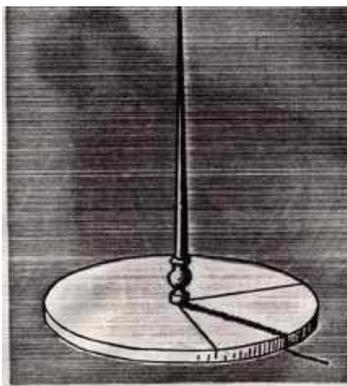
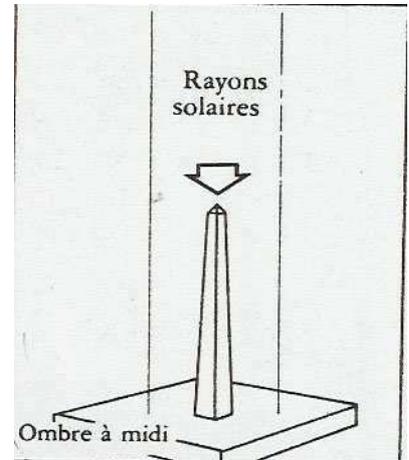
Il consiste en une pyramide tronquée par le sommet ou piquet dressé verticalement. Les auteurs comiques ont exploité leurs quiproquos des rendez-vous fixés à "tant" de pieds.

C'est Anaximandre, qui inventa, à Lacédémone un gnomon indiquant l'époque exacte des solstices et des équinoxes et le midi vrai. Il avait permis de mesurer l'ombre méridienne équinoxiale. Ses contemporains et leurs descendants, l'utiliseront pendant trois siècles.

Les astronomes Meton et Euctemon, Ératosthène ainsi que les autres astronomes grecs antérieurs à l'époque alexandrine, se servirent d'un gnomon. Ils repéraient aussi l'ombre méridienne équinoxiale, l'obliquité de l'écliptique, mesure importante en astronomie.

Pour la géographie mathématique, ils étudiaient la hauteur du Soleil sur l'horizon, la subdivision des heures en deux parties du jour, la latitude du lieu pour apprécier le moment du jour, l'heure des repas étant fixée à "tant" de pieds et la durée de l'année à un jour près.

Ils comparaient deux observations séparées par un grand nombre d'années et divisaient le nombre de jours d'intervalle par le nombre des années.



Le gnomon au centre de l'Agora.

Au I^{er} siècle av J.C., on érigea un gnomon au centre de l'Agora. La construction en avait été décidée à l'occasion de la réforme du calendrier.

Il y aurait eu aussi un gnomon à Thèbes et à Lacédémone.

Le gnomon à pointe

Sous Auguste, le mathématicien Facundus Novus eut l'heureuse idée de fixer une boule sur la pointe du gnomon.

Le scaphé ou cadran conique

Il fut un temps où l'usage du scaphé, sous une forme ou sous une autre, a dû être général à travers l'ensemble du monde antique méditerranéen ou du moins dans les villes. Peu à peu la science de leur construction se répandit si largement qu'il existait un peu partout en Grèce et en Italie des ateliers spécialisés dans leur fabrication. Il y était tenu compte des modifications à apporter à chaque appareil, en vue de son utilisation sous la latitude où il était appelé à servir.

Le scaphé grec est le plus pur de tous, puisqu'il est constitué d'une demi-sphère complète creusée dans un bloc de pierre, sans arasement, la plupart du temps en marbre poli. La sphère se complète en projection mentale, comme en transparence.

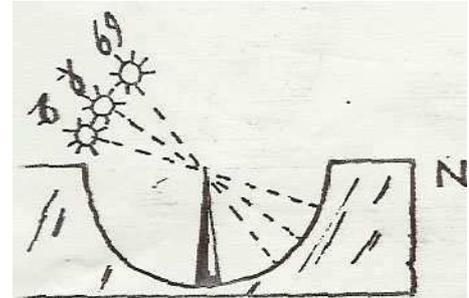
Du point le plus bas de cette demi-sphère s'érige un style droit, visant le zénith du lieu et se terminant par une boule. Cette dernière est ainsi le centre d'homothétie du système et son ombre représente fidèlement la position de l'objet la créant, en l'occurrence, le Soleil ou la Lune.

En principe, un scaphé est caractérisé par l'absence de graduation chiffrée. Si elles existent, elles le sont toujours dans une zone et non pas en bout de ligne et en lettres grecques le plus souvent ($\alpha\beta\gamma\dots$) plutôt qu'en chiffres. Il doit être placé dans le méridien, comme un cadran plein Sud.

Il indique les saisons : printemps et été, d'une part, et automne et hiver, d'autre part, avec l'ambiguïté traditionnelle de presque tous les cadrans solaires. Pour indiquer les 12 heures temporaires, 11 lignes plus les deux bords de la pierre vont découper chaque courbe diurne en 12 tranches égales. Lorsque le Soleil produira une ombre nette à l'intérieur de la sphère, la pointe de cette ombre indiquera la saison, voire la date et l'heure temporaire actuelle. Il sera possible de dire que le Soleil entre dans la 7^{ème} partie de son parcours quotidien, par exemple, ou que tel événement a lieu dans la 8^{ème} heure.



À l'intérieur du bloc de pierre, côté Nord sous nos latitudes, le sculpteur a gravé trois lignes parallèles, représentant les deux solstices pour les deux extrêmes (21 juin et 21 décembre) et les deux équinoxes pour l'intermédiaire, utile deux fois par an (20 mars et 23 septembre).



Le scaphé ou cadran conique

Sharon L. Gibbs a étudié ces instruments et les a répartis en sphériques, hémisphériques, coniques, horizontaux, méridiens, cylindriques. Ils peuvent être en bronze, en marbre bleu ou blanc ou Pentelic ou crème, en pierre. Elle en a trouvé dans de nombreux pays : Algérie, Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Espagne, Italie, Lybie, Maroc, Roumanie, Soudan, Suisse, Syrie, Tunisie, Turquie, Yougoslavie.

En Grèce, ils sont conservés à Amphiareion, Athènes, Chios, Corinthe, Cropu, Délos, Isthmia, Kavalla, Kephalos, Kos, Megara, Melos, Napplion, Olympie, Paphos, Pirée, Rhodes, Samos, Samotrace, Sparte, Tenos.

Les tout premiers instruments de ce type connus avec certitude, en Grèce, datent de 600 av. J.C.

LES SCAPHES D'ATHENES

Sous l'Acropole

Un scaphé conique, en marbre blanc, a été trouvé in situ à l'Est du monument de Thrasyllos, au-dessus du théâtre de Dionysos et semble avoir été construit pour la latitude de 38 degrés, ce qui présente une approximation très grande de la véritable latitude : 37° 38'. Des traces de plomb demeurent autour d'un large gnomon, au-dessus de la méridienne. Onze lignes des heures traversent celles des équinoxes et des solstices.



Un autre, au contraire, est taillé pour la latitude de 28° 20' : il aurait donc été apporté à Athènes sans doute des environs d'Hermopolis en Égypte.

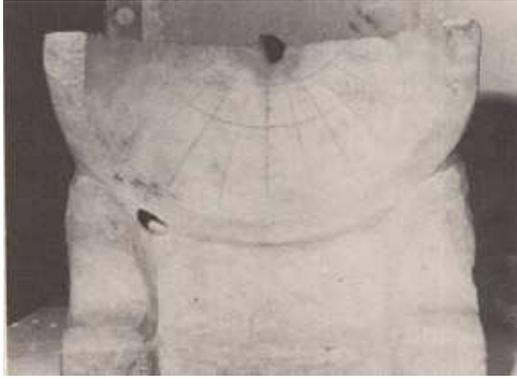
Au théâtre de Dionysos

Un scaphé conique, en marbre Pentelic, trouvé dans les ruines du Théâtre de Dionysos, est conservé au National Archeological Museum (Study Collection), sous le n° 3158. Le gnomon complet, en bronze, demeure au sommet du scaphé. Il est porté, à droite et à gauche, par des jambes stylisées. Onze lignes horaires traversent trois courbes des jours.

À l'Épigraphical Museum

Un scaphé conique, daté du I^{er} ou II^e siècle av. J.C., se trouve à l'Épigraphical Museum, sous le n° 2922. En marbre blanc et gris, il provient sans doute d'Imbros. Le trou du gnomon, au sommet, porte une tache ferrugineuse. Onze lignes des heures partent de ce trou. Deux lignes d'inscriptions grecques sont gravées dans la partie basse.

Au théâtre de Dionysos



À L'Épigraphical Museum



L'horloge solaire ou "sciothérique"

Anaximandre dessina, le premier, la circonférence de la Terre et de la mer, grâce à des horloges solaires et construisit une sphère.

Anaximène de Milet aurait installé à Lacédémone ou Sparte une horloge dite "sciothérique", pour déterminer les saisons, ainsi que les solstices et les équinoxes, qui sont les limites exactes des saisons.

LE CADRAN SOLAIRE

Il a été étudié par Anaximène de Milet, Vitruve, (I^e siècle av.J.C.) Ératosthène, (III^e siècle av. J.C.) Delambre (1749-1822), Darenberg (1872), Sharon L. Gibbs, (1976), Àrpád Szabo (1986).

L'esprit scientifique des Grecs a donné une grande impulsion au développement des cadrans solaires: grâce aux nombreuses pièces trouvées au cours des fouilles archéologiques.

Pour Àrpád Szabo : "Hérodote est le premier auteur de l'Antiquité au V^e siècle av. J.C. qui a fait mention du cadran solaire, le gnomon des Grecs".

Et pour M.G. Rayet : "Le principe, une fois trouvé, les espèces de cadrans se multiplièrent rapidement. L'imagination de tous les mathématiciens s'exerça à en rendre la construction de plus en plus facile et l'usage de plus en plus commode. Les cadrans solaires qui divisaient en douze parties égales, mais variables de longueur, suivant les saisons (heures temporaires), l'espace de temps, variable lui-même, qui s'écoule entre le lever et le coucher du Soleil, suffisaient amplement aux besoins ordinaires de la vie, dans des pays où le ciel est si souvent pur. Aussi l'usage des cadrans devint-il bientôt général".

Tous les cadrans solaires antiques ont en commun le fait qu'ils indiquaient une heure de durée variable et que c'est l'extrémité seule de l'ombre qui donnait l'heure.

Anaximène de Milet aurait perfectionné le cadran solaire.

Les constructeurs de ces appareils avaient été très fiers de leurs mérites et soigneux d'inscrire leurs noms sur leurs instruments. Plus tard, leur fabrication fut une industrie courante.

Les cités possédant un cadran solaire sur leur agora, dans leur théâtre, ou dans l'édifice où se réunissait leur Sénat, avaient été, à l'origine, peu nombreuses. Par la suite, on trouva des cadrans, non seulement sur les places publiques, mais dans toute maison un peu confortable. On en vint peu à peu à en construire de petits que l'on pouvait emporter en voyage.

Vitruve, architecte de Jules César et d'Auguste décrit la construction d'un cadran solaire au livre 9 de son ouvrage *De Architectura*. Il commence son exposé par l'énoncé du principe selon lequel la longueur de l'ombre méridienne équinoxiale d'un piquet vertical dépend du lieu géographique où elle est mesurée. Selon M.G. Rayet, dans son Livre IX, Chap. IX, Vitruve nomme jusqu'à treize sortes de cadrans connus à son époque et dit qu'il y en avait bien davantage.

Les cadrans sphériques, coniques et plans

Les treize cadrans indiqués par Vitruve peuvent se subdiviser en trois groupes : les cadrans sphériques, les cadrans coniques et les cadrans plans. Selon lui : "Ces faits ont été ordonnés par l'intelligence divine et provoquent une vive admiration chez ceux qui y réfléchissent car l'ombre équinoxiale du gnomon a telle longueur à Athènes, telle autre à Alexandrie. Telle autre encore à Rome est différente aussi à Plaisance et dans d'autres endroits de la Terre".

Vitruve sait, naturellement, que cette différence de longueur dépend de la latitude du lieu ou, pour prendre son expression, de l'"inclinaison du ciel". Il dit aussi : "Le Soleil, quand il est situé dans le Bélier ou la Balance, produit pour un gnomon de longueur 9, une ombre de longueur 8, sous l'inclinaison du ciel qu'on trouve à Rome".

L'Arachné

Il semble que les Grecs, Eudoxe de Cnide et Apollonius, aient inventé le cadran solaire, appelé Arachné, vraisemblablement un cadran d'azimut. Il donne ce qu'il est convenu d'appeler l'araignée, en deux versions : "sédentaire" et "magnétique". Ce point est particulièrement intéressant, car le dessin d'une araignée n'est pas facile. Il entraîne des calculs trigonométriques très longs de nos jours.

Le "Stoicheion"

Vers 392 av. J.C., les cadrans se multiplièrent assez rapidement. Aristophane, dans *l'Assemblée des Femmes*, ironise. Praxagore, dit à son époux : "Quand le stoicheion mesurera dix fois la longueur de ton pied, tu n'auras plus qu'à te parfumer et à venir souper". En l'occurrence, le mot "stoicheion" désignait la longueur de l'ombre du mari. Les passages de ce genre dans les comédies se rapportent presque exclusivement aux heures des repas.

Les cadrans solaires universels

Parménion construit les premiers cadrans solaires universels, c'est-à-dire dont l'orientation est modifiable selon le lieu. On ne sait pas comment ils ont été tracés.

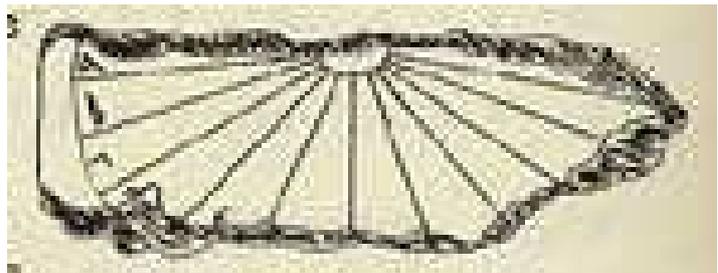
LES CADRANS SOLAIRES D'ATHENES

Dans la Pnyx

D'après le Hollandais Calkœn (1772-1811), c'est en 434 av. J.C. qu'un premier cadran solaire fut installé à Athènes, dans la Pnyx, vers 143-144.

Au temple d'Ares

Sharon L. Gibbs cite un cadran solaire vertical, provenant du Temple d'Ares, dans l'Agora grecque. Il est conservé au Museum of the Stoa of Attalos, (study collection). Onze lignes partent d'un demi-cercle au sommet. On peut y lire une inscription en Grec.



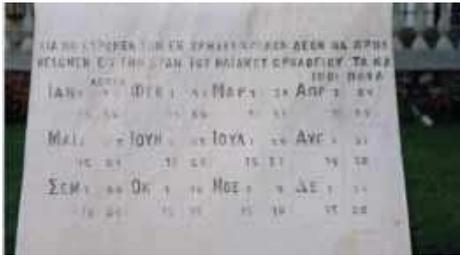
Le Jardin national

Le Jardin national s'étend derrière l'immeuble du Parlement, l'ancien palais royal. Ce havre de paix a vu le jour dans les années 1840, à la même époque que le palais, ce qui lui vaut aujourd'hui encore d'être appelé Jardin royal. Le palais présidentiel est tout proche de ce lieu très apprécié des Athéniens.

Son cadran solaire

Aujourd'hui, ce cadran solaire se trouve à l'entrée du Jardin National, Queen's Amalias avenue.

Placé sur le côté Ouest du Palais, sur un piédestal, devant l'escalier de marbre conduisant aux jardins, il a probablement été fait par le fameux sculpteur Nikeforos Lytras. Malheureusement, le cadran initial, horizontal en marbre, a été volé et, à sa place, se trouve maintenant une copie en bronze. Sur la table plate, on lit les coordonnées de son emplacement : Latitude 37° 58,3' N et Longitude : 23° 44' E. Sur le côté du piédestal se trouvent les solutions de l'équation du temps pour chaque période de cinq jours, tout au long de l'année.



Le cadran solaire



du Jardin National

LA TOUR DES VENTS



C'est le seul monument de la Grèce antique qui est demeuré intact jusqu'à nos jours. On peut l'admirer à une centaine de mètres, à l'Est de l'Agora, dans le Forum romain, connu aussi sous le nom d'Agora romaine. La Tour des Vents est un édifice ou temple, d'ordre Toscan, en marbre blanc, datant de la seconde moitié du 1^{er} siècle de notre ère. Andronicos de Kyrrhos, architecte et astronome syrien, l'a fait construire, sous le règne de Jules César, en forme de tour, pour recevoir l'horloge hydraulique qu'il avait inventée.

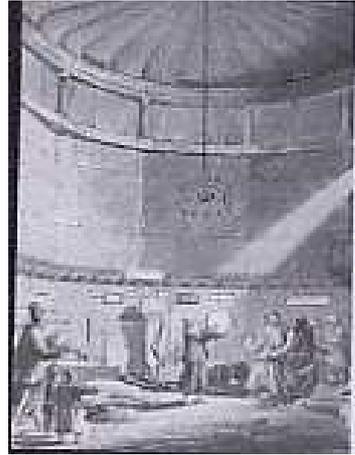
Cet édifice octogonal est haut de 12,80 m. Son diamètre est de 7,9m. Bâti en marbre blanc, du Pentélique, il prend des reflets ambrés au

Soleil couchant, comme le Parthénon lui-même. Les côtés de la tour font face aux points cardinaux.

Cette tour se dresse sur une plate-forme à trois degrés. Des entrées au Nord-Ouest et au Nord-Est ouvraient sur des portiques rectangulaires à deux colonnes corinthiennes.



La Tour des Vents



La Tour des Vents
sous la monarchie ottonienne



La Tour vers 1987

Pendant les premières années de la monarchie ottonienne, la Tour des Vents abrita le culte catholique. Pendant les premières années de la monarchie ottonienne, la Tour des Vents abrita le culte catholique.

Une communauté de derviches tourneurs, de l'ordre de Melevi, utilisa la Tour des Vents comme monastère. Ils cherchaient avec leur danse, à tendre vers le divin, accompagnés par les battements de tambours et les mélodies de la flûte turque. Leurs cérémonies avaient lieu chaque vendredi après la prière de midi.

L'ORIENTATION DE LA TOUR DES VENTS



Pour les navigateurs grecs, les vents étaient très importants à connaître avant de s'embarquer sur les mers. La Tour des Vents leur indiquait leur orientation.

Chacun des huit côtés de la tour est orienté selon les points cardinaux et leurs intermédiaires. L'entrée est au Nord-Ouest. Au Sud, un mur presque circulaire marque l'emplacement d'un ancien réservoir.

La Tour des Vents a fait office d'observatoire. On disait aussi qu'elle était la tombe de Socrate. Elle renseignait, à tout instant, les citoyens et particulièrement les marins, sur les vents qui soufflaient, indiquait les heures du jour, mais aussi les solstices et les équinoxes. Un appareil permettait d'enregistrer les mouvements des cinq

planètes connues et visibles à l'époque.

Une girouette et une grande banderole dominaient la tour. Au sommet, les différents vents étaient sculptés dans une frise entourant ses huit faces. Des cadrans solaires étaient gravés sous cette frise. À l'intérieur, était une horloge hydraulique ou clepsydre. Il y aurait eu aussi une chambre cylindrique.

Certains disent même qu'il y avait un canon et une méridienne pour donner l'heure de midi, lorsque le Soleil éclaire l'horizon. Une pendule donnait également la même heure, par un coup de canon, quand cet objet était caché par des nuages.

La girouette

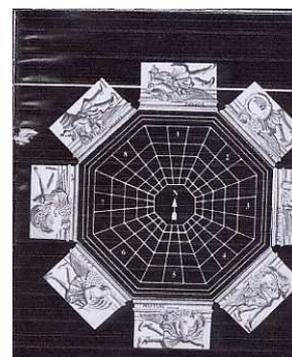
Au sommet de la tour pivotait une girouette, aujourd'hui disparue. Un triton d'airain tournait sur un pivot, tenant à la main une baguette pour indiquer la direction des vents. ▶



Les huit vents

Sur les murs extérieurs, huit frises représentent, de façon symbolique, la Tour des Vents. Huit personnages ailés, symbolisant les vents dominants d'Athènes, sont sculptés sur ses huit faces et identifiés par des inscriptions.

Sous les reliefs figurant Borée et Apéliotès, le vent d'Est, des petits trous ont été pratiqués dans la pierre pour faire entrer la lumière à l'intérieur de la tour. ▶



Boreas, vent du Nord, fils d'Astréos et d'Éôs (Aurore) est face à la rue Eolou.

Le vent froid du Nord est représenté par un homme barbu, vieillard morose, chaudement vêtu, embouchant une conque. Son manteau ondule. C'est lui qui enleva la fille d'Erechthée, Orithye, dont il eut de nombreux enfants. À Athènes, il avait un temple près de l'Ilkissos. La Thrace était son lieu de séjour favori, mais il était adoré en divers pays. Parfois il avait des serpents en guise de jambes. ▶



Skiron, le dieu du Nord-Ouest, porte un vase qu'il s'apprête à renverser, annonçant la saison des déluges. ▶



Zephyros, vent de l'Ouest, annonce le printemps en déversant des fleurs, retenues dans le pli de son vêtement. Dans l'Iliade, Zéphir est un vent violent ou pluvieux.

Plus tard, on le considéra comme un vent doux et léger, une brise tiède qui amenait la fonte des neiges. On l'a représenté sous la figure d'un jeune homme ailé, le front couvert de violettes et de primevères, glissant à demi nu, à travers les airs, en tenant à la main une corbeille de fleurs printanières. ▶



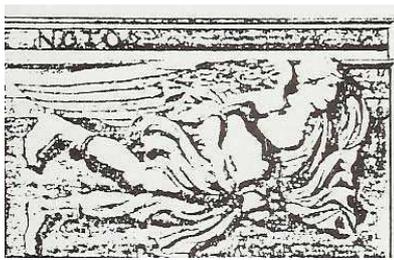
Lips se tenant au curieux élément de navire, "l'aplustre", est le vent du Sud-Ouest.

Notos est le vent du Sud apportant la pluie. Il est symbolisé par un jeune homme vidant une cruche d'eau.

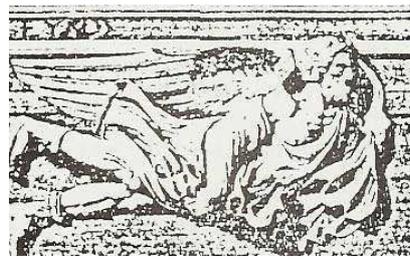
Euros, vent du Sud-Est, est représenté en vieillard barbu, ailé et drapé dans un large manteau.



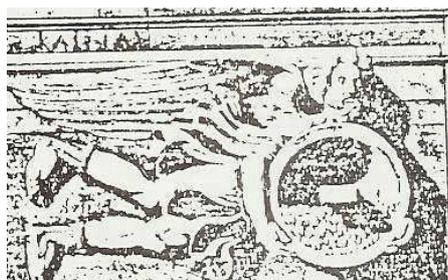
▲ Lips



▲ Notos



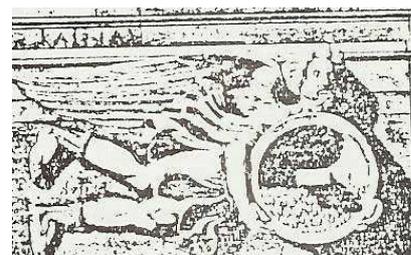
▲ Euros



▲ Apeliotes

Apeliotes, le dieu du vent de l'Est, est un jeune homme, montré sans barbe. Sa tunique est remplie de fruits et d'épices.

Kaikias, le dieu barbu venu du Nord-Est, vide un plein bouclier de grêlons et les fait voler



Kaikias ▲

LA CLEPSYDRE

C'est une des plus célèbres et des plus complexes horloges astronomiques à eau que l'histoire ait retenue. Construite sous la domination ottomane, en 75 avant J.C, elle marque, par sa technique et sa renommée, le point d'aboutissement des clepsydres, qui n'a jamais été dépassé.

Les prêtres en avaient le contrôle et conservaient jalousement la maîtrise de la théorie du temps et celle des techniques de fabrication des instruments servant à sa mesure. En s'y substituant, les ingénieurs grecs ont fait progresser le système technique et l'ont rendue profane.

Clésibus la perfectionna notablement, grâce à un flotteur actionnant des rouages qui indiquaient les heures et les mois.

Le temps de parole de l'orateur étant fixé uniformément par le tribunal, on le mesurait par la clepsydre. On arrêtait cependant la clepsydre pendant la lecture des pièces et l'audition des témoins.

Vers le II^e siècle av. J.C., la variation de hauteur du niveau d'eau fut utilisée pour commander certains mécanismes. Un flotteur, posé sur un réservoir d'eau dont le niveau monte ou descend régulièrement, anime un mécanisme qui va du simple axe tournant faisant évoluer un index, à un ensemble complexe pouvant comporter des automates.

L'eau y était amenée de la source "Clepsydre", située sur le versant Nord de l'Acropole. Ce nom fut donné ultérieurement à toutes les horloges hydrauliques.



Cette clepsydre est conservée au "Museum of the Ancient Roman Agora".

De l'horloge à eau, il ne reste, à l'intérieur, que la base d'un système de tuyauterie et un canal d'alimentation, petite rigole creusée à l'intérieur.

Les faces Nord et Est sont toutes les deux percées d'un trou qui laisse passer la lumière à l'intérieur.

La tourelle ronde, dont on aperçoit les vestiges sur la face Sud, constituait le réservoir de cette eau, introduite à l'intérieur de la tour dans un cylindre où ses niveaux successifs indiquaient les heures.

La chambre cylindrique

Une petite chambre cylindrique, partiellement conservée, d'un rayon de 148 cm, se trouve sur la face Sud.

Sur la face extérieure du cylindre, deux lignes se

croisent à l'angle de 52° et sont gravées sur les côtés. Sur la figure, ABC est la section horizontale du cylindre, DD étant la surface latérale de ce cylindre, montrant les lignes gravées. ▶

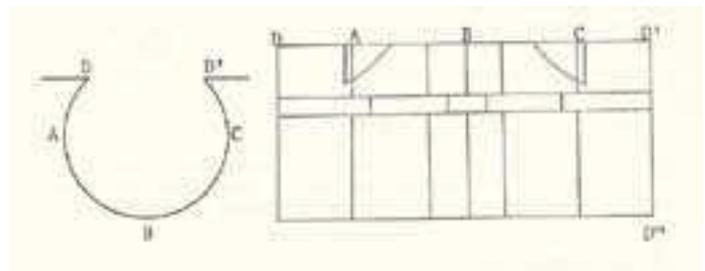


Fig. 304. — Horloge hydraulique de Cnibus.

Le canon, la méridienne et la pendule

Cette tour aurait contenu aussi un canon et une méridienne pour donner l'heure de midi par un coup de canon lorsque le Soleil éclaire l'horizon. Une pendule aurait également donné la même heure, quand le Soleil était caché par des nuages. On ne connaît pas la date d'installation de la méridienne.

LES CADRANS SOLAIRES

Ceux qui les ont étudiés

Voici ce qu'écrivait Darenberg à propos de Vitruve : "Le plus important des cadrans plans est celui qui est connu sous le nom de "Tour des Vents" à Athènes" et "L'on ne sait pas exactement de quelle époque ils dataient. Il paraît en effet étonnant que Vitruve qui décrit la Tour des Vents n'y fasse pas allusion et les passe aussi sous silence quand il énumère les divers systèmes de cadrans connus de son temps. Par conséquent, on tend à croire qu'ils ont été tracés sur le monument, non par Andronicos de Cyrresthes, mais par un artiste postérieur, vers l'un des premiers siècles de notre ère".

Il écrit aussi "C'est un octogone régulier sur les faces duquel sont représentés les huit vents principaux et au-dessous on voit huit cadrans différents : quatre d'entre eux sont réguliers, ce sont les cadrans verticaux du Nord et du Midi, de l'Est et de l'Ouest; les quatre autres sont sur les faces intermédiaires et sont déclinants".

Et enfin "Ces cadrans marquent les heures temporaires et presque tous avec exactitude, surtout ceux du Midi de l'Est et du Sud-Ouest". Seul le cadran de Caecias ou du Nord-Est ne semble pas avoir été tracé avec autant de soin ou du moins de succès. La latitude du lieu avait été fixée avec précision. Le cadran de l'Est montre que les anciens avaient adopté pour valeur de la latitude d'Athènes $37^\circ 30'$. Ils n'ont commis qu'une erreur de 28 minutes".

Selon Delambre : "On est à peu près certain qu'ils doivent dater d'une époque bien postérieure à la construction de la tour. Le Soleil levant vient frapper, à tour de rôle, chaque face de la tour, indiquant les points cardinaux. La lecture des heures est simplifiée en périodes de trois

heures et indiquée sur les quatre côtés faisant face du Soleil. Peu à peu, les heures s'illuminaient de l'aube au coucher du Soleil. Elles sont toutes gravées mais différentes, indiquant les heures temporaires et, presque toutes, avec exactitude, surtout celles de midi, de l'Est et du Sud-Ouest.

Seul le cadran du Nord-Est ne semble pas avoir été tracé avec autant de soin ou du moins de succès. Quatre d'entre eux sont réguliers, ce sont les cadrans verticaux du Nord et du Sud, de l'Est et de l'Ouest : les autres sont sur les faces intermédiaires et sont déclinants. La latitude du lieu avait été fixée avec précision. Le cadran de l'Est montre que les anciens l'avaient adopté pour la latitude d'Athènes : 37°30'. Deux opinions ont été émises : ils n'ont commis qu'une erreur de 28 minutes et ces cadrans n'avaient que trois minutes d'écart avec l'heure exacte".

Sharon L. Gibbs a publié, en 1752, avec ses collaborateurs, des dessins et des mesures, en pouces anglais, de cinq cadrans. Sur tous les cadrans, elle a vu un relief allégorique et une inscription en grec.

Mr James Richard donne le modèle approximatif des faces de la Tour qui indique le temps sur les cadrans selon la latitude locale. Les cadrans montrent les heures inégales, chaque gnomon étant un indicateur d'ombre.

Leur description

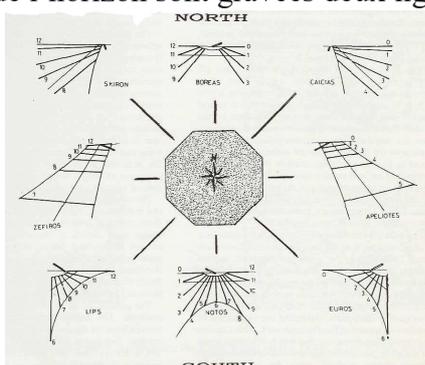
Immédiatement au-dessous des reliefs, on distingue sur chaque face de très anciennes lignes, tracées dans la pierre qui sont des cadrans solaires à heures temporaires, encore munis de leurs styles perpendiculaires et d'une boule qui indique l'heure.

Sur la face Sud, le gnomon est visible le long du méridien, au-dessus de la ligne d'horizon. 11 lignes des heures et 3 courbes des jours sont conservées. Cinq lignes des heures indiquent, sur la face Est, la première et la cinquième heure entre les solstices d'hiver et d'été. La ligne des équinoxes croise les lignes des heures entre les solstices.

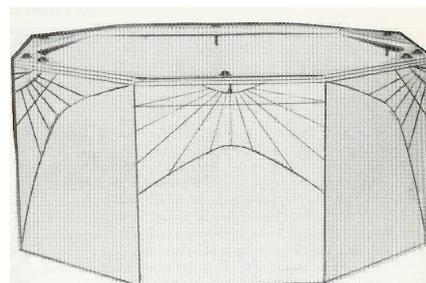
Le gnomon de la face Sud-Est, au trou carré, est visible le long de l'horizon à 9,85 m du méridien. Cinq lignes des heures sont gravées. Le méridien coïncide avec un bord de la tour octogonale. Les solstices et les équinoxes traversent les lignes des heures.

Le trou du gnomon de la face Nord-Est est placé le long de la ligne perpendiculaire à l'horizon qui croise l'équinoxe. Quatre lignes des heures et la ligne de l'horizon sont croisées par le solstice d'hiver, l'équinoxe et le solstice d'été. Une ligne des heures croise le solstice d'hiver. Trois lignes des heures croisent l'équinoxe et quatre lignes des heures croisent le solstice d'été.

Sur la face Nord, le trou du gnomon peut être vu le long de la ligne méridienne. Au-dessus de l'horizon sont gravées deux lignes des heures et le solstice d'été.



James Stuart et Nicholas Revette ne prirent pas de mesures sur les faces Nord-Ouest, et Ouest, mais les cadrans sont semblables à ceux du Nord-Est et de l'Est. Ils ne prirent pas de mesures de la face Sud-Ouest, mais le cadran est semblable à celui du Sud-Est.



▲ Les cadrans de la face Sud

Selon Pierre Rousseau : "Ces cadrans n'avaient que trois minutes d'écart avec l'heure exacte".



◀ Les cadrans des faces Sud-Est, Sud et Sud -Ouest

Lors de ma visite à Athènes, la Tour des Vents était en réfection. et seuls quelques styles de cadrans solaires étaient en place. J'ai photographié ses huit faces.



La face Nord



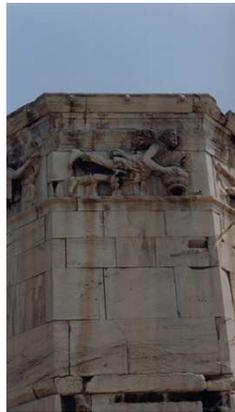
La face Nord-Est



La face Sud



La face Ouest

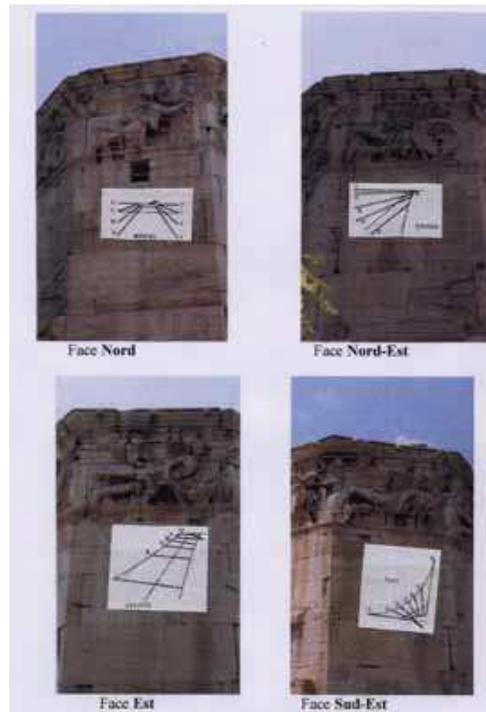


La face Nord-Ouest



La face Sud-Ouest

J'ai essayé de placer les cadrans solaires, sur les huit faces qui leur correspondaient.



Bibliographie

- Diogène Laërce, *Vies et opinions des philosophes*, IIe siècle ap. J.C.
- Claude Perrault, *Les dix livres d'architecture de Vitruve*, Pierre Mardaga Éditeur, 1684
- Sayce, *The astrology and the astronomy of the Babylonians*, in Trans of the Soc. Of biblig Archeol. III, p. 150, 1874
- M.G. Rayet, *Les cadrans coniques*, Annales de Chimie et de Physique, 5^{ème} série, Tome VI; 1875
- Darenberg Ch. et Saglio Edm, *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines*, Hachette, Tome 3-p. 256-262, 1900
- Lesêtre H., *Dictionnaire de la Bible*, Vigouroux F., Tome II, I parte, p.. 23-28, Paris, 1926
- Sharon L. Gibbs, *Greek and Roman Sundials*, Yale University Press, 1976
- Henri –Michel, *Les instruments des sciences*, De Vischer, p.123, 1980
- Jean-René Roy, *L'astronomie et son histoire*, Chapitre III, L'Astronomie dans l'Antiquité et au Moyen-Âge : l'époque des géomètres, p. 85., 1982
- René-R.J. Rohr, *Les cadrans solaires, Histoire, Théorie, Pratique*, 1986
- Erka Maula, *Les débuts de l'astronomie de la géographie et de la trigonométrie chez les Grecs* - Vrin - Pris, 1986
- Arpád Szabò, Erka Maula, *Les débuts de l'astronomie, de la géographie et de la trigonométrie chez les Grecs*, Vrin, 1986
- Charles K. Aked, *The tower of the Winds*, The British Sundial Society Bulletin, n° 93.1, février 1993
- Roland et Françoise Etienne, *La Grèce antique, archéologie d'une découverte*, mars 1998
- Jean-Pierre Verdet, *Histoire de l'astronomie ancienne et classique*, Que sais-je ?, 1998
- Yves Opizzo, *Les Ombres des temps*, Chapitre II, Les premiers objets de mesure du temps, 1998
- *Le grand Guide d'Athènes*, Bibliothèque du voyageur, Gallimard, 1990
- Roberto Casati, *La découverte de l'ombre de Platon à Galilée, l'histoire d'une énigme qui a fasciné les grands esprits de l'humanité*, Albin Michel, Idées, 2002
- Claude Allègne, *Un peu de science pour tout le monde*, Fayard, 2003
- The British Sundial Society Bulletin, *L'ancien calendrier sculpté d'Athènes*, Vols 15, septembre 2003
- Nicola Severino, *Orologi Solari Greco-Romani*, Aggiornamento al catalogo di Sharon Gibbs, Edizione unica CD Rom e Roccasecca, 2003



Images communiquées
par
N. Marquet



Les MERIDIENNES DU MONDE (A. Gotteland)

Avec trois membres de la "Commission des cadrans solaires" de la "Société Astronomique de France", nous avons étudié et photographié les cadrans solaires et méridiennes de Paris et les Éditions du CNRS ont fait paraître les livres : *Cadrans solaires de Paris*, en 1993 et *Cadrans solaires et méridiennes disparus de Paris*, en 2002. Nous nous sommes intéressés aussi aux grandes méridiennes horizontales françaises de Nevers, Bourges, Narbonne et Tonnerre.

Enfin, en 1999, j'ai commencé à étudier les nombreuses d'Italie et celles du monde.

Le problème de la date de Pâques

Les premières méridiennes sont nées grâce au problème de la date de Pâques qui, au XVI^e siècle, était réglée par les mouvements de la Lune et du Soleil. Le pape, Grégoire XIII (1502-1585), constatant que le calendrier Julien dérivait, voulut le reformer. Il s'entoura de savants qu'il chargea de déterminer les dates réelles de commencement des saisons.

Le Père Ignazio Danti, puis Jean-Dominique Cassini, furent les premiers à l'aider en installant des méridiennes dans plusieurs églises et cathédrales d'Italie

Les méridiennes horizontales de temps vrai

Après eux, de nombreux astronomes ont construit ces méridiennes dans des églises, des cathédrales, des basiliques, des observatoires, mais aussi dans des hôtels particuliers, des musées, des lycées, pour observer les mouvements du Soleil. De simples trous, dans leur partie haute, permettaient à ses rayons de dessiner au sol une

Le rayon solaire indique le moment de midi du solstice d'été au solstice d'hiver, puis, du solstice d'hiver au solstice d'été, donc toute l'année. Le plus souvent, ces lignes sont entourées des signes du zodiaque. La hauteur du Soleil et de la Lune au-dessus de l'horizon et leur orientation ont permis de mesurer l'obliquité de l'écliptique, d'estimer sa variation et ses oscillations. Ces méridiennes indiquent le midi et souvent les heures IX et I. Celle de San Petronio en Italie est la plus ancienne, celle Saint-Sulpice à Paris est la plus scientifique. La photo de cette dernière a été prise le 28 décembre 1986, jour du solstice d'hiver.

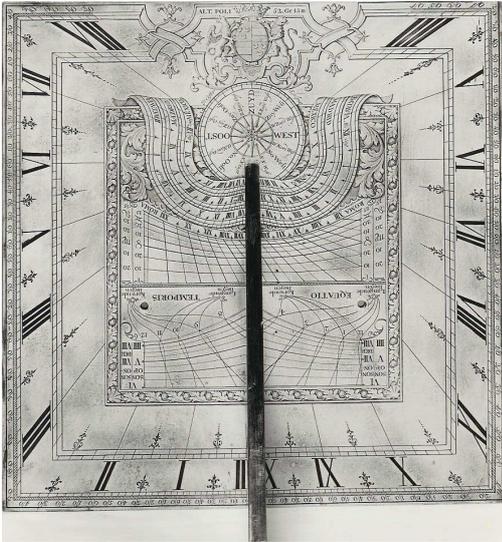


1 –La cathédrale de San Petronio, Photo, G. Paltrinieri ▲

2–L'église Saint-Sulpice, Photo, A.Gotteland ►



Le problème de l'invention de la courbe en huit



Marinus J. Hagen, Fer de Vries, président de la "De Zonnewijzerkring" aux Pays-Bas, et Christopher Daniel, Chairman of the British Sundial Society en Grande-Bretagne, ont trouvé des courbes en huit sur des cadrans solaires datant de vers 1725, au National Maritime Museum de Greenwich

Grandjean de Fouchy, né à Paris en 1707, a incité à entourer d'une courbe en huit les lignes des méridiennes horizontales ou verticales et donc devenir des méridiennes de temps moyen. Par exemple, celles de Farnborough en Grande-Bretagne et de Valletta à Malte sont verticales (fig 4 et 5).

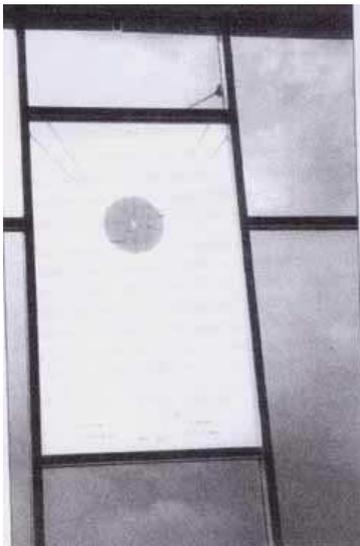
◀ 3- Courbes en huit sur un cadran solaire datant de vers 1725
Photo, Rijksmuseum of Amsterdam

Les méridiennes horizontales ou verticales de temps moyen

Les montres et les horloges apparues au XVIII^e siècle, contrairement au Soleil, indiquaient un temps régulier. Les cloches des monuments publics et religieux - églises, abbayes, couvents, hôtels de ville - annonçaient l'heure aux religieux et aux habitants. Chacun se fiait à la cloche de son voisinage, L'astronome Delambre se plaignait "d'entendre souvent les horloges publiques sonner l'une après l'autre la même heure pendant au moins une demi-heure".

C'est ainsi qu'il a fallu inventer des méridiennes de temps moyen qui peuvent être, soit verticales, soit horizontales.

Une courbe en forme de huit permet d'indiquer, suivant les époques de l'année, le point de l'ombre de l'extrémité d'un style à midi moyen. D'où la nécessité de connaître les mouvements irréguliers du Soleil.



◀ 4-Farnborough
Photo, D. A. Bateman



5-Casino maltais à Valletta,
Photo, A.Gotteland ▶

Tandis que les méridiennes de l'Hôtel de Bauffremont à Paris et de Ludiver en Normandie en France sont des méridiennes horizontales.



6–Hôtel de Bauffremont à Paris
Photo, A. Gotteland



7–"Ludiver" à Tonneville,
Photo, J. M. Ansel,

Le temps universel et les fuseaux horaires

L'adoption du temps universel et des fuseaux horaires a la même histoire que celle des heures locales, mais transposées à l'échelle internationale. On pouvait recenser au XIX^e siècle une centaine d'heures locales différentes. Le problème était grave pour les horaires de chemin de fer. De véritables tables de reconversion étaient utilisées pour passer d'une ligne à l'autre, selon l'heure de la gare qu'elle prenait en référence. Le passage d'une frontière pouvait donner lieu à cet exercice difficile de retarder sa montre de 9 minutes et 21 secondes (passage de France en Angleterre) ou de l'avancer de 43 minutes pour aller de France en Allemagne).

Après la conférence de Washington, le 1^{er} octobre 1884, l'organisation théorique du temps universel était faite. Le télégraphe électrique fut le premier vecteur utilisé en reliant les observatoires aux villes, permettant d'en régler les horloges à distance.



8–Greenwich
Photo, A. Gotteland

On convint alors de diviser les 360° de la circonférence en 24 fuseaux de 15° de longitude, chacun d'eux correspondant à 1 h. Le premier avait pour axe Greenwich et s'étendait à 7°30' vers l'Est et 7°30' vers l'Ouest. Pour chacune des localités situées dans un fuseau, l'heure légale était le temps moyen des pays situés sur le méridien axial du fuseau.

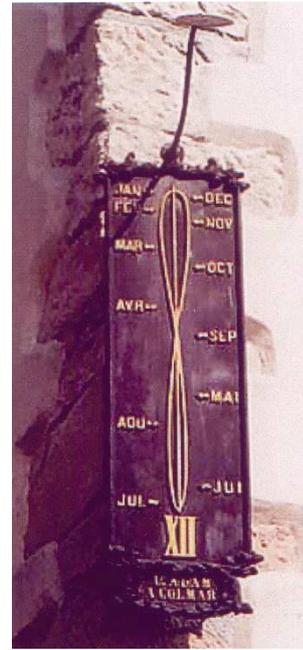
C'est Sir George Biddell Airy qui fixa le méridien international. À partir d'une structure en forme de sphère armillaire, une longue double bande de métal traverse le sol de la cour, encastrée dans une bande de pierre. Entre les deux bandes, courent des inscriptions lumineuses rouges, de bienvenue, rappelant la longitude : 00° 00' 00", et la latitude 51° 28' 38" à Greenwich. Sur la bande de pierre, sont inscrits des noms villes du monde, avec leurs latitudes.

Les instruments méridiens

Nous avons essayé de rassembler les instruments qui indiquent le moment de midi : les verres ardents, les lentilles, les canons à feu, les "petites chambres", les gongs méridiens, les instruments méridiens astrométriques, les lunettes méridiennes, les canons méridiens, les instruments méridiens proprement dits, et les méridiennes industrielles.



9-Canon du Palais-Royal
Photo, A. Gotteland



10- Aspach
Photo, S. Grégori

Les résultats de nos recherches

Nous avons traité les méridiennes, siècle par siècle et chronologiquement, et les instruments méridiens par catégorie.

Grâce à des gnomonistes de plusieurs pays, nous avons pu réunir 1139 méridiennes et instruments solaires, provenant de 27 pays.

Nous en avons trouvé 27 en Allemagne, 1, en Australie, 1, en Autriche, 16, en Belgique, 1, en Chine, 1, en Colombie, 9, en Espagne, 9, aux Etats-Unis, 710, en France, 19, en Grande-Bretagne, 2, en Hongrie, 1, en Inde, 273, en Italie, 7 à Malte, 1, au Maroc, 1, au Mexique, 1 en Norvège, 3, aux Pays-Bas, 2, en Pologne, 6, au Portugal, 1, au Québec, 1, en Roumanie, 2, en Russie, 2, en Suède, 34, en Suisse, 3, en Tchéquie, 3, en Turquie..

Mais 2 gnomons n'ont pas pu être localisés.

Les précurseurs des méridiennes sont des "taches méridiennes", des "Cercles méridiens", des "Lignes méridiennes".

Les méridiennes peuvent être horizontales ou verticales, horizontales et verticales et de temps vrai ou moyen, de temps vrai et moyen, de temps universel, à lentille, filaires, bifilaires, rapportées ou déplacées et à réflexion,

Les instruments solaires sont des verres ardents, des lentilles, des canons à feu, des petites chambres, des gongs méridiens, des instruments méridiens astrométriques, des lunettes méridiennes, des canons méridiens, des instruments méridiens, et des méridiennes industrielles.

Nous en avons trouvé sur des cathédrales, églises, chapelles, presbytères, hôtels de ville, mairies, casernes, habitations, immeubles, maisons, villas, lycées, collèges, écoles, hôpitaux, boulevards, rues, enfin dans des jardins, parcs, jardins particuliers.

Le livre sur les méridiennes du monde

C'est pour toutes ces raisons que nous avons entrepris d'essayer d'expliquer le rôle des méridiennes, de les décrire, siècle par siècle et chronologiquement, et d'en faire l'inventaire dans un livre :

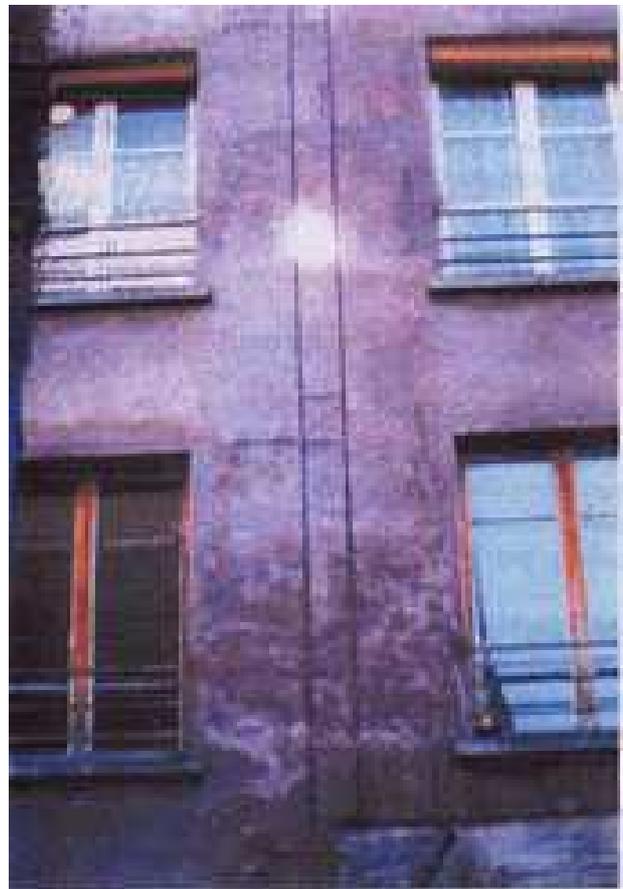
Giovanni Paltrinieri, gnomoniste éminent en Italie, a collaboré avec moi pour les nombreuses méridiennes d'Italie. Il a lui-même fait paraître deux livres aux éditions Artiere-edizionitalia, *Meridiane e Orologi solari di Bologna et provincia*, en 1995 et *Meridiane e Orologi solari d'Italia*, en 1997, dans lesquels les méridiennes sont nombreuses.

Toutes ces informations n'auraient pas été possibles sans l'aide des nombreux gnomonistes des différents pays et particulièrement de celle des Présidents des Associations de Gnomonique qui m'ont fourni leurs listes de méridiennes et vérifié mes traductions.

Les méridiennes à réflexion

En étudiant les *Méridiennes du monde*, nous avons rencontré de nombreuses méridiennes italiennes à réflexion et correspondu avec de nombreux gnomonistes qui m'ont signalé, plusieurs cadrans solaires et méridiennes à réflexion.

Nous avons alors entrepris d'étudier les *Cadrans solaires et méridiennes à réflexion* des autres pays et d'en faire un document qui sera diffusé, à la demande, aux gnomonistes des pays intéressés.



11– 12 –Immeuble du 59, rue de Charonne, à Paris
Photos P. de Divonne

Les cadrans solaires géants (P. Gojat)

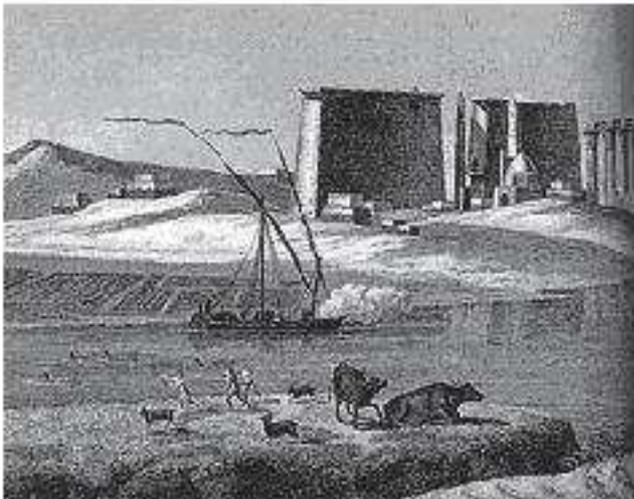
Quel est le plus grand cadran solaire du Monde ?

Depuis des temps immémoriaux, l'homme a compris que l'ombre projetée par un simple bâton fiché dans le sol, sa propre ombre ou celle d'un monolithe pouvait lui fournir une précieuse indication de l'écoulement du temps. Ce constat s'est doublé par la suite de la recherche d'une mesure du temps plus fiable, plus précise et plus universelle. Dans cette quête, astronomes, astrologues, prêtres, mathématiciens, princes, empereurs et gnomonistes ont mobilisé des trésors d'ingéniosité. Ils ont eu recours, comme dans d'autres domaines scientifiques, liés ou non à l'astronomie, à l'augmentation de la taille de leurs instruments. Au passage, l'accroissement spectaculaire de la taille des cadrans solaires a été mise à profit par leurs promoteurs et inventeurs pour augmenter leur prestige et leur notoriété. Pourtant, leurs ambitions tout comme la recherche de la perfection scientifique ont rencontré des limites de tous ordres.

Les géants prestigieux et emblématiques

Les obélisques

Les obélisques égyptiens, atteignant le plus souvent 20 à 25 mètres de haut, peuvent constituer des gnomons dont l'ombre est capable de fournir les mêmes indications qu'un cadran solaire. Pourtant, les obélisques de l'Égypte ancienne étaient presque toujours érigés à proximité des murs d'autres bâtiments; les hauteurs qu'atteignaient ces monuments emblématiques induisaient des ombres très longues à la latitude de leur installation en Égypte et elles ne trouvaient généralement pas une surface libre suffisamment grande pour pouvoir s'y étendre.



De plus, la section des obélisques n'est généralement pas constante sur leur hauteur ce qui rend l'utilisation de l'ombre de leurs arêtes inutilement compliquée pour la lecture précise de l'heure.

Même si les obélisques célèbrent le dieu Soleil Râ, les égyptologues n'ont identifié, parmi les inscriptions hiéroglyphiques portées sur les flancs, aucune mention de leur utilisation en tant que cadrans solaires.

Tout ceci laisse à penser, tout comme l'absence de traces ou de repères retrouvés au sol, que l'usage de l'obélisque comme cadran solaire de précision n'était pas initialement recherché par les Égyptiens.

En revanche, il était et il reste quand même tentant d'utiliser l'ombre projetée par leur extrémité : comme il est décrit dans la suite de cet article, on verra que les romains de l'Antiquité l'ont fait en ajoutant un globe de bronze percé d'un trou laissant passer la lumière; plus authentiquement, les parisiens modernes ont restauré le pyramidion (partie pyramidale dorée située au sommet de l'obélisque) qui, grâce à ses arêtes vives peut fournir l'ombre indiquant l'heure et la date de manière relativement précise, selon le principe du cadran analemmatique.

Rome



Bien après leur création, des obélisques égyptiens transplantés ont donc été transformés en cadrans solaires. L'obeliscus augusti, obélisque en granit rouge de 21,79 mètres de haut fut érigé à Heliopolis (littéralement la ville du soleil, sic !) au VII^{ème} avant J.C. par Psammetichus II. Il fut transporté à Rome en 10 avant J.-C. sur ordre d'Auguste et utilisé, comme cadran solaire avec pavements de marbres et repères en laiton, dans la partie septentrionale du Champ de Mars, à peu de distance de son emplacement actuel place de Montecitorio. La hauteur de l'obélisque est telle qu'elle nécessiterait, en principe, d'être entourée d'une chaussée plane en forme de demi ellipse ayant un grand-axe de plus de 430 m de longueur et un petit axe de 50 m. Ce serait donc une place tout à fait immense; à titre de comparaisons, la place Saint Pierre de Rome dans sa plus grande dimension est une ellipse dont le grand axe ne mesure que 240 m et la surface nécessaire au cadran de l'obeliscus augusti équivaldrait, à peu près, à celle de dix terrains de football.

Encore debout au VIII^{ème} siècle après J.C., l'obélisque fut abattu et s'est cassé à une date inconnue. Après avoir été oublié, il ne fut retrouvé qu'en 1512. On le sorti de terre en 1748. Après plusieurs essais infructueux pour l'ériger de nouveau, le Pape Pie VI le fit réinstaller le 14 juin 1792 place de Montecitorio, face au bâtiment du Parlement, avec un globe de bronze à son sommet. Les rayons du soleil le traversent pour former une tache de lumière sur la chaussée en indiquant l'heure, redonnant une nouvelle fois à l'obeliscus augusti sa fonction de cadran solaire.

Paris



En Égypte, l'obélisque qui est ensuite devenu l'obélisque de la Concorde se dressait, avec son frère jumeau, près du pylône du Temple de Thèbes - Louqsor. Il fut édifié par Ramsès II vers 1250 av. J.C. A plusieurs reprises au cours du XX^{ème} siècle, des gnomonistes ont cherché puis réussi à le transformer en cadran solaire géant.

Érigé au centre de la place, l'obélisque de granit rose, vieux d'environ 3300 ans, a été offert à la France par Muhammad Ali, Vice-Roi et Pacha d'Égypte en 1831. Sous la conduite de Champollion, l'obélisque fut embarqué en décembre 1833 et transporté à bord d'un bateau construit spécialement, jusqu'à Paris.

Le 25 octobre 1836, à l'issue d'un voyage de quatre années, il est installé place de la Concorde en présence du roi Louis - Philippe. Le socle décrit les moyens techniques ayant permis son transport et son érection sur la place. Le monument, d'un poids de 230 tonnes mesure 23 mètres de hauteur et est recouvert d'hiéroglyphes.

En 1913, l'astronome Camille Flammarion, fondateur de la Société Astronomique de France, proposait à la Ville de Paris de tracer sur la place de la Concorde les lignes du "plus vaste cadran solaire du monde". L'arrivée de la guerre de 1914 ne lui a pas permis de réaliser ce rêve.

En 1938, Daniel Roguet, architecte DPLG, architecte de l'Observatoire de Juvisy, membre du Conseil de la S.A.F, avec la collaboration des Ingénieurs et Géomètres de la Ville de Paris et du Service Géographique de l'Armée, reprend le projet de Flammarion. La devise prévue était celle de la Ville de Paris : *Fluctuat nec mergitur*. Les travaux sont commencés au printemps 1939, mais ont été interrompus la même année par le déclenchement de la II^{ème} guerre mondiale. Les traces de ce projet de cadran, sont visibles : creusées dans le sol de la chaussée qui entoure le parterre au Sud de l'obélisque, cinq lignes horaires devaient aboutir à des plots en bronze portant les indications des heures et des saisons.

Quelques soixante ans plus tard, un nouveau projet de Philippe de la Cotardière et de Denis Savoie, Président actuel de la Commission des Cadran Solaires de la Société Astronomique de France finit par aboutir et conduit à l'inauguration du cadran solaire le 21 juin 1999. Un tableau situé près de l'obélisque indique la correction à apporter pour connaître l'heure du XX^{ème} et du XXI^{ème} siècles.

Le Maharadjah de Jaïpur Jai Singh II



Jai Singh II Maharadjah, lettré scientifique et passionné d'astronomie fit construire des monuments - instruments astronomiques dans cinq villes de l'Inde (Delhi, Mathura, Varanassi, Ujjain et Jaipur). Il alla même jusqu'à se faire construire un complexe astronomique gigantesque au pied de son palais de Jaipur. Le plus grand cadran solaire permanent au Monde qui y figure est probablement aussi le cadran le plus précis et le plus complet de la catégorie des géants. Il servit tout à la

fois, et peut-être principalement, d'observatoire astronomique. Appelé Samrat Yantra, il fut donc construit par et pour le Maharadjah Jai Singh II (1686-1743) aux environs de 1730. C'est un cadran équatorial dont l'échelle est graduée sur un cercle de plus de 30 mètres de diamètre. Le style est un triangle rectangle de 44 mètres de long et 27 mètres de haut. Le point le plus haut du style est accessible par un escalier central jusqu'à une plate-forme utilisable pour l'observation terrestre et astronomique. Pour la lecture des heures, on peut accéder à chacune des graduations au moyen d'autres escaliers. Il donne l'heure à 2 secondes près.

Les églises et leurs méridiennes

Comme John L. Heilbron l'explique avec grand détail dans son ouvrage, de nombreux savants et astronomes se sont penchés sur l'observation du Soleil à l'aide de cadrans ou de méridiennes avec des finalités variées comme la détermination de la date de Pâques, la réforme du calendrier julien, la confirmation du modèle de Copernic et de Galilée de l'héliocentrisme, la mesure de la variation de l'obliquité de l'écliptique, etc. Pour toutes ces investigations, il était nécessaire d'améliorer la précision des instruments de visée. En gnomonique comme dans bien d'autres domaines scientifiques ou techniques, la recherche de précision a conduit naturellement à l'accroissement de la taille des moyens d'observation et de mesure.

La congrégation des jésuites a joué un rôle éminent dans l'utilisation des églises italiennes comme observatoires. Un trou percé dans un mur de l'église ou plus rarement dans la coupole, ou bien une zone claire au milieu d'un vitrail obscurci laisse passer la lumière dont on surveille avec attention le parcours à midi chaque jour au fil des saisons et des années.



Une fois constituée cette méridienne, le gigantisme et la complication apparaissent en même temps que la précision, lorsque la hauteur à laquelle se situe l'orifice devient considérable.

Le record semble être détenu par la méridienne de la cathédrale de Florence, Sainte Marie des Fleurs dont la coupole, magnifique, est un chef d'œuvre architectural. C'est précisément dans cette coupole conçue par Brunelleschi, que Toscanelli insère en 1475 un orifice à plus de 90 mètres de hauteur et installe sur le sol de l'église une méridienne de 10 mètres de long qui ne permettait la lecture de l'heure à midi que quelques semaines par an au voisinage du solstice d'été. Cette même méridienne fut reprise et corrigée ensuite par un jésuite sicilien, Leonardo Ximenes dans les années 1750.

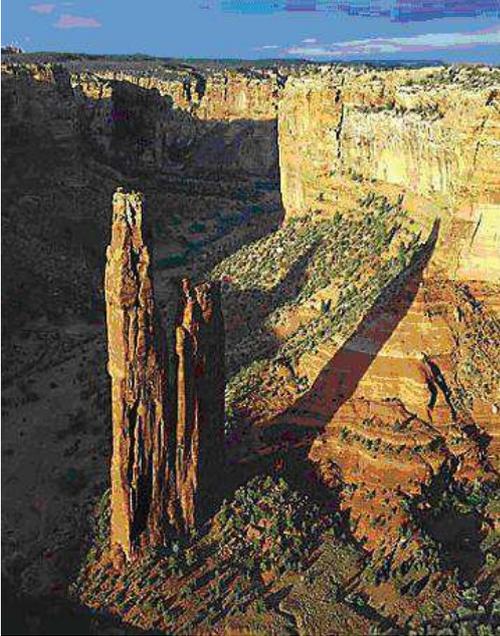
Le Mont Saint-Michel

Le plus grand cadran solaire éphémère qui ait été constitué est vraisemblablement le Mont Saint Michel qui a été transformé en cadran par l'installation sur la tange, c'est à dire l'étendue de sable que la mer laisse découverte à marée basse, de chiffres géants au droit de l'ombre du sommet du monastère. Du fait de ses dimensions l'abbaye du Mont Saint-Michel ne donne une heure qui n'est vraiment lisible qu'aux équinoxes. En effet, au voisinage du solstice d'été l'ombre est trop courte pour se projeter sur la grève et dès que l'on se rapproche un tant soit peu du solstice d'hiver l'ombre est trop longue (ombre d'un kilomètre le 29 septembre à 9 heures du matin) pour être distinguée avec contraste et netteté. Bien entendu, le cadran ne fonctionne qu'à marée basse et n'est visible que par les visiteurs du Mont situés du bon côté et aussi à quelques aéronautes. Il n'en demeure pas moins



que ce cadran qui probablement est le plus grand du Monde, est aussi, sans aucun doute, le plus élégant jamais conçu. La mer, assénant des coups de boutoir successifs liés au flux et au reflux a, en quelques mois, emporté au loin le marquage et détruit ce cadran solaire exceptionnel à tous les égards.

Épilogue et rêves divers

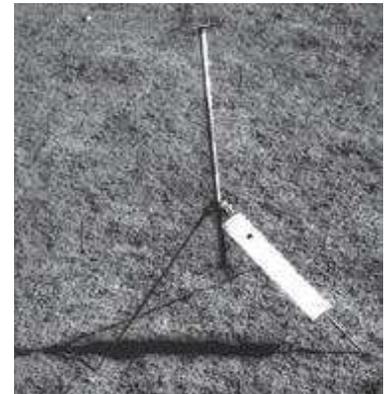


Si l'on se réfère à la hauteur du style, plusieurs cadrans solaires sont légitimement candidats au titre de plus grand cadran solaire du Monde. Selon la famille à laquelle ils appartiennent, il peuvent fonctionner à des jours et des heures donnés et certains d'entre eux furent très éphémères. La proposition de classement qui vous est présentée ne prend pas parti et laisse à chacun toute latitude (sic!) pour choisir selon ses propres critères scientifiques, esthétiques ou géométriques. Cela permet aussi de rêver à d'autres projets.

Le "spider rock" ou rocher de l'araignée en Arizona (États-Unis d'Amérique) est entouré d'un plateau de 244 m de haut et semble, notamment d'après cette photo, être un excellent candidat pour constituer le plus grand cadran solaire naturel du Monde. Encore faudrait il pouvoir concevoir et installer des repères sous forme de lignes horaires ou de plots et installer des chiffres... à la hauteur

de la situation !

Ce cadran solaire de taille modeste est le cadran le plus éloigné de la Terre, puisqu'il a été déposé... sur la Lune. (photo NASA)



Proposition de classement provisoire des plus grands cadrans solaires du Monde

(classement effectué en fonction de la hauteur de leur style)

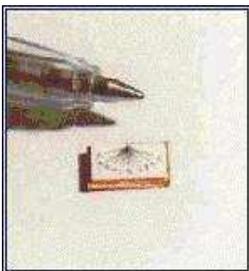
Cadran	Site & Coordonnées	Ville / Province	Pays Actuel (& d'origine)	Date de construction initiale	Inauguration du cadran	Observations	Hauteur du style (en mètres)
Abbaye	Mont Saint-Michel latitude 48°38' N longitude 1°31' W	Normandie	France	XI ^{ème} siècle flèche achevée en 1897	1988	Construction éphémère, aujourd'hui détruite. Ne fonctionne qu'à marée basse, à l'équinoxe.	environ 150

Cathédrale (Duomo)	Sainte Marie des Fleurs latitude ~43° 47' N	Florence Toscane	Italie	1475	circa 1475	Méridienne ne fonctionne qu'à l'équinoxe	>91 (99 ?)
Samrat Yantra	Observatoire du Palais de Jai Singh II latitude 26°55'27" N longitude 75°49'9" E altitude 430 m	Jaipur Rajasthan	Inde	circa 1730	circa 1730	Observatoire astronomique et cadran solaire "permanent"	27
Obélisque de Louxor	Place de la Concorde latitude 48°52' N longitude 2°19' E	Paris	France (Égypte)	circa -1300 av J.C.	1999		23 (31,40 "hors tout")
Méridienne de Le Monnier	Église Saint-Sulpice latitude 48°51' N longitude 2°20' E	Paris	France		1743	Méridienne, partiellement hors d'usage	25,98
Obélisque d'Auguste	Champ de Mars - Place de Montecitorio	Rome	Italie (Égypte)	circa -1300 av J.C.	-10 av. J.C.		21,79 (29 "hors tout")

Quelques cadrans géants remarquables méritent également d'être mentionnés :

- les méridiennes de San Petronio à Bologne (15,80 m), Santa Maria Novella à Florence (21,35 m), San Nicolo' l'Arena (23,92 m) à Catane, Palerme, la Cathédrale de Milan (24 m), Santa Maria degli Angeli (20,5 m), Eglise du collège des Jésuites à Florence (23,7 m), Académie des sciences de Sienne (Italie), Sainte Gudule à Bruxelles - Belgique, Cadran solaire de la Piazza Vecchia à Bergame - Italie
- une mention spéciale à la méridienne de Schwilgué de la cathédrale de Strasbourg - France qui, malgré des dimensions modestes (2,95 m de haut), donne l'heure de midi à la seconde près grâce une conformation du gnomon originale et une disposition géométrique particulièrement astucieuse.

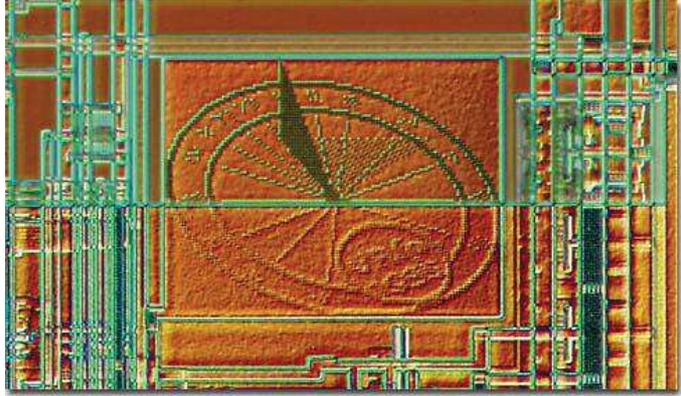
Et le plus petit ?



En février 1999, Giuseppe Ferlenga de Vérone en Italie, a fabriqué un cadran solaire mesurant 4 mm x 6.5 mm. Ferlenga a aussi construit de nombreux cadrans solaires plus grands, dont l'un est visible dans un jardin public de Teolo, à Padoue.

Encore plus fort : la plus petite représentation graphique d'un cadran solaire (environ 0,15 mm de côté - record du Monde) figure sur la puce de silicium d'un circuit intégré.

Cette très belle représentation d'un cadran solaire a été découverte à proximité des circuits "de l'horloge" sur le microprocesseur Hewlett-Packard PA-7300LC. On dit que les concepteurs de la puce de chez HP ont choisi d'y inclure un cadran solaire parce qu'elle est beaucoup plus rapide que n'importe quelle autre horloge et que le temps s'écoule de façon continue et non pas par une suite de tic-tac. Dommage que ce ne soit qu'un dessin



Les cadrans solaires géants

Y a-t-il des limites au gigantisme et à la précision des cadrans solaires ?

Quand l'architecture, le soleil, l'ombre, la pénombre, l'atmosphère et la Terre imposent leurs limites.

Dès le XVII^{ème}, Cassendi avait démontré que la rotondité de la Terre peut être négligée lorsque l'on agrandit la table d'un cadran solaire, c'est à dire la surface plane sur la quelle se projette l'ombre et se dessinent lignes, tracés et chiffres du cadran. Pourtant les gnomonistes ont affrontés et affrontent toujours bien des difficultés. Au travers des exemples que nous avons mentionnés, nous avons vu que les cadrans solaires géants se heurtent parfois aux capacités limitées de l'homme en matière d'architecture et de construction. Il y a toutefois encore bien d'autres considérations, d'ordre pratique ou théorique qui induisent des limitations.

Problèmes de géométrie et de construction

Définir l'horizontalité convenable à un cadran solaire ne pose pas trop de problème. Encore faut-il s'en donner les moyens. Au XVII^{ème} siècle, à Bologne en Italie, tout comme à Jaïpur en Inde, on sait que les gnomonistes ont eu recours au même procédé. Une simple rigole remplie d'eau et longue de plusieurs dizaines de mètres a permis, lors de la construction, de s'assurer de la planéité et de l'horizontalité quasi parfaite de la surface servant de table au cadran. Cette même méthode avait d'ailleurs déjà été utilisée par Ulugh Beg à Samarkand dès 1428 pour l'édification de son observatoire astronomique.

La connaissance de la verticalité est également essentielle pour positionner correctement le centre d'une méridienne sur le sol (le vertex). La verticalité du gnomon est plutôt facile à établir et à contrôler à l'aide d'un fil à plomb. On pouvait ainsi constituer un style virtuel parfaitement orienté parallèle à l'axe du Monde faisant un angle avec l'horizontale égal à la latitude du lieu. Sur une grande hauteur, comme celle offerte par une église, il fallait pourtant prendre quelques précautions. Même à l'abri du vent, il faut amortir les oscillations du fil à plomb par exemple en laissant plonger son extrémité dans un liquide. En effet, s'il était laissé libre, le fil à plomb de grande hauteur se comporterait comme un pendule de Foucault. Il oscillerait continuellement sous l'effet de la rotation de la Terre.

Dans le cas particulier des méridiennes d'églises, il fallait s'assurer de connaître avec précision la hauteur du trou pratiqué dans la coupole, le mur ou la fenêtre de l'église pour. Le trou laissant passer la lumière, situé à plusieurs dizaines de mètres de hauteur était souvent très difficile d'accès après la construction. Pas question de mesurer sa hauteur à la règle puisque l'utilisation

d'une règle ou d'une toise n'est possible que si l'on a un accès physique. Les cordes, câbles et chaînes qui peuvent servir à mesurer la hauteur ont tous l'inconvénient de changer de longueur sous l'effet de leur propre poids et de la tension variable qui en résulte - ils ne permettraient pas d'obtenir la précision recherchée. La solution, compliquée, consiste à utiliser un câble ou une chaîne dont on connaît avec précision la loi de dilatation, c'est à dire la longueur réelle en fonction de la tension variable qu'on lui applique et de la longueur variable que l'on déploie.

Quand la longueur de l'ombre projetée devient excessive.

Lorsque le gnomon ou le style atteint de grandes dimensions, l'ombre qu'il projette aux premières et aux dernières heures du jour devient tellement longue, particulièrement au solstice d'hiver, qu'il est déraisonnable d'espérer pourvoir lire l'heure sur la surface horizontale plane qui l'entoure, en se fiant à l'extrémité de ce gnomon. Diverses parades permettent de s'accommoder ou d'éviter cet inconvénient :

- utiliser uniquement la direction de l'ombre sans prendre en compte son extrémité revient à renoncer à mesurer l'heure avec précision au fil des saisons; cette démarche est un peu frustrante pour un gnomoniste, dans la mesure où l'augmentation de la taille du cadran solaire est le plus souvent recherchée justement pour accéder à une meilleure précision et ce, au-delà des bénéfices esthétiques et symboliques de tous ordres que présente un ouvrage de grande ampleur; de plus cette démarche est, par principe, impossible pour les méridiennes des églises basées sur la projection d'une simple tache lumineuse de faibles dimensions, issue d'une petite ouverture pratiquée dans le mur, la coupole ou une fenêtre de l'édifice.
- prolonger la lecture de l'ombre sur une surface verticale au-delà d'une certaine distance du pied du gnomon; les tracés des méridiennes d'églises, effectués sur un sol parfaitement horizontal sont parfois prolongés sur un pilier ou sur un mur, lorsque l'alignement, l'architecture et les besoins du culte l'ont permis.

Dans le cas des méridiennes construites à l'intérieur d'une basilique ou d'une cathédrale, le gnomoniste bénéficie de la grande taille de l'édifice dont le but premier n'est pourtant pas de mesurer l'heure, mais d'exalter la grandeur de Dieu et de réunir de nombreux fidèles. La limite imposée à ces méridiennes hébergées à l'intérieur des édifices religieux vient alors des dimensions des surfaces planes qui vont recevoir le point lumineux, en l'occurrence le pavement de l'église. Cette limite est parfois repoussée par la prolongation du tracé de la ligne ou de l'analemme de la méridienne sur un pilier ou un mur vertical qui se trouve opportunément dans l'axe. Bien heureusement hébergés dans l'église, les travaux du gnomoniste n'auraient sans doute jamais trouvé les fonds nécessaires pour financer des instruments aussi grands et une "chambre noire" encore plus vaste. Dans le cas de l'église Saint-Sulpice de Paris, le gnomoniste Le Monnier n'a pas eu la chance de pouvoir étendre sa méridienne suffisamment. Il a alors conçu et ajouté dans ce but un obélisque "prolongateur" vertical de 10,72 mètres de hauteur pour parachever son ouvrage. (les spécialistes noteront l'analogie de cette démarche avec celle qui poussera, un siècle plus tard, les astronomes à concevoir des lunettes équatoriales coudées).

- se satisfaire de l'utilisation du cadran solaire géant dans un domaine restreint, à savoir pour les seules heures du milieu de la journée et ou pour une saison particulière, voire pour un jour unique; cette approche a été choisie au Mont Saint-Michel. Par un heureux concours de circonstances, les marées d'équinoxe découvrent largement la tanguie où les repères horaires sont ancrés dans le sable, au moment même où les ombres sont d'une longueur moyenne.
- utiliser comme surface de projection de l'ombre une portion de circonférence sur le principe du cadran solaire équatorial; c'est la solution adoptée à Jaïpur où le Samrat Yantra fait appel à une surface projetée sur un cercle de 30 mètres de diamètre.

C'est l'accroissement excessif de la longueur de l'ombre qui explique que l'intérêt des obélisques transformés en cadrans solaires est fortement limité. Il est rare d'avoir la capacité de les ériger au centre d'une place gigantesque où aucune autre construction ne viendra empêcher la lecture de l'ombre dans la partie Nord.

Le diamètre apparent du Soleil

La lumière issue du Soleil n'étant pas issue d'un point mais du disque solaire envoie des rayons qui définissent l'ombre selon plusieurs angles projetant ainsi à l'arrière d'un objet opaque une "ombre" répartie entre ombre et pénombre. Il en résulte que même pour un objet présentant des arêtes vives, l'ombre générée affiche des contours flous. Ainsi, le style du Samrat Yantra constitué de plaques de marbre blanc envoie, à quinze mètres de distance une zone d'ombre et pénombre s'étalant sur plus d'une dizaine de centimètres. En suivant attentivement le mouvement de cette zone qui présente un dégradé allant du blanc au noir, puis au blanc, on peut néanmoins distinguer la variation de l'heure à 2 secondes près. On remarque que le laiton et le marbre qui sont des matériaux appréciés car quasi inaltérables, permettent une gravure excessivement fine des tracés, dont on pourrait finalement se passer même si on garde en mémoire qu'ils étaient traditionnellement utilisés avec profit pour les cadrans de "petite" taille.

A contrario, si l'on peut dire, les jésuites italiens se servirent des méridiennes de grande taille pour déterminer avec précision le diamètre apparent du Soleil dont la valeur fut longtemps incertaine.

Pour se convaincre du phénomène et avoir les ordres de grandeur en tête, on se souviendra que le diamètre apparent du Soleil vu de la Terre est en moyenne d'environ 32' ce qui correspond au diamètre d'un cercle de 5 mm de diamètre situé à 57 cm de l'œil.

La réfraction de l'atmosphère

La réfraction est le changement de direction de la lumière lors de son passage d'un milieu transparent dans un autre. Du fait de la réfraction atmosphérique, les étoiles et le Soleil que nous voyons au travers de l'atmosphère terrestre nous paraissent plus haut dans le ciel qu'ils ne le sont réellement. Le phénomène est d'autant plus accentué lorsque la lumière doit traverser une couche dense ou épaisse de l'atmosphère, ce qui se produit pour la lumière du Soleil de manière très significative aux premières heures du matin et du soir. Par suite de la réfraction, le Soleil dont le diamètre apparent est de l'ordre de 32' aura, pour un observateur, son disque aplati de 1/5 au moment de son lever et de son coucher, ce qu'il est facile de constater soi-même. Corriger un cadran solaire pour tenir compte de la réfraction atmosphérique est théoriquement possible mais fort complexe, voire fastidieux. En effet, la correction doit tenir compte de la latitude et de l'altitude du lieu d'observation qui déterminent l'épaisseur de la couche atmosphérique que la lumière traverse. Ensuite, dans une moindre mesure, la correction dépend aussi de la densité de l'atmosphère et donc par exemple de l'humidité ambiante, enfin, il faut ajouter que l'ampleur de la correction est différente à chaque heure du jour. On notera au passage que la réfraction atmosphérique, à elle seule, nous empêche encore aujourd'hui de déterminer l'heure du lever ou du coucher du Soleil avec une précision meilleure que la minute, et ce, quelque soit l'instrument utilisé !

La parallaxe

Lorsque l'on observe le Soleil, on est situé nécessairement à la surface de la Terre. Mais ce poste d'observation ne coïncide pas avec le centre de la Terre qui est aussi le point de référence de la trajectoire de la Terre autour du Soleil. De ce fait, bien que la Terre soit petite par rapport à la distance Terre - Soleil, toute observation est faite avec une erreur angulaire appelée parallaxe en moyenne de l'ordre de 9" d'arc. [Arctan (6.375/150.000.000)]

Pour atteindre une précision élevée, la correction de l'effet de la parallaxe est indispensable

aux observations astronomiques, même si pour l'obtention de l'heure précise le phénomène peut être généralement négligé.

Les effets de la réfraction et de la parallaxe exigent des corrections de sens opposés et d'amplitudes différentes. Démêler leurs impacts sur les observations et les corriger est une vraie difficulté.

La diffraction

Lorsque l'on utilise une source lumineuse très fine comme celle qui résulte du passage de la lumière du Soleil au travers d'une fente étroite ou d'un trou de faible diamètre, le contour de l'ombre portée par un corps opaque n'est pas net, mais bordé de franges, c'est à dire de bandes alternativement sombres et brillantes. Ce fait rapporté par Grimaldi, montre que la lumière ne se propage pas en ligne droite, mais s'infléchit en rasant le contour des corps. La diffraction limite les possibilités des meilleurs instruments d'optique d'autant plus que l'ouverture laissée à la lumière est plus petite. Après avoir découvert ce phénomène, les gnomonistes ont réussi à trouver un compromis entre la précision exigeant un pinceau de lumière fin et le besoin de s'affranchir du phénomène de diffraction en utilisant une ouverture plus large qui fournit une tache de lumière plus étendue.

La stabilité de l'édifice au fil des années

A Florence, dans la cathédrale, les architectes et les ingénieurs chargés de l'entretien se référaient à la méridienne pour évaluer la stabilité de l'édifice tandis que les astronomes se référaient à cette même méridienne pour mesurer la variation de l'obliquité de l'écliptique (le changement de direction de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite autour du Soleil). Il semblerait que faute de pouvoir départager l'influence des deux phénomènes, la solution ait consisté pour les gnomonistes à abandonner pour un temps le Duomo de Florence. Au XV^{ème} siècle ils reviennent donc à des églises et des méridiennes plus petites et donc plus stables. Par la suite, la Cathédrale fut cependant réutilisée par Leonardo Ximenes au XVIII^{ème} siècle.

A Bologne, à Paris et en d'autres lieux, les gnomonistes ont soupçonné à de nombreuses reprises, à tort ou à raison, que la fenêtre ou le châssis supportant l'orifice de la méridienne avait bougé au cours des ans : à une hauteur de 20 à 25 mètres, quelques centimètres de déplacement suffisaient à compromettre l'exactitude de tous leurs résultats astronomiques et à fausser la lecture de l'heure.

A Rome, soixante-dix ans après son installation, on avait constaté que l'obélisque d'Auguste qui avait été installé comme cadran solaire en l'an 10 avant J.C., fournissait des indications incorrectes. Pline l'Ancien rapporte que l'on supposait que l'obélisque avait été légèrement déplacé par un tremblement de terre (Pline. NH xxxvi.73).

Le tremblement de l'ombre

Si l'atmosphère n'est pas parfaitement calme, l'image de l'ombre ou la tache de lumière tremblote, même en cas de ciel dégagé. Les raisons pour lesquelles il arrive que l'air qui environne le cadran ne soit pas calme sont très variées; il peut s'agir, entre autres, d'un réchauffement du sol sous l'effet du soleil qui fait monter des mini tourbillons d'air chaud tout autour du cadran.

L'ombre peut trembler également parce que le style lui même tremble; le cadran de grandes dimensions est, en effet, soumis aux sollicitations du vent ou bien à des vibrations transmises par le sol et amplifiées par la grande taille du style et de la structure qui le supporte. Contrairement aux montures des lunettes et télescopes, cadran solaires ou murs d'églises ne prévoient généralement pas de se prémunir contre ce type de vibrations.

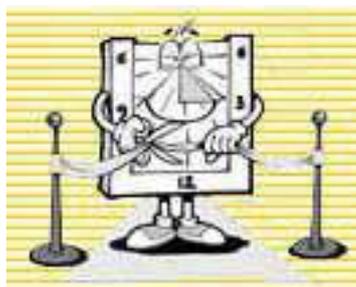
Il est intéressant de constater que beaucoup des contraintes que nous avons évoquées sont communes avec les facteurs qui ont limité aussi l'évolution de la taille des lunettes et des télescopes. Toutefois, les cadrans solaires ont des avantages. Du fait de leur absence de lentilles et de miroirs, ils s'affranchissent des difficultés liées aux systèmes optiques. Le gnomoniste n'a pas à se soucier de la fabrication de blocs de verre homogènes de grandes dimensions, ni de leur polissage parfait (aberration sphérique), ni de l'aberration chromatique des lentilles (composition du verre), ni des déformations dues à l'instabilité mécanique et thermique des miroirs. Qui plus est, le gnomoniste, astronome diurne et chanceux, n'a pas à pâtir de la pollution lumineuse, ni de la pollution atmosphérique, qui interdisent à leurs collègues de la nuit de réaliser des observations pointues.

Recherchés pour la précision de leurs indications, les cadrans solaires les plus grands parviennent, par diverses méthodes, à nous fournir l'heure solaire vraie à 2 secondes près. Pour le partage du temps en intervalles très brefs et pour restituer et lire ce découpage, nous sommes obligés de constater que la course à la précision fut remportée par les montres, horloges et chronomètres de marine. Pourtant, les cadrans solaires ne sont pas sujets à dérèglements et sont d'une fidélité totale. Souvenons nous que pour fournir l'heure vraie, le soleil et les cadrans seront toujours les maîtres du temps et l'heure solaire vraie restera toujours la référence universelle.

Qu'ils prennent la forme de méridiennes ou de viseurs d'étoiles, les cadrans solaires géants ont aussi permis de faire avancer l'astronomie, par exemple en mesurant avec grande précision l'obliquité de l'écliptique ou le diamètre apparent du Soleil. Ils ont aussi contribué à diffuser, voire imposer en douceur, l'héliocentrisme c'est à dire le fait que la Terre tournait vraiment autour du Soleil.

Il faut remarquer que la grande majorité des cadrans géants, obélisques et méridiennes d'églises atteignent une hauteur de 25 mètres environ, soit la hauteur respectable des 8 étages d'un immeuble moderne. Il apparaît que cette hauteur est suffisante pour obtenir une précision remarquable et qu'au delà, on commence vraiment à se heurter aux multiples limites décrites plus haut dans cette article.

Affirmant parfois la magnificence de leurs protecteurs et profitant de la démesure de leurs inventeurs et laudateurs, ces cadrans témoignent d'un mélange original d'ingéniosité, de rigueur scientifique et de qualités esthétiques que peu d'inventions humaines peuvent réunir avec autant de grâce.



Panorama des limites à l'accroissement de la taille des cadrans solaires

Facteur limitatif	Remède ou parade
Rotondité de la Terre	Pas nécessaire, facteur négligeable
Horizontalité et planéité de la table	Rigole remplie d'eau
Verticalité du gnomon / inclinaison du style	Fil à plomb amorti
Mesure de la hauteur du gnomon / inclinaison	Câble ou chaîne dont la loi de dilatation en

du style	fonction de la tension et de la longueur est connue
Longueur excessive de l'ombre	- Prolongation de la lecture sur une verticale - Projection de l'ombre sur un arc de cercle
Diamètre apparent du Soleil	Pas de solution
Parallaxe	Peu influent sur la détermination de l'heure
Réfraction de l'atmosphère	Placer le cadran solaire sur la Lune ?
Diffraction	Calibrer l'orifice avec soin, ni trop grand, ni trop petit (2 à 4 cm environ)
Stabilité de l'édifice	Construction solide et antisismique
Conditions climatiques : air chaud, vent	Attendre des jours meilleurs, placer le cadran solaire sur la Lune ?

Pour en savoir plus

"The sun in the church" "Astronomie et églises" par John L. Heilbron - Belin Pour la Science

"Cosmic architecture in India" par Andreas Volwahren - Prestel Mapin

Jai Sing II dans LE GNOMONISTE, Vol 9 No 4, décembre 2002

"Cadrans solaires de Paris" par Andrée Gotteland - Editions du CNRS

la Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France-
<http://www2.iap.fr/saf/accueil.html>

"Les cadrans Solaires" René R.J. Rohr - Oberlin

"A topographical dictionary of ancient Rome" par Samuel Ball Platner / Thomas Ashby - Oxford University Press

<http://www.egipto.com/obeliscos/obeliskindexes.html>

Michael W. Davidson and The Florida State University - National high magnetic field laboratory
<http://www.magnet.fsu.edu/>

NASA <http://www.nasa.gov>

L'auteur :

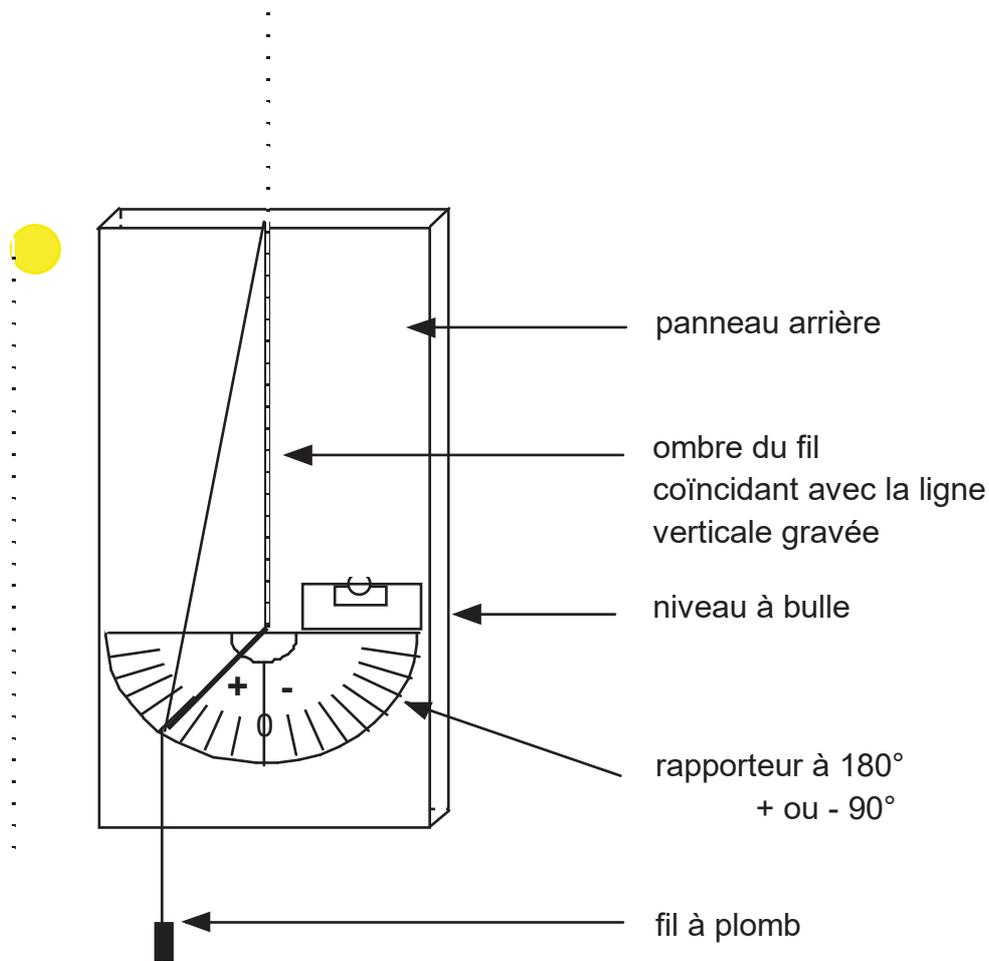


Pierre Gojat né en 1957 à Paris, Pierre Gojat a reçu une formation d'Ingénieur mécanicien et électricien. Passionné de gnomonique, il recueille au cours de ses voyages de nombreuses photographies de cadrans solaires et collectionne les ouvrages traitant du sujet. Il a passé vingt ans à travailler dans le domaine de l'aéronautique et se dédie aujourd'hui aux activités marketing d'un grand opérateur de télécommunications. Il est aussi, de temps à autre, créateur de ses propres cadrans solaires.

**APPAREIL servant à mesurer LA DECLINAISON
D'UN MUR VERTICAL (G. LABROSSE)**

Description

Le fil tendu par un poids prend appui sur le pourtour du rapporteur.
Le point de contact permet de lire un angle positif ou négatif. Le zéro est au milieu du rapporteur.



Principe

Il suffit de faire coïncider l'ombre supérieure du fil à plomb avec la ligne verticale gravée sur le panneau arrière.

À ce moment là, noter simultanément l'heure exacte de la montre et la mesure de l'angle.

Différentes mesures sont souhaitables dans la même journée afin de gagner en précision pour les calculs. Toutes les informations sont notées dans un tableau récapitulatif.

Calculs à effectuer

Paramètres à connaître

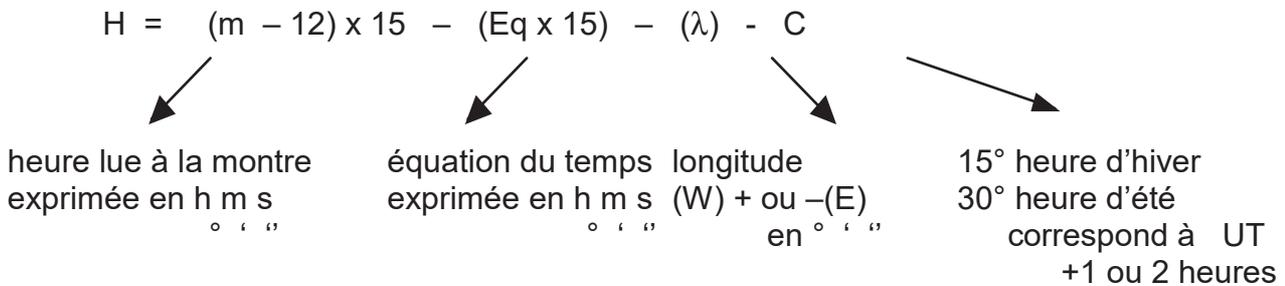
- Position géographique du lieu des observations
 Φ (phi) latitude et λ (lambda) longitude
- Ephémérides du jour
 δ (delta) déclinaison du soleil
 Eq Equation du temps

Exemple

Φ : 46° Nord
 λ : -4°23'

δ = -4°15' au 09/03/04
 Eq = 10 m 26 s

Calcul de H (angle horaire du soleil)



Calcul de A_z (azimut du soleil, position angulaire du soleil par rapport au méridien local exprimé positivement à l'Ouest et négativement à l'Est)

$$A_z = \tan^{-1}(\sin H / ((\sin \Phi \cos H) - (\cos \Phi \tan \delta))) \quad [\text{application calculatrice}]$$

ou

$$\tan A_z = \frac{\sin H}{\sin \Phi \cos H - \cos \Phi \tan \delta} \quad , \sin A_z \text{ même signe que } \sin H (\pm 180^\circ)$$

si nécessaire au résultat A_z)

Formule générale de la déclinaison du mur

$$D = A_z - \text{angle lu}$$

Les angles sont en valeurs algébriques

Ex : Si $A_z = -32^\circ$ et angle lu = -40° on a : $-20 < -15 ; -20 < 10$
 $-32 - (-40) = -32 + 40 = 8$ **donc D = 8°** $-20 > -30 ; 20 < 30$

Exemple d'un tableau de notation des résultats

Les calculs ont été effectués avec les données de l'exemple page 2

OBSERVATIONS			Résultats des calculs	
date	heure lue à la montre (m)	valeur de l'angle sur le rapporteur	H	Az
09/03	9 h 05 min	-52°	$-56,975^\circ$	$-62,114^\circ$
	10 h 38 min	-31°	$-33,725^\circ$	$-40,507^\circ$
	13 h 02 min	13°	$2,275^\circ$	$2,95^\circ$
	16 h 28 min	$69,4^\circ$	$53,775^\circ$	$59,42^\circ$
	17 h 30 min	82°	$69,275^\circ$	$71,87^\circ$

Interprétation du tableau

$$D = Az - \text{angle lu}$$

date	D (°)	Az (°)	angle lu (°)
09/03	-10,114	-62,114	-52
	-9,50	-40,507	-31
	-10,05	2,95	13
	-9,98	59,42	69,4
	-10,13	71,87	82

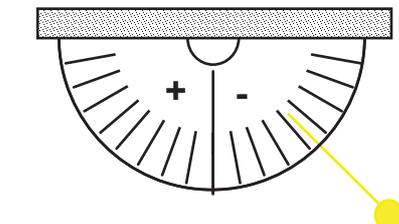
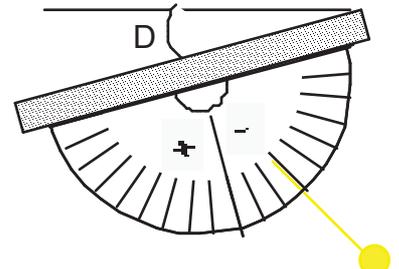
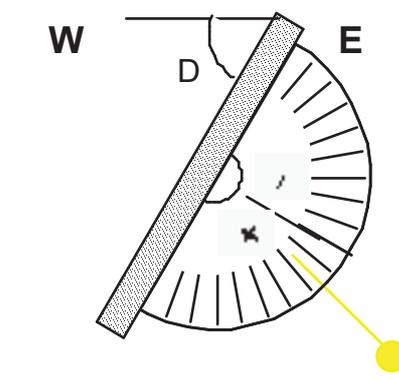
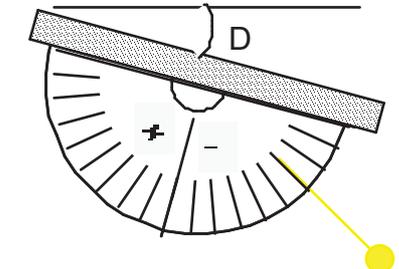
moyenne $-9,95^\circ$

➔ La déclinaison du mur est proche de 10° Est

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

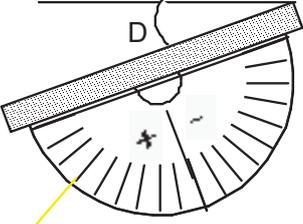
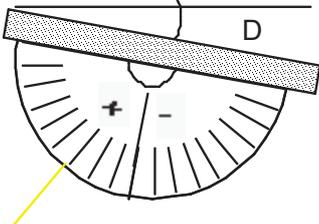
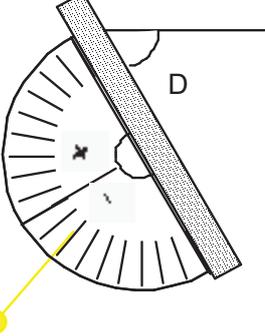
$A_z < 0$ et angles lus > 0 ou < 0

$A_z = -45^\circ$

<p>1- $A_z = \text{angle lu} = -45^\circ$ $D = -45 - (-45) = -45 + 45 = 0$</p> <p>D = 0°, mur plein Sud cadran méridional</p>	<p>W E</p> <p>Azimut Soleil : -45°</p> 
<p>2- $A_z < \text{angle lu}$ et $\text{angle lu} < 0$ $-45 < -30$ $-45 - (-30) = -45 + 30 = -15$</p> <p>D = -15°, déclinaison du mur : 15° Est cadran déclinant du matin</p>	<p>W E</p> 
<p>3- $A_z < \text{angle lu}$ et $\text{angle lu} > 0$ $-45 < 15$ $-45 - (+15) = -45 - 15 = -60$</p> <p>D = -60°, déclinaison 60° Est</p>	<p>W E</p> 
<p>4- $A_z > \text{angle lu}$ et $\text{angle lu} < 0$ $-45 > -60$ $-45 - (-60) = -45 + 60 = 15$</p> <p>D = 15°, déclinaison 15° Ouest cadran déclinant de l'après-midi</p>	<p>W E</p> 

$A_z > 0$ et angles lus > 0 ou < 0

$A_z = 40^\circ$

<p>5- $A_z < \text{angle lu}$</p> <p>$40 < 60$ $40 - 60 = -20$</p> <p>$D = -20^\circ$ mur déclinant Est de 20°</p>	
<p>6- $A_z > \text{angle lu}$</p> <p>$40 > 30$ $40 - 30 = 10$</p> <p>$D = 10^\circ$, mur déclinant Ouest de 10°</p>	
<p>7- $A_z > \text{angle lu}$ et $\text{angle lu} < 0$</p> <p>$40 > -20$ $40 - (-20) = 40 + 20 = 60$</p> <p>$D = 60^\circ$, mur déclinant Ouest de 60°</p>	

DECLINAISON D'UN MUR VERTICAL par la méthode de DIFFERENCE DES AZIMUTS (G. LABROSSE)

	degrés	minute	seconde	décimale
Latitude Φ	0	0	-10	-0,0028
Longitude λ	0	0	-10	-0,0028
Déclinaison du soleil δ	0	0	-10	-0,00278

sin	cos	tan
-5E-05	1	-5E-05
-5E-05	1	-5E-05
-5E-05	1	-5E-05

Ephémérides à la date du :	09:03:04				conv degrés	conv radians
Equation du temps	0	0	20	0,00556	0,08333	0,00145
Ajout d'1 ou 2 heures	1				15	0,2618

valeur des angles lus sur le rapporteur	Heure de la montre				H calculé	Azimut du Soleil			
	heures	minute	seconde	décimale		Degrés déc	En radians		
-52	9	5	0	9,0833	-58,8306	-89,9984	0	0	
							89,998	1,5708	
-31	10	38	0	10,6333	-35,5806	-89,9991	0	0	
							89,999	1,5708	
13	13	2	0	13,0333	0,4194	89,99999	0	0	
							90	1,5708	
69,4	16	28	0	16,4667	51,9194	89,99865	0	0	
							89,9986	1,57077	
82	17	30	0	17,5000	67,4194	89,99815	0	0	
							89,9981	1,57076	

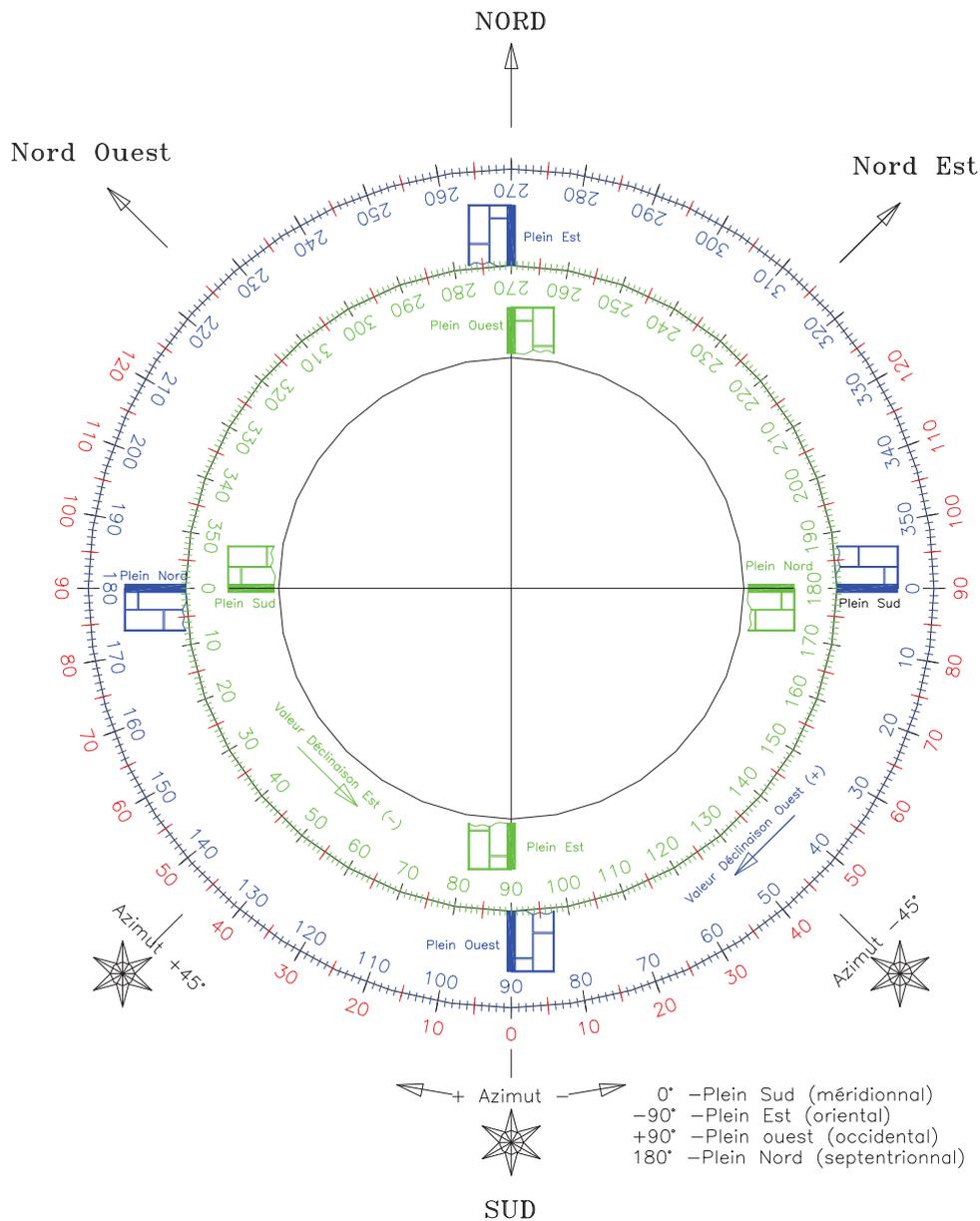
Déclinaison du mur moyenne **1,71985**

-37,99843383	sin	cos	tan
	-0,8556	0,51757	-1,6532
-58,99910867	-0,5818	0,8133	-0,7154
76,99998983	0,00732	0,99997	0,00732
20,5986476	0,78714	0,61677	1,27624
7,998146771	0,92334	0,38398	2,40465

Commentaires obtenus en pointant sur le triangle rouge

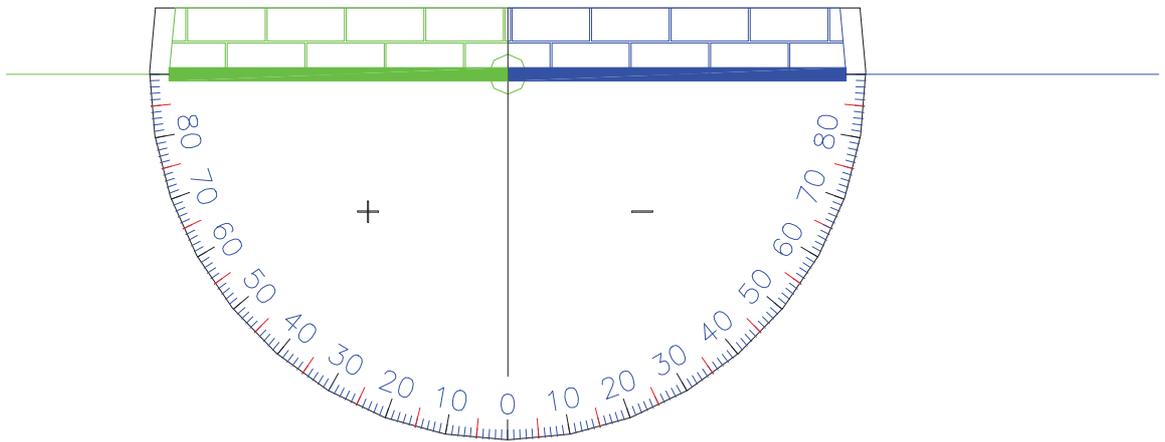
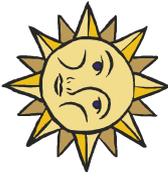
Lorsque q'une valeur est négative, le signe - est renseigné dans la colonne la plus à gauche de la valeur non nulle (donc une seule fois, à la première, deuxième ou troisième colonne)
 Si le nombre de relevés est inférieur à 5, modifier alors la formule de la cellule E38.
 Par exemple si 3 relevés, on écrira :
 =moyenne(B40:B44)
 Ne jamais inscrire une déclinaison =0; (Inscrire par ex: 0 0 -1 ou 0 0 1)

Vérification de la cohérence des résultats avec ce montage papier:



D = Azimut du soleil - angle lu sur le rapporteur en valeur algébrique (+ ou -)

Eléments à découper et à positionner sur le support de la page précédente:



Suivez la lumière:

Quelques photos de la réalisation de G. Labrosse pour marquer le solstice d'été au midi vrai à Briennon dans la Loire: l'illumination d'une reproduction du cadran de la cathédrale de Chartres.



Il est bien midi au soleil !!! ▶

Cadrans de hauteur à lignes rectilignes (Y. Massé)

Les cadrans de hauteur à lignes horaires rectilignes sont constitués d'une table comprenant:

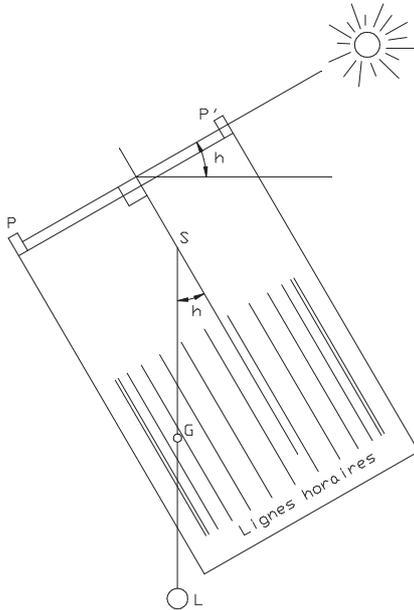


Fig 1: Cadran de hauteur à lignes horaires rectilignes

- Des lignes horaires parallèles et rectilignes
- Deux pinnules P et P' dont l'axe de visée est perpendiculaire aux lignes horaires

Le principe de l'utilisation de ces cadrans consiste à laisser pendre, d'un point S défini pour la date et éventuellement la latitude du lieu de l'observation, un fil muni d'un lest L et d'une perle coulissante G. La distance de S à G est à régler avant l'observation. Quand la table du cadran est verticale et le soleil dans l'alignement des pinnules, la position de G sur les lignes horaires donne l'heure solaire.

Remarquons tout de suite que, lorsque le cadran pointe ainsi l'astre du jour, la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon se retrouve, par définition, entre le fil et la direction des lignes horaires.

Les plus anciennes réalisations connues de ce type de cadran remontent au XIV^e siècle et se présentent sous la forme d'un navire auquel on a donné le nom de *Navicula de venetiis*. Ce cadran est Universel car il peut être réglé pour fonctionner sous différentes latitudes mais il ne donne pas rigoureusement l'heure solaire à moins d'introduire, après lecture, une correction en fonction de la déclinaison du soleil et de l'heure lue.

C'est Regiomontanus, astronome Allemand, qui donna vers 1474, sans doute à partir d'écrits plus anciens mais inconnus à ce jour, la première description mathématiquement juste d'un cadran assez similaire à la *Navicula de venetiis* et auquel on a donné le nom d'*Universel de Regiomontanus* (Fig. 2).

Au début des années 1530 apparut (ou réapparut ?) la description d'un autre cadran de ce type mais ne fonctionnant que pour une latitude donnée, on lui donna le nom de *Capucin* en raison de la ressemblance des lignes horaires, limitées à leur partie utile par deux arcs de cercle, au capuchon d'un moine (Fig. 3).

Un autre type de cadran universel dérivant du *Capucin* fut décrit en 1533 par Peter Apian dans son livre *Instrument Buch*. Par les mystères de l'histoire ce cadran resta quelque peu oublié.

Il fallut attendre jusqu'en 1674 pour que Millet Deschalles donne une démonstration par la géométrie du principe de l'Universel de Regiomontanus, démonstration par ailleurs assez complexe.

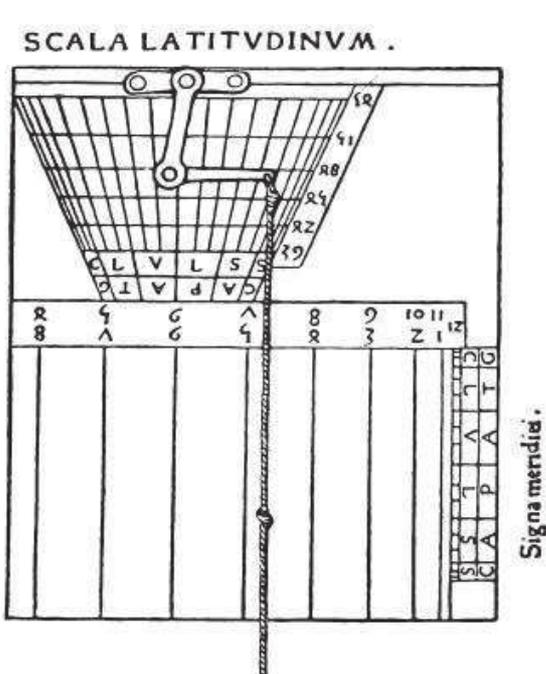


Fig. 1: L'Universel de Régiomontanus. Le fil est suspendu à l'intersection des lignes horizontales de latitude et des lignes inclinées de déclinaison. En tirant sur le fil, on règle la perle, ou ici le noeud, sur l'échelle latérale des déclinaisons.

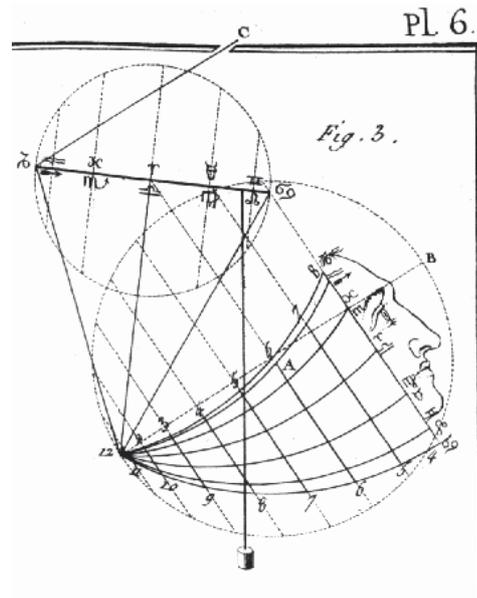
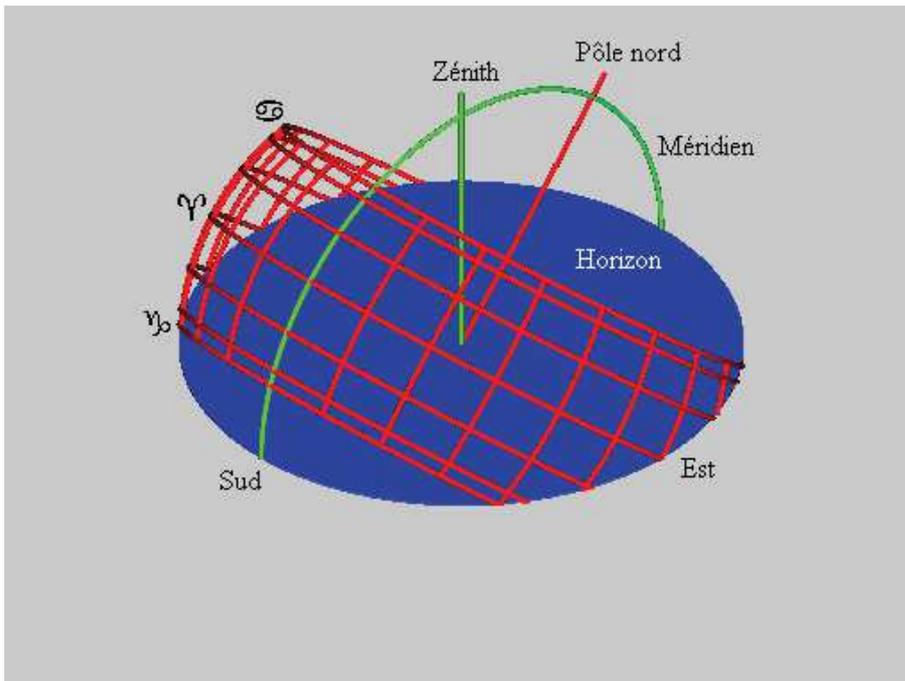


Fig. 2: le Capucin. Le point de suspension du fil se règle sur une échelle de date. La perle qui doit se régler sur le point 12 est remplacée ici par un ensemble d'arcs de cercle.

En 1819, dans son Histoire de l'astronomie du moyen âge, Delambre voit dans la complexité de cette démonstration ainsi que dans son absence des traités plus anciens la preuve que l'invention de ce cadran soit "étrangère à l'Europe et nous ne voyons que les Arabes à qui nous puissions en faire l'honneur". Il donne alors sa propre démonstration par la trigonométrie plane ce qui sera pour longtemps le seul moyen utilisé par d'autres auteurs pour expliquer la validité de ce cadran.

Dans une publication de 1957, A. W. Fuller s'efforça de donner une démonstration géométrique simple pour retrouver le cheminement parcouru par les inventeurs de l'Universel de Regiomontanus. Il avança une hypothèse intéressante voyant dans le fil lesté avec sa perle le rayon d'un cercle et dans la table du cadran les différentes positions de son centre.

C'est cette hypothèse que nous allons exploiter dans la démonstration suivante mais, à l'inverse de Fuller et bien que partant de ses données initiales, nous expliquerons non pas l'Universel de Regiomontanus mais le Capucin puis l'Universel d'Apian. Ensuite, en partant d'un point de vue différent, nous aboutirons par un raisonnement similaire à l'Universel de Regiomontanus. Pour terminer, ajoutons que les démonstrations proposées se veulent avant tout explicites, quitte à sacrifier si nécessaire à la rigueur mathématique.



La figure 4 montre la sphère céleste pour une latitude donnée telle qu'on a l'habitude de l'imaginer en gnomonique.

Fig. 3: La sphère céleste avec ses cercles horaires et de déclinaison

En projetant tous les cercles de la sphère perpendiculairement sur le plan du méridien on obtient la figure 5 encore appelée *Analemme de Ptolémée*. L'analemme doit être disposé en fonction de la latitude, puis, de la déclinaison et de l'heure solaire, on peut déterminer la position du soleil pour finalement déterminer sa hauteur au dessus de l'horizon.

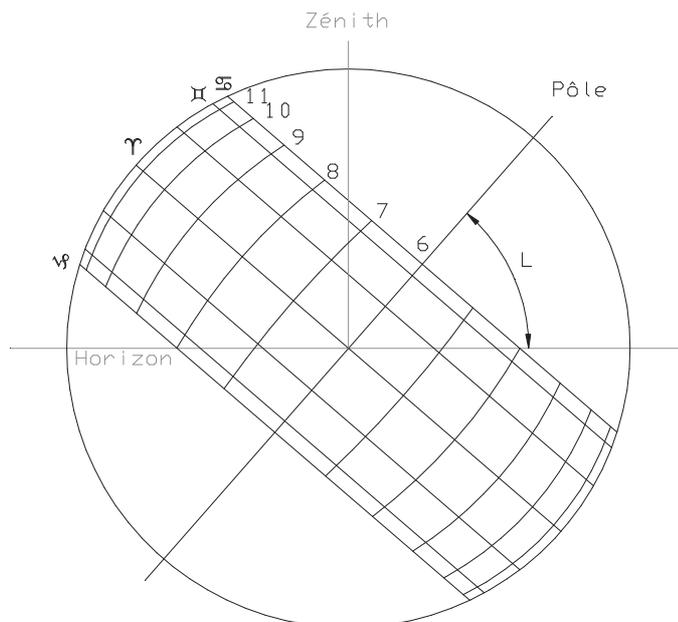


Fig. 4: L'analemme de Ptolémée. Le méridien devient le grand cercle principal, les cercles de déclinaison deviennent des segments de droite et les cercles horaires deviennent des portions d'ellipse.

Décomposons sur la figure 6 toutes les étapes conduisant à obtenir la hauteur du soleil en fonction de:

- La latitude L
- La déclinaison du soleil
- Son angle horaire Ah

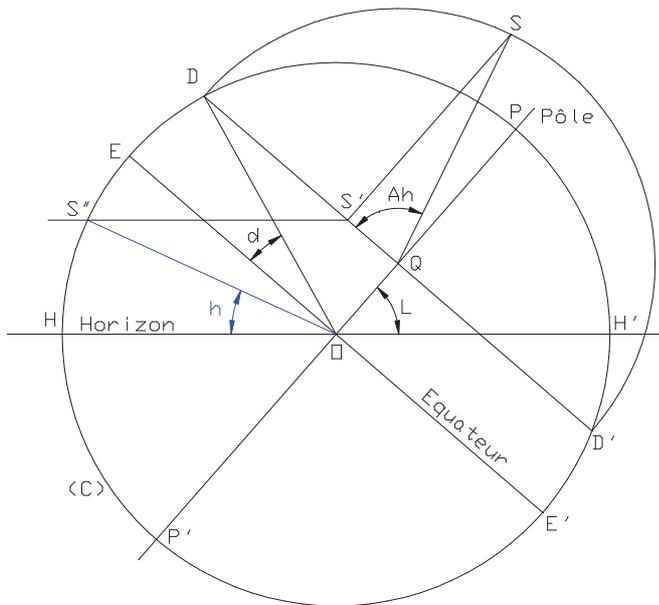


Fig. 5

- Du centre O traçons le cercle (C) correspondant au méridien
- Par O traçons l'horizon HH'
- Par O traçons l'axe des pôles PP' faisant avec l'horizon l'angle L de la latitude
- Perpendiculairement à l'axe des pôles traçons l'équateur EE'
- Traçons le rayon OD faisant avec l'équateur l'angle de déclinaison du soleil d
- Traçons parallèlement à l'équateur la corde DD' correspondante à la trace du cercle de déclinaison
- Du centre Q traçons le demi-cercle DSD' correspondant au rabattement du cercle de déclinaison
- Traçons le rayon QS faisant avec QD l'angle horaire Ah du soleil
- Abaissons S perpendiculairement à DD' pour obtenir la position du soleil S'

- Reportons la distance de S' à l'horizon sur le cercle en traçant l'horizontale S'S''
- Traçons le rayon OS''. L'angle de la hauteur du soleil correspond à HOS''

Cela faisant nous avons en grande partie tracé les lignes du Capucin. En effet, complétons la figure en traçant les horizontales S'S'' correspondantes à toutes les heures solaires entières et, pour retrouver une orientation plus familière, faisons tourner l'ensemble de 90° . Nous obtenons la figure 7 sur laquelle on peut associer:

- ◆ Au point O le point de suspension du fil
- ◆ Au Point S'' la perle coulissante
- ◆ Aux différentes horizontales (maintenant verticales) les lignes horaires rectilignes qui sont écartées de la ligne de 6 h proportionnellement au cosinus de Ah

Pour faire l'inverse, c'est-à-dire à partir des lignes horaires rectilignes retrouver le centre et le rayon du cercle méridien, il faut, à partir du point Q situé sur la ligne centrale de 6 h:

- ◆ Tracer, en fonction de la latitude et perpendiculairement entre eux, l'axe des pôles PP' ainsi que la droite QD, D étant situé sur la ligne horaire de 12 h
- ◆ De D, en fonction de la déclinaison du soleil, tracer la droite DO donnant le centre O et le rayon OD

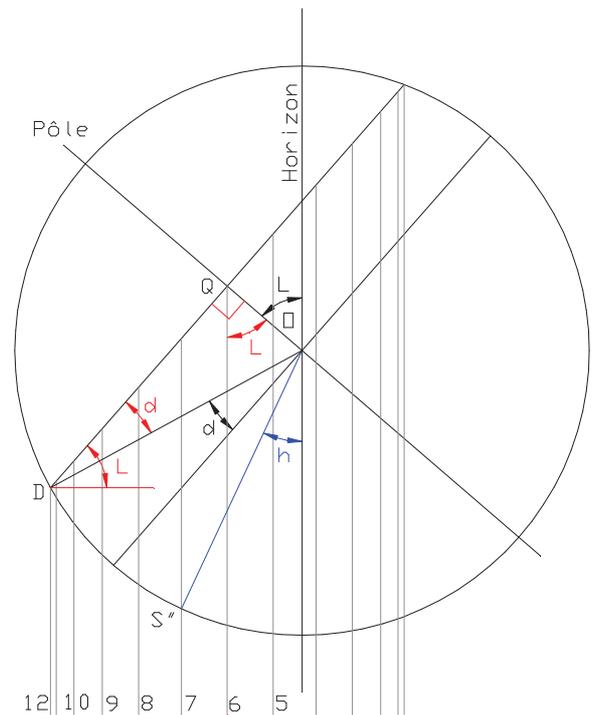


Fig. 6

C'est de ce centre qu'il faut suspendre le fil lesté et, avant d'utiliser le cadran, aligner le fil sur la droite OD et régler la perle coulissante sur le point D.

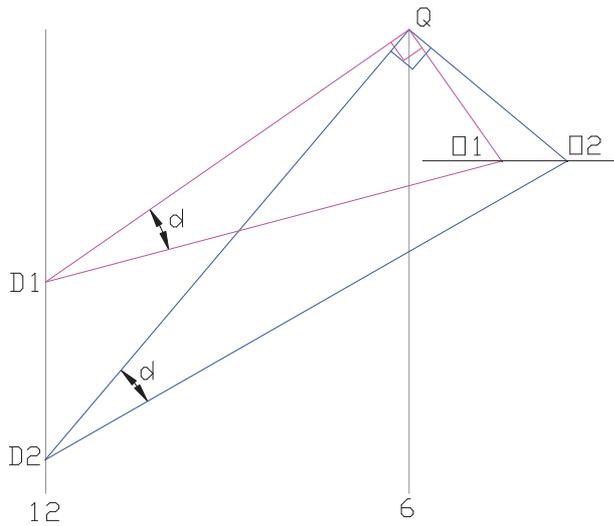


Fig. 7

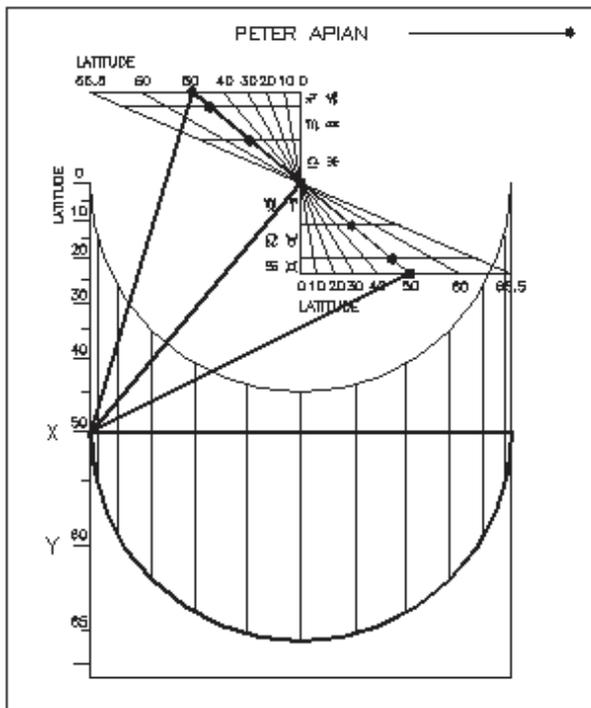


Fig. 9: L'Universel d'Apian. Le point de fixation du fil est dans le "papillon" supérieur à l'intersection des lignes inclinées de latitude (image des différents axes polaires) et des lignes horizontales de déclinaison. La perle se règle sur l'échelle latérale des latitudes (figure de Fer J. de Vries).

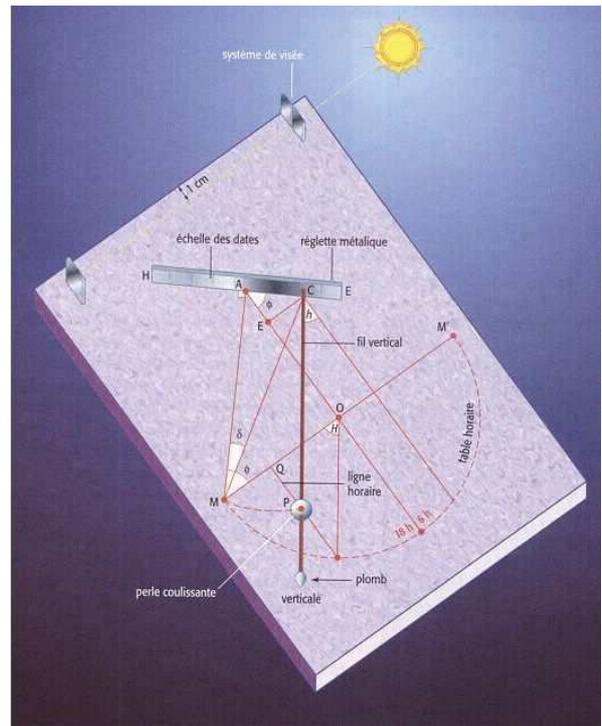


Fig. 8: Le capucin. On peut reconnaître dans l'échelle des dates l'axe des pôles, dans le point C le centre du cercle méridien, dans la longueur MC son rayon et dans le segment AM la trace du cercle de déclinaison (figure extraite du livre Les Cadran Solaires de D. Savoie).

En répétant l'opération précédente pour plusieurs latitudes, le passage à l'Universel d'Apian vient alors naturellement. Mais regardons d'abord sur la figure 8 ce qui se passe pour seulement 2 latitudes.

Du point Q et pour la latitude L1, retrouvons le centre O1 du cercle méridien à l'aide du triangle QD1O1. De même pour la latitude L2 traçons le triangle QD2O2 pour obtenir le centre O2. Intéressons nous à présent au triangle QD1D2 et remarquons que:

- ◆ L'angle O1QO2 est égal à l'angle D1QD2
- ◆ Les triangles QD1O1 et QD2O2 sont semblables donc QO1 est à QD1 ce que QO2 est à QD2

Par conséquent les triangles QD1D2 et QO1O2 sont donc semblables et comme la similitude est directe et d'angle droit, la droite O1O2 est donc perpendiculaire à la ligne de midi. Par extension, tous les centres O que nous obtiendrons pour des latitudes différentes mais pour la même déclinaison d seront situés sur cette droite.

Nous pouvons à présent mieux comprendre la forme de l'Universel d'Apian présenté à la figure 10.

Comparons maintenant les Universels d'Apian et de Regiomontanus (fig. 2) en s'intéressant au différentes échelles qui permettent de définir le point de fixation du fil et la position de la perle.

	<i>Echelle latérale</i>	<i>Lignes obliques</i>	<i>Lignes horizontales</i>
Universel d'Apian	Latitude	Latitude	Déclinaison
Universel de Regiomontanus	Déclinaison	Déclinaison	Latitude

Il apparaît nettement qu'il existe une dualité entre la déclinaison et la latitude. On peut par ailleurs retrouver cette dualité dans la formule de la hauteur h du soleil qui s'écrit:

$$\sin h = \sin d \cdot \sin L + \cos d \cdot \cos L \cdot \cos Ah$$

Dans cette formule, la déclinaison et la latitude sont utilisées aux mêmes endroits et avec les mêmes fonctions trigonométriques. On peut donc remplacer la déclinaison par la latitude et inversement ce qui nous permettrait de passer naturellement de l'Universel d'Apian à celui de Regiomontanus. Mais préférons l'approche géométrique suivante, similaire à la première mais partant d'un autre point de vue: nous avons considéré le soleil vu de la terre, considérons à présent la terre vue du soleil.

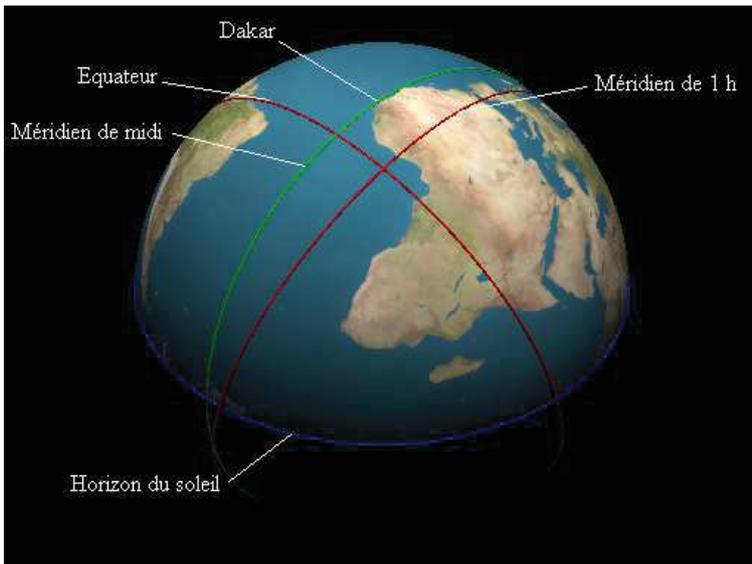


Fig. 10: La terre éclairée par le soleil

Le cercle bleu appelé horizon du soleil sépare le monde de la lumière de celui des ténèbres. En tout lieu sur ce cercle, le soleil est vu sur l'horizon. Comme le montre la figure 12, en tout point du monde éclairé, l'angle de la hauteur du soleil correspond à l'angle, vu du centre de la terre, du lieu considéré au plan de l'horizon du soleil.

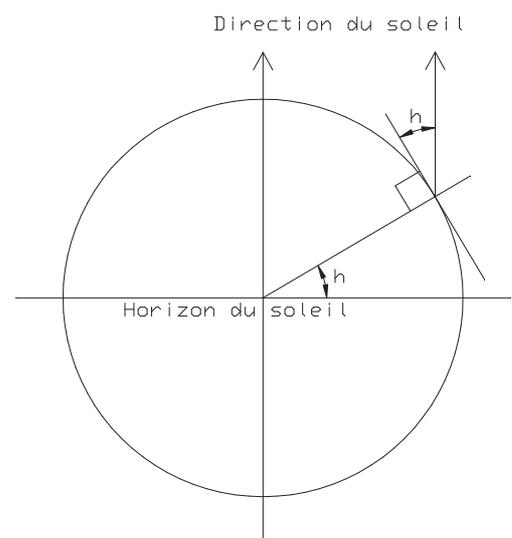


Fig. 11: Vue en coupe de la terre. La coupe passe par le pied du soleil et le lieu considéré.

Représentons à présent, figure 13, la terre par tous ses cercles parallèles et méridiens.

Ces derniers, régulièrement espacés tous les 15°, peuvent être gradués en heure solaire comme nous l'avons vu ci-dessus. Convenons alors d'appeler *angle horaire terrestre* l'angle qui sépare un méridien donné du méridien de midi.

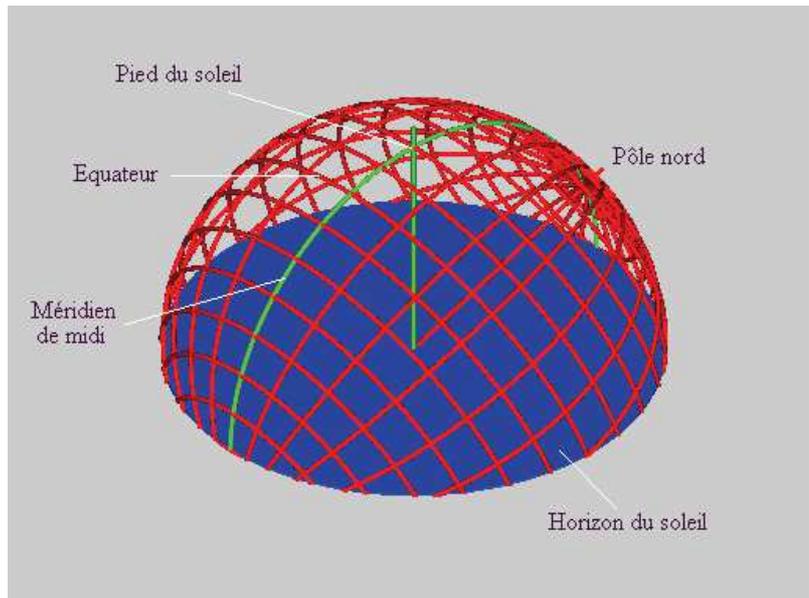


Fig. 12: La terre avec tous ses parallèles et méridiens

Projetons maintenant tous les cercles perpendiculairement sur le plan du méridien de midi, nous obtenons la figure 14.

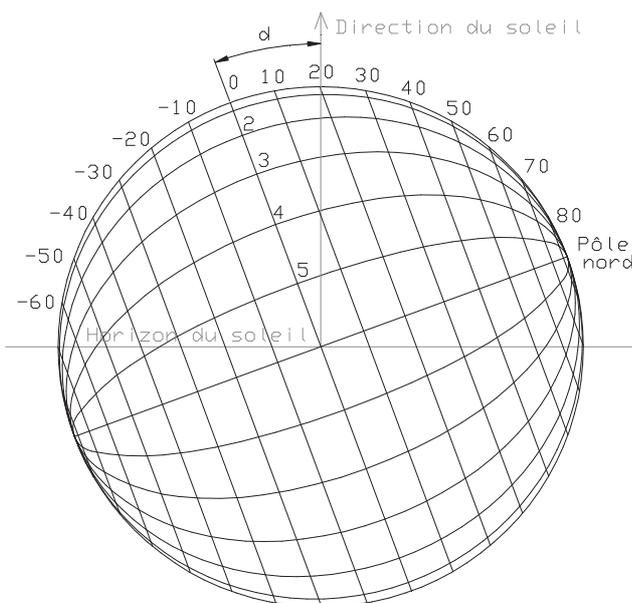


Fig. 13: Le méridien de midi est le grand cercle principal. Les cercles des parallèles deviennent des segments de droite. d est la déclinaison du soleil.

Cette projection, équivalente à l'analemme de Ptolémée, doit être disposée en fonction de la déclinaison du soleil. On peut alors voir d'un coup d'oeil la durée du jour et de la nuit en fonction du parallèle où l'on se situe. Suivant l'heure solaire, à laquelle on fait correspondre un méridien, on peut retrouver l'angle de hauteur du soleil.

Pour retrouver l'analemme de Ptolémée il suffit de remplacer l'angle de la déclinaison par celui de la latitude et les segments des parallèles par ceux des déclinaisons. En récapitulant, ce que nous avons proposé au départ comme une astuce mathématique (la permutation de L et d) prend ici une réalité physique et bien que ce point de vue ne soit pas familier au gnomoniste il n'était pas ignoré des cartographes, au moins depuis Ptolémée qui avait découpé le monde en latitudes et longitudes.

N'en doutons plus maintenant, à partir de ce point de vue et en reprenant les étapes de la démonstration précédente nous aboutirons avec la même facilité à l'Universel de Regiomontanus en passant par un cadran particulier, n'ayant à vrai dire peu d'intérêt, qui donne l'heure, pour une déclinaison particulière, en fonction de la latitude.

Retraçons pour le plaisir les figures 15 et 16 qui nous donneront les différents angles à utiliser pour la construction de l'Universel de Regiomontanus.

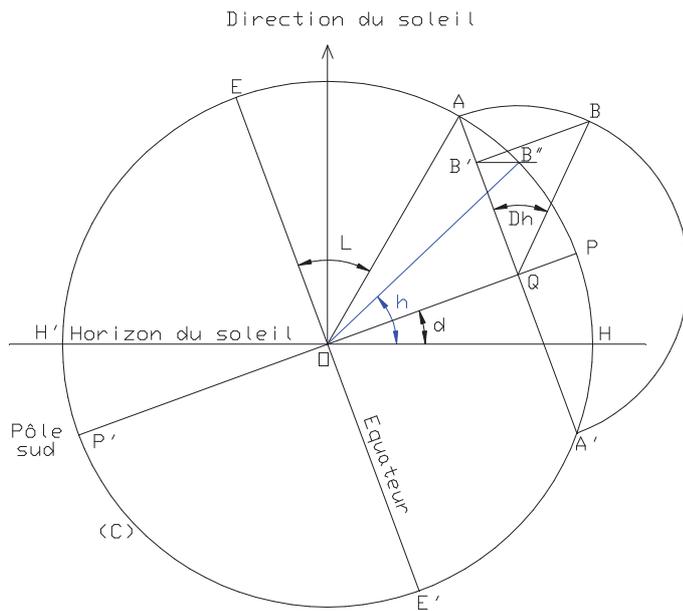


Fig. 14

- Du centre O traçons le cercle (C) du méridien de midi, il correspond à la circonférence de la terre
- Par O traçons l'horizon du soleil HH'
- Par O traçons l'axe des pôles PP' faisant avec l'horizon du soleil l'angle d de la déclinaison
- Perpendiculairement à l'axe des pôles traçons l'équateur EE'
- Traçons le rayon OA faisant avec l'équateur l'angle de la latitude L
- Traçons parallèlement à l'équateur la corde AA' correspondante à la trace du parallèle
- Du centre Q traçons le demi-cercle ABA' correspondant au rabattement du parallèle
- Traçons le rayon QB faisant avec QA l'angle horaire terrestre Dh

- Abaissons B perpendiculairement à AA' pour obtenir la position de l'observateur B'
- Reportons la distance de B' à l'horizon du soleil sur le cercle terrestre en traçant la droite B'B''
- Traçons le rayon OB''. L'angle de la hauteur du soleil correspond à HOB''

Pour tous les angles horaires terrestres correspondants à des heures entières traçons les parallèles à l'horizon du soleil et faisons tourner l'ensemble de 90°. Nous obtenons la figure 16 sur laquelle on peut associer:

- ◆ Au point O le point de suspension du fil
- ◆ Au point B'' la perle coulissante
- ◆ Aux différentes parallèles à l'horizon du soleil les lignes horaires rectilignes

Pour faire la démarche dans le sens inverse soit, à partir des lignes horaires rectilignes, retrouver le centre et le rayon de la terre, il faut, à partir du point Q situé sur la ligne centrale de 6 h:

- ◆ Tracer, avec l'angle de la déclinaison et perpendiculairement entre eux, l'axe des pôles ainsi que la trace du parallèle QA, A étant situé sur la ligne horaire de 12 h
- ◆ De A tracer la droite AA' perpendiculaire à l'axe des pôles, A' étant sur l'équateur

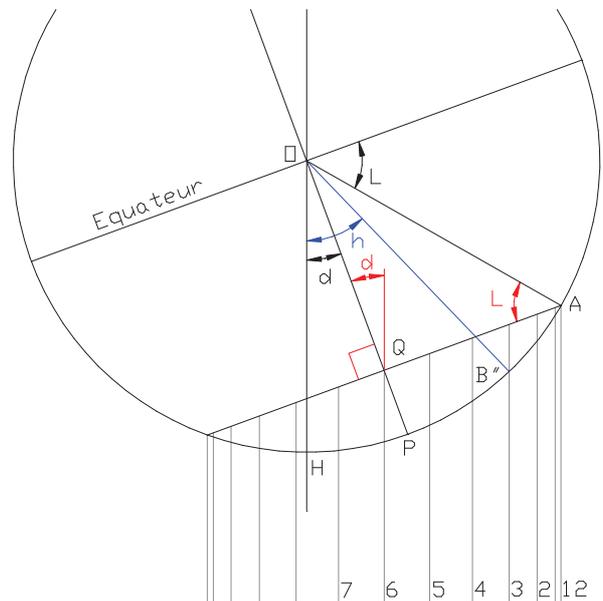


Fig. 15

AO donnant à la fois le centre O et le rayon OA

Le passage à l'Universel de Regiomontanus (Fig. 17) découle alors logiquement de cette procédure en la reproduisant pour plusieurs déclinaisons et latitudes. On remarquera alors, à l'image de ce que nous avons démontré avec le Capucin, que les points O se situent sur une droite perpendiculaire aux lignes horaires quand on fait varier la déclinaison pour une latitude donnée.

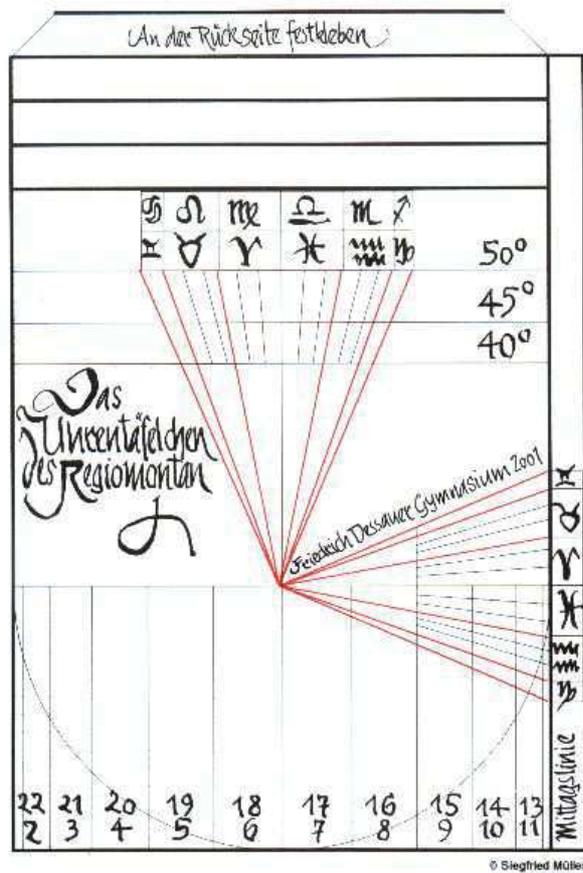


Fig. 16: L'Universel de Regiomontanus. Le fil doit être suspendu dans le trigone supérieur où on peut reconnaître les axes polaires. La perle se règle à l'extrémité du trigone latéral dont les rayons correspondent aux traces du parallèle où l'observateur se situe (gravure réalisée par les Prs Siegfried Müller et Harald Germer).

- ◆ Universal rectilinear Dials. The Mathematical Gazette. Vol 41. A. W. Fuller. Février 1957
- ◆ Histoire de l'astronomie du moyen âge. J.-B. Delambre. 1819.
- ◆ Récréations Mathématiques et Physiques. J. Ozanam. 1694.
- ◆ Cursus mathematicus. Millet Deschalles. 1674
- ◆ Instrument buch. P. Apian. 1533
- ◆ Les "Calendriers" de Regiomontanus. A partir de 1474.

Sites personnels sur Internet:

Philippe Dutarte: <http://perso.club-internet.fr/dutarte/Siteinstruments/REGIOMONTANUS.htm>

Siegfried Müller: http://www.astro-ab.de/themen/uhrentafelchen/body_uhrentafelchen.htm

Jean Pakhomoff: <http://membres.lycos.fr/pakhomoff/cap.html>

Fer J. de Vries: <http://home.iae.nl/users/ferdv/reg-cap.htm> où se trouvent les deux articles du Compendium mentionnés ci-dessus

Espérons que cette étude permette éventuellement de donner quelques nouvelles pistes pour retrouver l'histoire oubliée de la découverte de ces cadrans dont l'ingéniosité suscite encore aujourd'hui l'admiration. Retenons aussi qu'elle a le mérite de donner une réalité physique aux principales lignes de ces mystérieux instruments.

Je tiens à remercier vivement Mrs S. Müller, J. Packomoff, J. Parès, D. Savoie, F. de Vries pour leurs réponses à mes multiples questions et les documents qu'ils m'ont généreusement fait parvenir.

Bibliographie:

- ◆ Les cadrans solaires. Editions Belin-Pour la Science. Denis Savoie. 2003.
- ◆ A "universal" Capucin Dial (or The Sailing Wooden Shoe). The Compendium Volume 6 Number 1. Fer J. de Vries. Mars 1999.
- ◆ Universal Card Dials with Nomograms for Babylonian, Italian, and Antique Hours. The Compendium Volume 5 Number 4. Fer J. de Vries. Décembre 1998.
- ◆ La gnomonique de Desargues à Pardiès. Jean Parès. Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences n° 17. Editions Belin. 1988.
- ◆ Les cadrans Solaires Rectilignes. Nuncijs 3:2. Margarida Archinard. 1988.

Calcul de l'orientation d'un plan "ORICAD" (Y. Massé)

Oricad est un petit outil pour calculer l'orientation d'un plan (déclinaison gnomonique et inclinaison) et donner les angles ainsi qu'une représentation du cadran à style polaire associé. Oricad est écrit en JavaScript au sein d'un fichier html. Il s'exécute donc à l'aide d'un navigateur (Internet Explorer, Netscape Navigator, etc...) sur la machine dont vous disposez (PC, Mac, etc...) sans qu'il soit nécessaire d'être connecté à Internet. Oricad est un fichier de 26 Ko que vous trouverez à :

<http://perso.wanadoo.fr/ymasse/divers/oricad.htm>

et que vous pourrez sauvegarder sur votre disque dur pour une éventuelle utilisation future.

Calcul de l'orientation du plan

Le principe consiste à relever la direction du soleil au-dessus du plan dont on recherche l'orientation. L'utilisation d'éphémérides du soleil permet de calculer, d'autre part, la direction du soleil au-dessus de l'horizon local. Une équation relie ces deux directions, sa résolution donne l'orientation du plan. En fait, il est possible que l'équation fournisse deux solutions, dans ce cas il faut choisir la bonne. Le plus simple est de recommencer la mesure après quelques instants. Des deux nouvelles solutions, la solution qui est inchangée par rapport aux deux anciennes est la solution correcte.

Par ailleurs, effectuer plusieurs mesures présente aussi d'autres avantages: en retrouvant des valeurs similaires on s'assure qu'il n'y a pas eu d'erreur de manipulation et on obtient, par la variation des mesures obtenues, une idée de la précision des résultats. Enfin, en calculant la moyenne des mesures effectuées, on obtient une valeur dont la précision est plus importante.

Voici comment se présente cette partie de Oricad sur un Mac utilisant Netscape.

Paramètre	Valeur	Remarques
Longitude du lieu	2 ° 20 ' Est	Valeurs positives, chaque champ peut contenir une valeur décimale
Latitude du lieu	48 ° 50 ' Nord	
Fuseau horaire	1	Positif à l'est de Greenwich
Hauteur du gnomon	100 mm	
Date de l'observation	2 Janvier 2003	
Heure de l'observation	14 h 0 m 0 s	
Abscisse X de l'ombre	30 mm	Positive vers le bas
Ordonnée Y de l'ombre	50 mm	Positive horizontalement vers la droite
Calculer l'orientation du cadran...		
Déclinaison 1	11.11 ° Est	Premier couple résultat ou champs de saisie
Inclinaison 1	87.98 °	
Déclinaison 2	° Est	Second couple résultat ou champs de saisie
Inclinaison 2	°	
Choix du couple	Couple 1	

L'organisation des calculs est représentée à la figure 1 et une démonstration des formules est fournie en annexe. Les rectangles grisés représentent les données à fournir. La hauteur du porte ombre et le couple (x, y) sont propres à l'outillage dont la description et l'utilisation sont décrites ci-dessous. Les autres données sont familières aux gnomonistes.

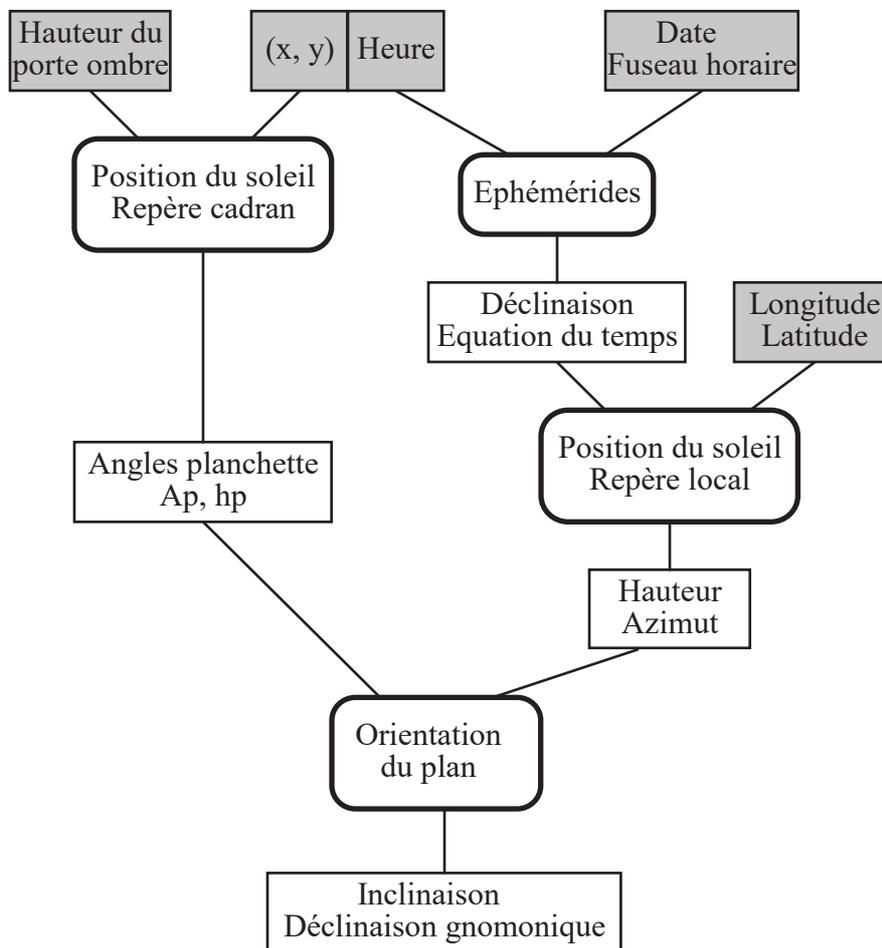


Fig. 1

Calcul du cadran

Cette seconde partie calcule les angles principaux du cadran à partir des résultats précédents ou de valeurs fournies par l'utilisateur. Elle donne aussi une représentation simplifiée du cadran qui peut être calculé avec ou sans correction en longitude et fuseau horaire. Pour tous les cas de figure, seules les lignes horaires utiles sont représentées. L'image suivante montre le résultat obtenu sur un PC utilisant Internet Explorer.

L'organisation des calculs est représentée figure 2.

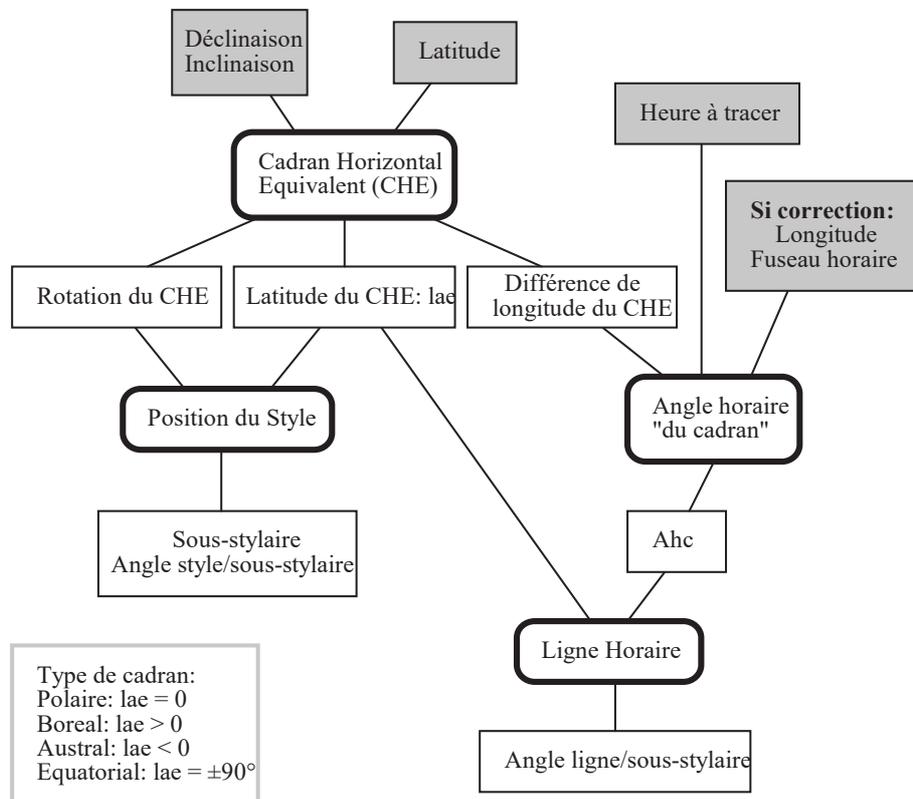
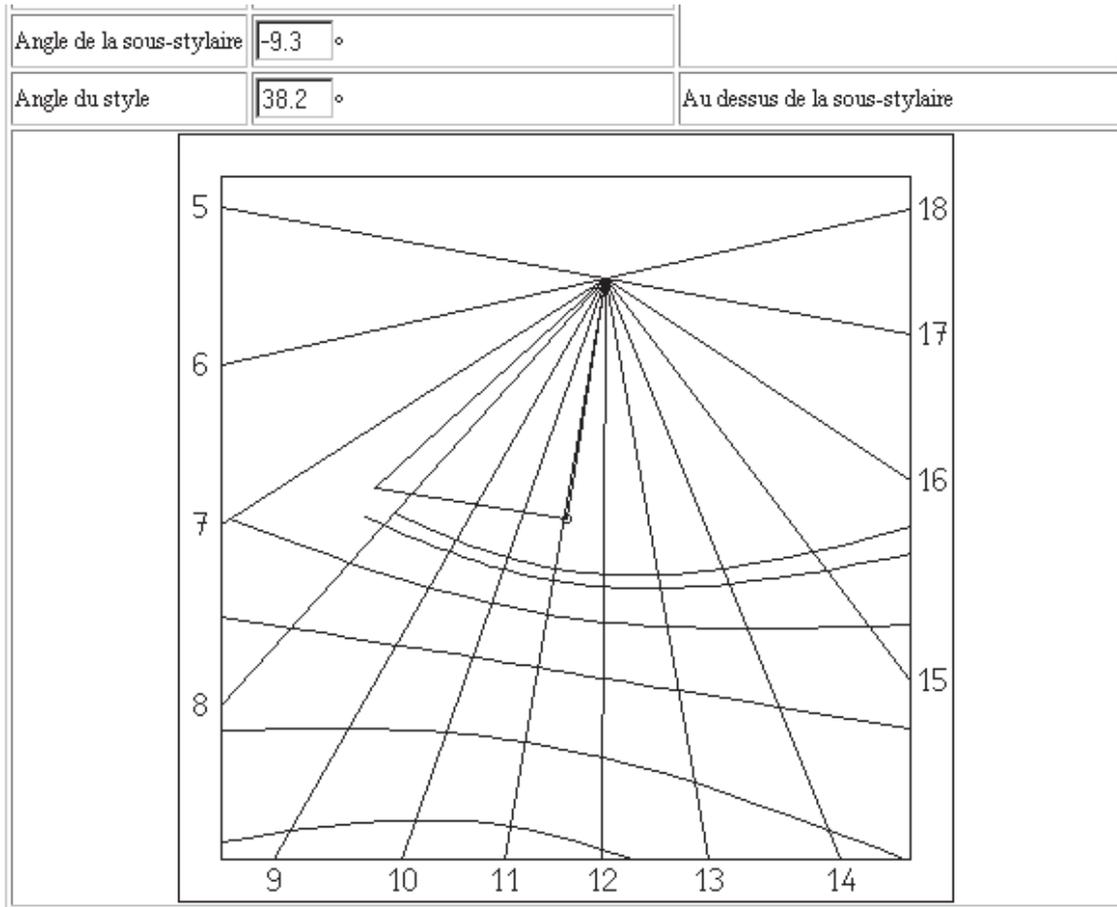
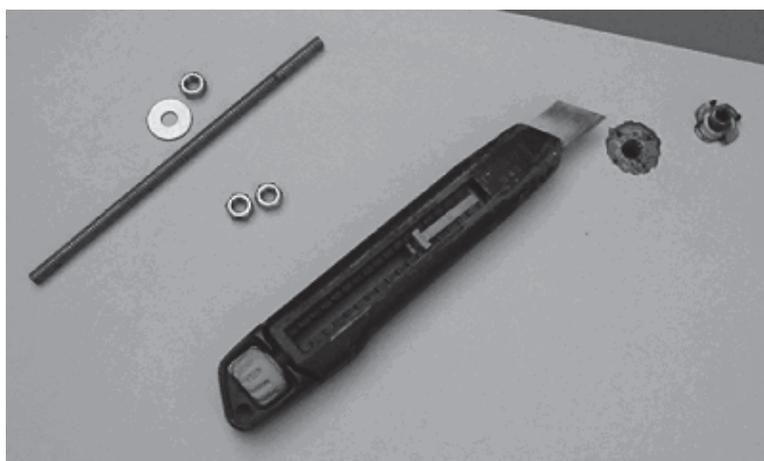


Fig. 2

Réalisation et utilisation de l'outillage

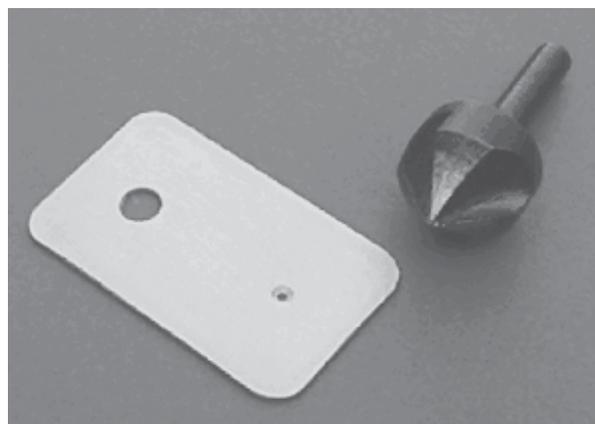
Utilisez une planchette bien plane en bois, ou mieux en particules agglomérées, d'environ 40x40 cm et de 15 à 20 mm d'épaisseur. Sur cette planchette choisissez ou sciez un bord bien rectiligne qui servira de référence. Pour le porte ombre, utilisez une tige filetée M8 à M10 d'environ 15 cm de longueur, 1 écrou à frapper dans le bois, 3 écrous normaux, une rondelle large et une petite plaque d'aluminium ou d'acier doux de 1 mm d'épaisseur.



Percez dans la planchette un trou adapté à l'écrou à frapper au milieu et à quelques centimètres du bord de référence. Pratiquez ensuite grossièrement, à l'aide d'un outil bien tranchant, du côté à appliquer contre le plan, un logement pour noyer entièrement l'écrou à frapper et mettez celui-ci en place. Vissez dedans la tige filetée de façon que rien ne dépasse du côté de l'écrou à frapper puis bloquez la tige au moyen d'un écrou et de la rondelle.

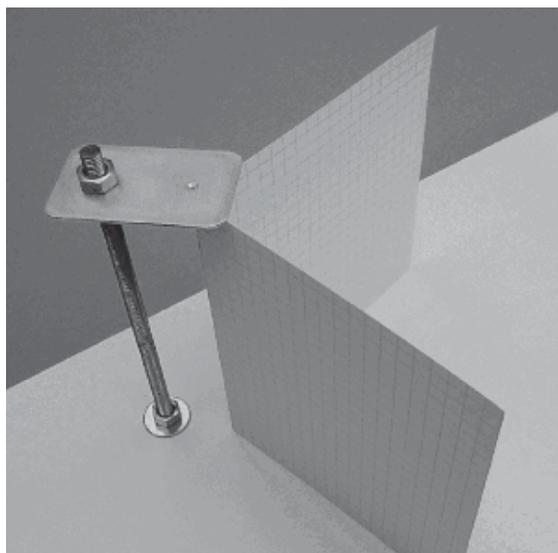
Dans la petite plaque métallique qui sera découpée à environ 3x5 cm, percez deux trous. Le premier au diamètre de la tige filetée et le second d'un diamètre de 1 mm. Fraisez ensuite ce dernier jusqu'à ce que le trou soit presque entièrement conique.

Afin de fixer la plaque sur la tige filetée à une hauteur bien définie et placer correctement l'origine du repère sur la planchette, nous allons fabriquer à moindre frais une équerre double dans du carton léger.



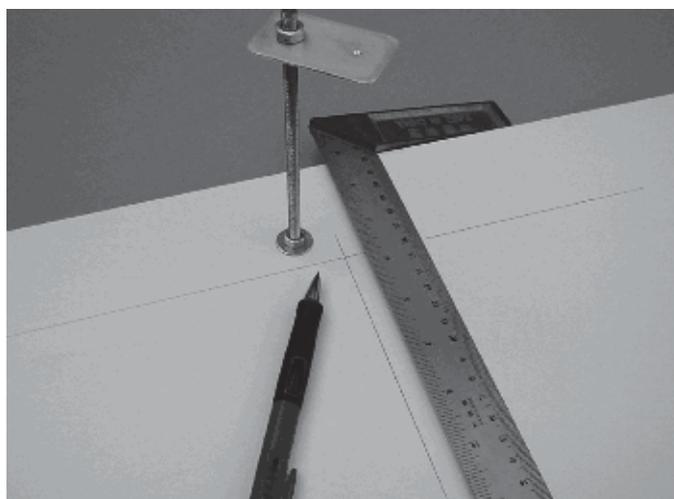
Pour cela, découpez dans une feuille de bristol une bande aux bords bien parallèles d'environ 12 cm de large et quelques 20 cm de long. Mesurez précisément la largeur de la bande, elle correspondra à la hauteur du trou de la plaque et devra renseigner la champ "hauteur du gnomon" dans Oricad. A l'aide du dos de la lame d'un couteau pointu que vous utiliserez comme un crayon, marquez, au milieu de la bande, une perpendiculaire à ses bords. Repliez la bande sur elle-même suivant cette marque et vérifiez que les bords se superposent bien, ce qui signifie que l'équerre est correctement faite. Dépliez alors la bande jusqu'à obtenir un angle d'environ 90° et posez la sur la planchette.

Le pli nous donne ainsi la perpendiculaire de cette dernière.

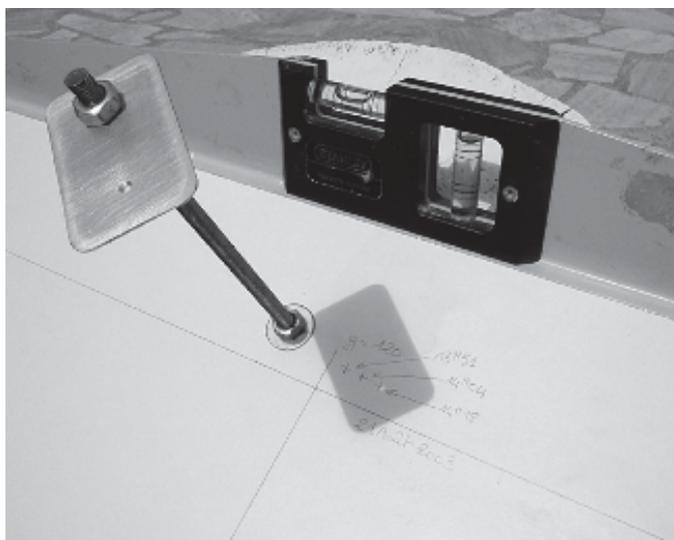


Le moment est venu de fixer la plaque sur la tige filetée à l'aide des deux écrous restants. Mettez-la plaque en place, le plus petit diamètre du trou fraisé coté planchette, et réglez sa hauteur de façon que notre équerre passe juste dessous sans frotter puis bloquer les écrous.

Reportez alors la position du trou perpendiculairement à la planchette en utilisant le pli de l'équerre pour obtenir l'origine du système d'axes. Tracer alors celui-ci. L'axe des y est parallèle au bord de référence et positif vers la droite de la photo. L'axe des x est perpendiculaire et positif du coté opposé au bord de référence (vers le bas de la photo).



Notre outil est maintenant prêt à être utilisé. Il doit être placé contre le plan à mesurer et orienté à l'aide d'un niveau que l'on placera sur le bord de référence. L'axe y est alors horizontal et il ne reste plus qu'à noter par une petite croix la position de la tache lumineuse en prenant soin de relever en même temps l'heure précise. Les valeurs x et y sont obtenues par mesure de la distance des axes à la croix.



Annexe: Formules pour calculer l'orientation du plan

Pour comprendre l'origine des formules donnant l'orientation du plan, imaginons que nous placions notre outillage sur un plan horizontal en dirigeant l'axe des x en direction du sud. Soient alors (x_A, y_A) les coordonnées de la tache lumineuse. De cette position, pour orienter la planchette parallèlement au plan à mesurer, nous devons successivement:

1) La faire tourner autour de l'axe vertical de l'angle Dg à mesurer. Soit (x_B, y_B) la position de la tache lumineuse dans cette position intermédiaire.

2) La faire tourner de l'angle ic à mesurer autour de l'axe y. La tache lumineuse sera alors en (x, y) , coordonnées qui seront relevées.

Soient O l'origine du système d'axes, M le point de la tache lumineuse, G le trou de la plaque, g la distance OG et X' un point quelconque sur la partie négative de l'axe des x.

Pendant la première rotation la planchette reste horizontale. A partir de l'angle ht correspondant à la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon nous obtenons donc les relations en sinus et cosinus suivantes:

$$\sin ht = \frac{g}{\sqrt{g^2 + x_A^2 + y_A^2}} = \frac{g}{\sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}} \quad (1)$$

$$\cos ht = \frac{\sqrt{x_A^2 + y_A^2}}{\sqrt{g^2 + x_A^2 + y_A^2}} = \frac{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}}{\sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}} \quad (2)$$

D'autre part, quand la planchette était dans sa position de départ, l'angle entre le soleil et l'axe des x mesuré sur la planchette, qui est aussi l'angle X'OM, correspond à l'azimut Az du soleil. On a donc les relations suivantes en sinus et cosinus:

$$\sin Az = \frac{y_A}{\sqrt{x_A^2 + y_A^2}}$$

$$\cos Az = -\frac{x_A}{\sqrt{x_A^2 + y_A^2}}$$

Supposons que l'azimut du soleil soit positif et que l'on doive faire tourner la planchette en ramenant l'axe des x dans la direction du soleil, c'est à dire que la déclinaison du mur soit positive. Pendant la rotation la tache lumineuse se rapprochera de l'axe des x négatif et, au final, l'angle X'OM aura pour valeur: $Az - Dg$. Cette relation est toujours valable quelque soit le signe des grandeurs Az et Dg . Nous avons donc les relations en sinus et cosinus:

$$\sin(Az - Dg) = \frac{y_B}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}} \quad (3)$$

$$\cos(Az - Dg) = -\frac{x_B}{\sqrt{x_B^2 + y_B^2}} \quad (4)$$

A la fin de la seconde rotation, la position du soleil par rapport à la planchette, donnée par la position (x, y) du point M, peut aussi se définir par 2 angles. A l'image de la première rotation, choisissons un plan pour mesurer ces angles qui soit perpendiculaire à l'axe de rotation. Soit P ce plan, il est vertical et contient l'axe des x ainsi que le segment OG. Définissons l'angle Ap mesuré sur

le plan P et correspondant à l'angle du soleil par rapport à la direction OG. Comptons cet angle positif quand la tache lumineuse est située sur le demi-plan des x positifs. On obtient Ap par la relation:

$$Ap = \text{Arctg}\left(\frac{x}{g}\right) \quad (5)$$

Enfin, définissons le deuxième angle hp correspondant à la "hauteur" du soleil par rapport à P et prenons cet angle positif quand la tache lumineuse est située sur le demi-plan des y positifs. hp s'obtient par la relation:

$$hp = \text{Arctg}\left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + g^2}}\right) \quad (6)$$

Pendant la seconde rotation, cette "hauteur" n'a pas varié. Nous pouvons donc écrire les relations en sinus et cosinus suivantes:

$$\sin hp = \frac{y}{\sqrt{g^2 + x^2 + y^2}} = \frac{y_B}{\sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}} \quad (7)$$

$$\cos hp = \frac{\sqrt{g^2 + x^2}}{\sqrt{g^2 + x^2 + y^2}} = \frac{\sqrt{g^2 + x_B^2}}{\sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}} \quad (8)$$

D'autre part, pendant la seconde rotation, la direction du soleil mesurée sur le plan P à partir de la direction OG a augmenté de l'inclinaison ic . Aussi, dans la position intermédiaire entre les deux rotations, nous avons les relations en sinus et cosinus suivantes:

$$\sin(Ap - ic) = \frac{x_B}{\sqrt{g^2 + x_B^2}} \quad (9)$$

$$\cos(Ap - ic) = \frac{g}{\sqrt{g^2 + x_B^2}} \quad (10)$$

Des relations (3), (2) et (7) nous obtenons successivement:

$$\sin(Az - Dg) = \frac{y_B}{\cos ht \cdot \sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}}$$

$$\sin(Az - Dg) = \frac{\sin hp}{\cos ht}$$

c'est-à-dire:

$$Az - Dg = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin hp}{\cos ht}\right) \quad (11)$$

ou

$$Az - Dg = 180^\circ - \text{Arcsin}\left(\frac{\sin hp}{\cos ht}\right) \quad (12)$$

Des relations (10), (8) et (1) nous obtenons successivement:

$$\cos(Ap - ic) = \frac{g}{\cos hp \cdot \sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}}$$

$$\cos(Ap - ic) = \frac{\sin ht}{\cos hp}$$

c'est-à-dire:

$$Ap - ic = \text{Arccos}\left(\frac{\sin ht}{\cos hp}\right) \quad (13)$$

ou

$$Ap - ic = -\text{Arccos}\left(\frac{\sin ht}{\cos hp}\right) \quad (14)$$

Pour savoir comment associer les relations (11), (12), (13) et (14) pour former deux couples de solutions, il faut remarquer que, d'après les relations (2) et (4) d'un coté ainsi que (8) et (9) de l'autre:

$$\cos ht \cdot \cos(Az - Dg) = -\cos hp \cdot \sin(Ap - ic) = -\frac{x_B}{\sqrt{g^2 + x_B^2 + y_B^2}}$$

D'autre part, sachant que $\cos ht$ et $\cos hp$ sont tous deux positifs, il vient que le signe de $\cos(Az - Dg)$ doit être opposé au signe de $\sin(Ap - ic)$. Si nous utilisons la relation (11), la fonction Arcsin nous fournira l'angle $(Az - Dg)$ compris entre -90° et 90° , le cosinus de cet angle sera alors positif. Il faut donc que le sinus de l'angle $(Ap - ic)$ soit négatif, c'est-à-dire que $(Ap - ic)$ soit compris entre -180° et 0° . Des relations (13) et (14) c'est la (14) qui donne ce résultat et qu'il faut donc utiliser pour former le couple solution. Par le même raisonnement il vient que nous devons utiliser la relation (12) avec la (13) pour obtenir le second couple solution.

Pour résumer, afin d'obtenir la déclinaison Dg et l'inclinaison ic d'un plan à partir de la position (x, y) de la tache lumineuse, de l'azimut Az et de la hauteur ht du soleil, le mode opératoire est le suivant:

- Calculer les angles Ap et hp d'après les formules (5) et (6)
- Calculer ensuite les angles suivants:

$$ac = \text{Arccos}\left(\frac{\sin ht}{\cos hp}\right)$$

$$as = \text{Arcsin}\left(\frac{\sin hp}{\cos ht}\right)$$

- Calculer les couples solutions d'après les formules suivantes obtenues respectivement à partir des relations (11) et (14) ainsi que (12) et (13):

$$Dg_1 = Az - as \qquad ic_1 = Ap + ac$$

$$Dg_2 = Az - 180^\circ + as \qquad ic_2 = Ap - ac$$

Seul le second couple peut fournir une solution aberrante si $Ap < 0$ (soit si $x < 0$) ou si $Ap < ac$ car ic_2 est alors négatif. Dans ce cas le problème du choix ne se pose pas, il faut utiliser le premier couple et il n'est pas nécessaire de calculer le second. Si $Ap > ac$ les deux couples sont valides et il faut alors choisir correctement la bonne solution.

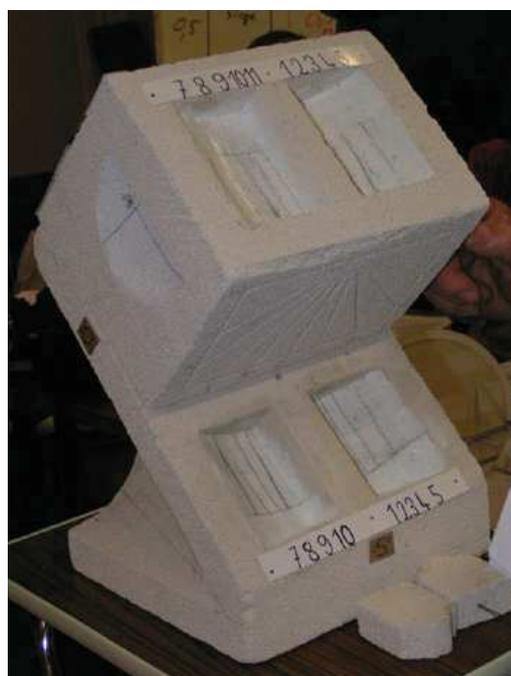
Reproduction du cadran de Brou par T. Mazziotti

En parcourant le cloître de l'église de Brou, j'ai découvert un cadran polyédrique qui paraissait posé là, à l'abandon. J'ai été tenté de le reproduire et j'ai demandé l'autorisation de le photographier, autorisation qui m'a été accordée. J'ai entamé des recherches, entre autres, auprès du Musée de Brou et finalement c'est le monastère Royal de Brou qui m'a fournit la documentation.

Créé pour la latitude de Strasbourg (48° 34'N) le cadran était à l'abandon. Si le dépositaire avait songé à basculer le bloc gnomonique de 2° 23' vers le Sud, ce dernier aurait pu donner l'heure solaire à Brou. Je pense leur proposer cette astuce pour remettre en valeur le cadran.



▲ Face Nord et côté Est
photo JM. Ansel

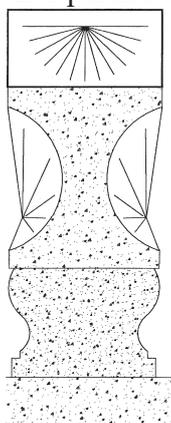


▲ Face Sud et côté Ouest
(les styles des cadrans équatoriaux sont déposés)
photo JM. Ansel

Les parties creuse m'ont causé du souci et l'aide de messieurs Gagnaire et Vilaplana m'a été d'un grand secours. Peut-être que d'autres cadraniers ont déjà réalisé ce type de cadran ou voudront s'y exercer.

Pour ma part, ne pouvant pas l'étudier mathématiquement, je l'ai réalisé en me servant de la face équatoriale comme référence. Si j'avais 10 heures sur l'équatorial, j'avais 10 heures sur les 5 faces du matin, et ainsi de suite.

A noter que ce sont les arêtes et non le gnomon qui donne l'ombre. Donc cette ombre descend le matin face Est et remonte l'après-midi, face Ouest.



La reproduction a été sculptée en Siporex, matériau retenu pour sa légèreté (cause transport) et réalisée pour la latitude de mon domicile (46° 04'N).

Pour moi, il est exact et je devrais, sous peu, en créer un en pierre pour la "Maison de la Pierre", à Montalieu-Vercieu en Isère.

A noter que l'on ignore tout de l'origine et du nom du sculpteur qui a réalisé cette œuvre. C'était en 1826, offert à Thomas Riboud par son arrière petite-fille. Ceci est porté sur la plaque qui orne le piédestal.>>>

Fiche descriptive de l'inventaire de la SAF:

Le musée régional de Brou, département de l'Ain, possède un cadran polyédrique, exposé dans la 3^{ème} cour du cloître de la basilique.

Dimensions hors tout : largeur 22cm, hauteur 38 cm, profondeur 22 cm, sur socle de 18cm d'épaisseur.



◀ Cadran stocké le long d'un mur

Face Occidentale ▶



Face Nord:

A la partie supérieure, un cadran équatorial dont le style prismatique a disparu.

Deux demi-cadrans séparés par le style avec heures extrêmes, mal tracées, chiffrées.

Au-dessous, ouvertures de deux demi-cônes creusés dans les faces latérales.

Cadran oriental en quart-de-sphère, creusé dans bloc cubique supérieur.

Au-dessous, cadran taillé en forme de demi-cône oblique dont l'arrête supérieure sert de style.

Face Sud:

Deux cadrans polaires composés l'un et l'autre de deux demi-cadrans (quarts de cylindre creux) séparés par une languette de pierre dont les bords servent de styles.

Un cadran équatorial inférieur avec style prismatique en place (un peu ébréché).

Face Occidentale et face orientale :

Elles sont symétriques, elles comportent un cadran en demi-lune et un cadran en demi-cônes creusé dont on voit la courbure sur la face Nord.

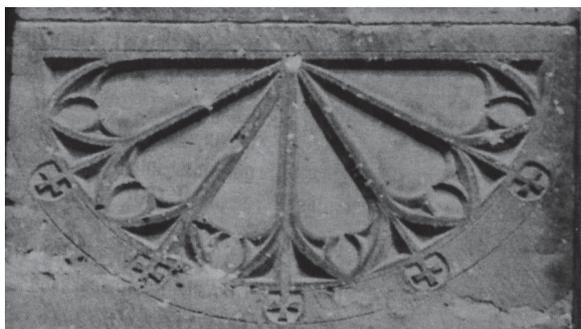
Enquête sur les cadrans canoniaux (D. Schneider)

Sources normatives de l'obligation de la célébration de l'Office divin

Dans mes précédentes communications, j'ai insuffisamment insisté sur la double dépendance des églises:

- d'un côté, le temporel, c'est-à-dire l'appartenance en tant que bien-immeuble rapportant des dîmes, d'une église à un seigneur laïc avant le XII^{ème} siècle sous forme de chapellenie, à une abbaye sous forme de prieuré, à une collégiale sous forme de prieuré-cure ou à l'évêque sous forme d'église paroissiale; il y eut, du reste, mouvance, un même édifice ayant pu passer de mains en mains.

- de l'autre côté, le spirituel, concernant le desservant de l'église, chanoine ou clerc et non, en principe, le moine même prêtre.



▲ Homberg (Allemagne)

Un des traits caractéristiques de la politique paroissiale des chapitres séculiers était d'élargir, à partir de prieurés, l'influence des chanoines aux églises du voisinage et de desservir toute une contrée. Certaines paroisses, par tradition de desserte monastique, connaissaient la récitation des heures canoniales.

Sur le plan spirituel, la législation antérieure à l'an mil ne portait que sur l'obligation de l'office choral par les clercs vivant en communauté, à l'imitation des pratiques de la cathédrale.

Avant le XIII^{ème} siècle, au sujet du prêtre isolé dans les petites agglomérations, on ne sait rien et on a tout lieu de penser que les clercs, encore peu grégorianisés, ne récitaient pas les Heures.

Après le XIII^{ème} siècle, en revanche, la réflexion des théologiens et des canonistes fait de l'Office un devoir constitutif de la charge pastorale. Conciles et synodes obligent au bréviaire ceux qui ne vont pas au chœur. Mais la pénurie des livres liturgiques permettait-elle à ces prescriptions d'être suivies? (correspondance avec Alain Rauwel, professeur agrégé à l'université de Bourgogne).

Lorsqu'on parle de l'influence des moines sur l'office paroissial, c'est avant tout aux "devoti" (clercs vivant en communauté, les futurs chanoines) que nous devons penser. C'est ce qui fait dire aux historiens, à tort, que l'office était à base monastique, alors qu'il est purement sacerdotal et ecclésial et que c'est la romanisation massive de la liturgie qui a séparé l'office de la piété populaire. Bien des siècles plus tard, Vatican II essaiera d'inverser la tendance.

Le cadran canonial, n'est-il que canonial?

La gnomonique médiévale n'a connu que le cadran canonial. Cela signifie-t-il qu'il n'y ait eu d'heures que liturgiques? <<Le priez sans cesse>> de Saint Paul a été tempéré par la reprise par Saint Benoît, de la parole du prophète David : << 7 fois par jour, tu loueras le nom du Seigneur>> dont 5 louanges seulement sont véritablement diurnes. Le cadran canonial aurait pu se satisfaire de 4 secteurs seulement. Si les cadrans canoniaux à 6 secteurs sont nombreux, certains d'entre eux comportent bien les initiales des heures de prières sur leurs divisions. Mais pour ce qui est des canoniaux à 8, 9, 10, 11, 12 secteurs dans un demi-cercle, le terme de "canonial", c'est à dire relatif à un "canon" de l'Eglise, qui assignait tels psaumes à telle heure canoniale, ne paraît plus convenir? Il est vrai aussi qu'il existe des cadrans canoniaux à 12 secteurs avec des traits barrant les véritables heures canoniales. Le cadran dit "canonial" peut donc comporter des lignes horaires autres que canoniales pouvant rythmer la vie religieuse ou civile.



Bad Zwesten à Niederurff (Allemagne)

Les Espagnols parlent de "Primitivos relojes de sol", les Italiens "d'Orologio solare medievale", les Allemands de "Mittelalterliche sonnenruhren" et les Anglais de "Scratch dial" ou il est vrai aussi de "Mass dial".

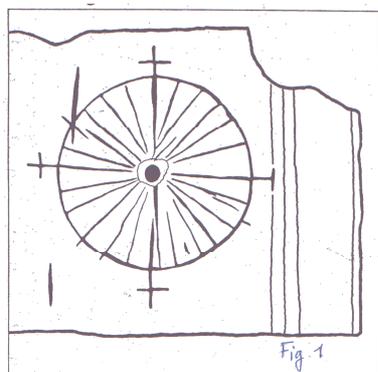
En France, en 1918, Bigourdan, relatant les travaux de Rey-Peilhade, ne parle que de "l'horloge solaire médiévale" à propos du cadran de la cathédrale Saint-Bénigne à Dijon.

Rarissimes sont les horloges solaires médiévales portées sur des bâtiments non religieux. Est-ce dû à l'emprise du clergé sur l'esprit du temps? Il est vrai qu'alors l'église est un lieu de réunion publique; que l'évêque, sur le parvis de la cathédrale, y rend la justice.

Mario Arnaldi signale que Philippe de Thaon, poète français du XIIème, ne parle que des 6 heures du jour, pour en faciliter la mémorisation, en spécifiant qu'elles sont 12 dont 2 crépusculaires (le point du jour ou à l'aube crevant et complies). Les 10 autres sont: heure du soleil levant, de Prime, de Haute Prime ou entre Prime et Tierce, de Tierce (prangière), de Haute Tierce, de Haute Nonne ou Nonne, de Basse Nonne ou Nonne passée, de Remontière ou Relevée, de Vespre ou Haut Vespre, de Bas Vespre ou Vespre passé. Nous sommes en présence de temps civil qu'il sera intéressant d'étudier.

Cadrans canoniaux norvégiens:

Déjà en 2001, 2 cadrans canoniaux horizontaux avaient été découverts en Ecosse, chacun à 24 secteurs et gravé sur un socle de croix dans un cimetière ainsi qu'un autre en Angleterre dans le Cambridgeshire (8 secteurs de 30°) (BSS bulletin volume 14ii, juin 2002 p58, B.Bowling et A.O.Wood).



En avril 2004, à Oxford, Johan Anton Wikander fit un exposé dont le support écrit me fut transmis par Alain Ferreira.

La Norvège a été évangélisée par les moines britanniques au X-XIème siècle et il est compréhensible qu'on trouve des cadrans canoniaux verticaux; leur particularité est d'avoir les lignes horaires de 6, 12, 18 et 24 barrées.(Fig.1).

Autre particularité de la gnomonique médiévale norvégienne, les "soapstones" avec leur "?KT, en vieil anglais "tide" qui correspond à une division par 8 (octaval system) de la journée (Fig.2 et 3).

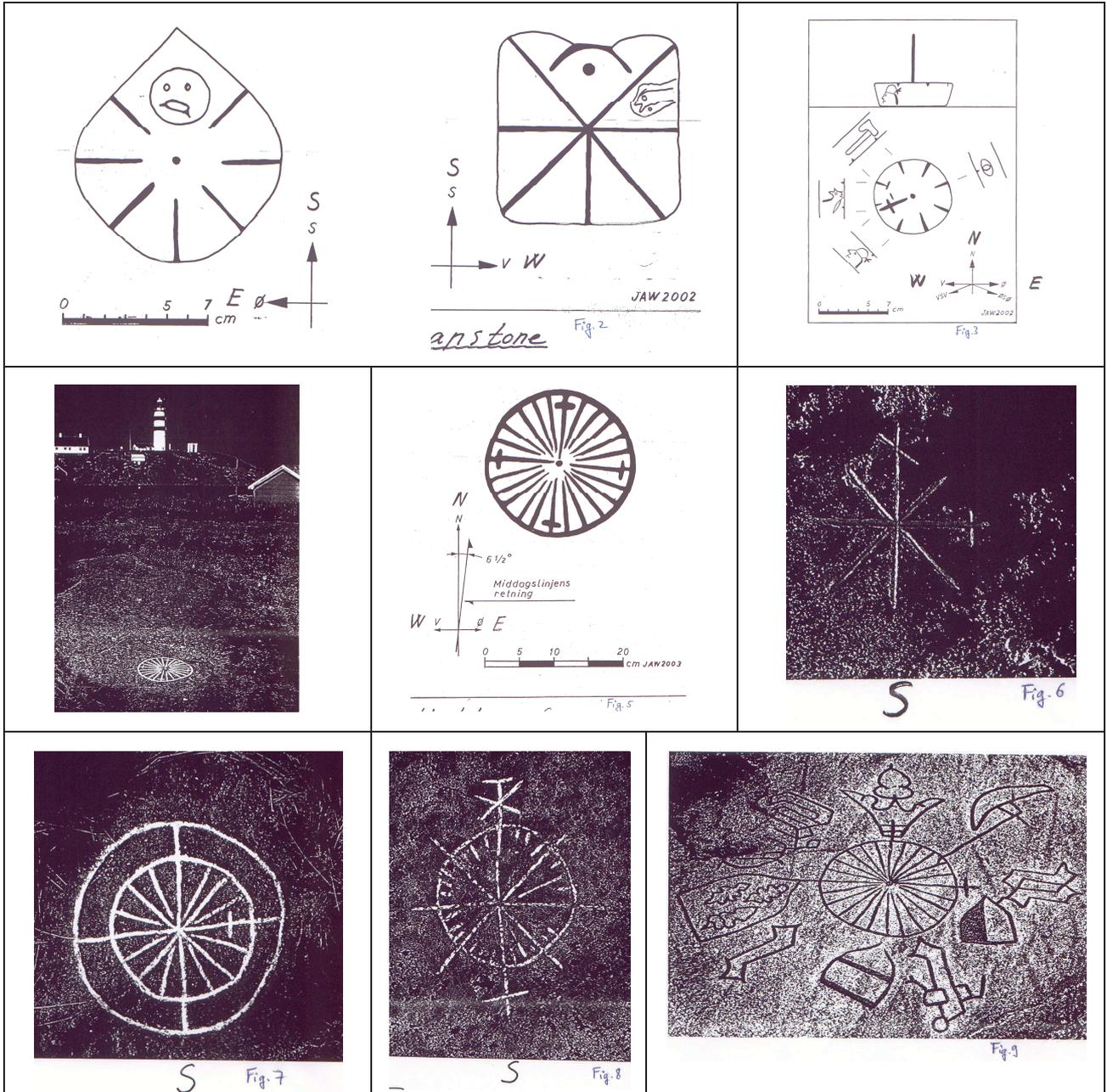
C'est une division azimutale et non d'angles horaires; la nuit, on repère l'azimut du soleil par la clarté solaire sous l'horizon.

Les cadrans canoniaux horizontaux sont, sous ces hautes latitudes (entre 58° et 64°), plus appropriés que les verticaux (Fig.4 et 5). Ils semblent pouvoir être datés selon la déclinaison magnétique qui les ont affectés comme plus tard les Roses des Vents gravées sur le rocher et qui portent les mêmes traits pour barrer les points cardinaux que les lignes de séparation des 4 quadrants des cadrans canoniaux verticaux.

La différence entre cadran canonial horizontal et Rose des Vents peut en principe se faire selon le type de division: 24 pour les cadrans canoniaux; 8, 16, 32 pour les Roses des Vents (Fig.6,7 et 8),mais il existe des cas litigieux (Furusund en Suède Fig.9) où le système de Ptolémée à 12 aires de vent était connu de l'entourage du roi Christian I stationnant sur ce lieu en 1463.

Bibliographie :

- Agder Historialag 1991 Arsskrift NR 67
- Arbok for fossen 2003 Johan Anton Wilkander "Solur eller kompassrose Halten?"



Cadrans solaires coniques (D. Savoie)

Dans mon ouvrage *La Gnomonique*¹, j'ai donné une théorie des cadrans solaires coniques en supposant que le sommet du cône pointait vers le zénith, et que la base était au sol. Depuis s'est posé le problème d'un cône renversé, c'est-à-dire le cas d'un cadran solaire tracé sur un pot de fleur en "situation normale" d'utilisation. En voici donc la méthode de calcul.

On considère un cône de révolution d'axe Oz, de demi-angle au sommet α sur lequel on fixe un style droit horizontal déclinant de longueur a et d'azimut D. Le style droit peut être placé à n'importe quelle distance sur l'axe Oz du sommet du cône; si l'on appelle d cette distance et R le rayon du cône, on a

$$d = R \cotan \alpha$$

A un instant donné, ce style droit projette une ombre sur la surface conique; on cherche les coordonnées x et y de l'extrémité de l'ombre. L'origine des coordonnées étant le pied du style droit P, les \hat{x} étant comptés positivement vers la droite sur la section circulaire horizontale du cône passant par P (il s'agit d'une coordonnée à reporter à l'aide d'un ruban souple), et les y positivement vers le haut depuis P le long d'une génératrice du cône.

On calcule dans un premier temps les quantités suivantes, A' étant l'azimut du Soleil et h sa hauteur :

$p = -\cos h \sin (A' - D)$ $q = -\cos h \cos (A' - D)$ $r = \sin h$	$A = p^2 + q^2 - r^2 \tan^2 \alpha$ $B = -2 [r d \tan^2 \alpha + q(R + a)]$ $C = (R + a)^2 - d^2 \tan^2 \alpha$
--	---

$$\Delta = B^2 - 4 AC$$

$$\rho = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A}$$

$$X = \rho p$$

$$Y = \rho q$$

$$Z = \rho r$$

On a finalement :

$$\hat{x} = R \gamma \frac{\pi}{180^\circ} \quad \text{et} \quad y = \frac{Z}{\cos \alpha} \quad \text{avec} \quad \tan \gamma = \frac{X}{R + a - Y}$$

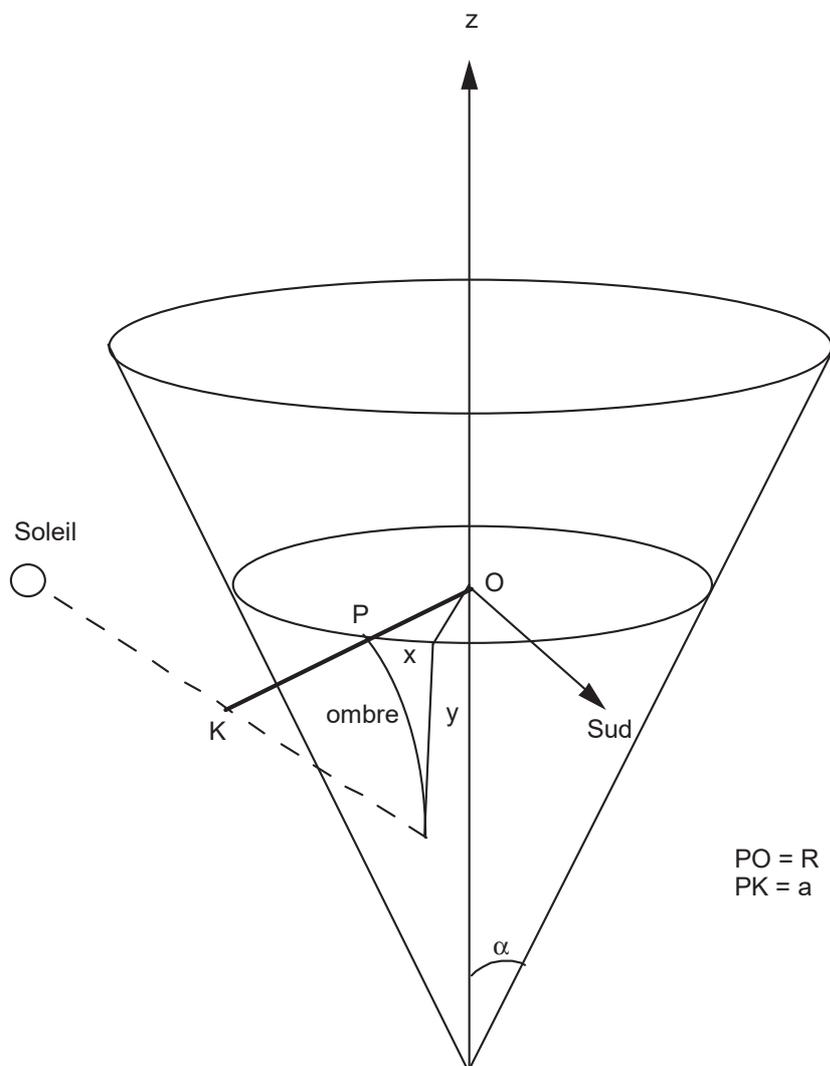
¹*La Gnomonique*, Les Belles Lettres, Paris, 2001, chap. XVI.

Dès que les quantités Δ ou h deviennent négatives, l'extrémité de l'ombre du style ne se projette plus sur le cadran. Pour tracer les lignes horaires, on fait varier pour un même angle horaire H la déclinaison du Soleil de $-23^{\circ},44$ à $+23^{\circ},44$.

Exemple numérique : Soit un cadran conique dont les paramètres sont $\phi = 48^{\circ}$, $D = 30^{\circ}$, $\alpha = 10^{\circ}$, $R = 15$ cm, $a = 5$ cm. Calculons les coordonnées de l'extrémité de l'ombre au solstice de juin ($\delta = +23^{\circ},44$) pour $H = 15^{\circ}$:

$d = 85,069$	$p = -0,009$	$A = 0,186$	$\Delta = 56,033$	$Y = 7,597$
$A' = 31^{\circ},179$	$q = -0,459$	$B = 13,642$	$\rho = -16,566$	$Z = -14,721$
$h = 62^{\circ},699$	$r = 0,889$	$C = 175,0$	$X = 0,156$	$\gamma = 0^{\circ},722$

$\hat{x} = 0,189$ cm et $y = -14,948$ cm



Calcul de l'équation du temps en fonction de la déclinaison du Soleil (D. Savoie)

La formule suivante est extraite d'un article¹ paru en 1981 : elle donne l'équation du temps E en degrés en fonction de la déclinaison δ du Soleil.

$$E = 1^{\circ},86 \sin (\pm Z) - 0^{\circ},42 \cos (\pm Z) + 2^{\circ}45 \sin (\pm 2Z) - 0^{\circ},01 \sin (\pm 3Z) + 0^{\circ},02 \sin (\pm 4Z)$$

La variable Z s'obtient par : $Z = \arcsin (-\delta / 23^{\circ},44)$. On utilise le signe + lorsque la déclinaison est croissante (du solstice d'hiver au solstice d'été) et le signe – lorsque la déclinaison est décroissante (du solstice d'été au solstice d'hiver).

L'intérêt de cette formule, – très ingénieuse –, réside dans le fait qu'elle ne dépend que de la déclinaison du Soleil, alors que les formules traditionnelles font intervenir la longitude moyenne (ou vraie) ou bien encore l'anomalie moyenne, variables qui dépendent du temps. C'est donc une formule très utile pour les gnomonistes, par exemple pour construire des courbes en huit. Malheureusement, son auteur n'a pas donné la méthode pour l'obtenir. On se propose ici de remédier à cette lacune et de voir comment on peut actualiser la formule pour la période contemporaine.

1 – Construction de la formule

L'examen attentif de l'équation E permet de faire ressortir plusieurs points utiles pour la suite :

- cette formule n'est pas issue d'une théorie faisant intervenir la théorie du Soleil, sans quoi on devrait trouver des coefficients se rapportant à l'équation du centre ($1^{\circ},9 \sin M + \dots$) et à la réduction à l'équateur ($2^{\circ},46 \sin 2l + \dots$), ou bien des valeurs dépendant de la longitude ou de l'anomalie du Soleil. Ce qui veut dire qu'elle est issue d'un "fit", autrement dit d'un ajustement par une série trigonométrique sur des valeurs déjà connues de l'équation du temps et de la déclinaison. D'ailleurs l'auteur spécifie bien que sa courbe est basée sur l'analyse de valeurs de l'équation du temps étalées sur 4 ans (pour tenir compte de l'année bissextile).
- il n'y a qu'un seul terme en cosinus, les autres étant un développement en $A.\sin (Z)$, $B.\sin (2Z)$, etc.
- le terme ($- 0^{\circ},42$) affecté à $(\cos Z)$ vaut $- 1$ m 41 s : c'est la valeur de l'équation du temps au solstice d'hiver et sensiblement celle au solstice d'été. Ce terme sert à caler la série au départ; comme l'équation du temps n'est pas symétrique de la déclinaison selon que cette dernière est croissante ou décroissante, l'auteur a dû "redresser" sa courbe par

¹H. Brix, "Another Standard-time sundial", *Journal of the British Astronomical Association*, vol. 92, n° 1, 1981, p. 16-21. C'est le gnomoniste italien R. Righi qui m'a signalé cette formule afin que je lui indique comment on la mettait au point.

ce terme en cosinus. On remarque d'ailleurs que $[-0^{\circ},42 \cos(\arcsin(-\delta/23^{\circ},44))] = -0^{\circ},42 \sin(-\delta/23^{\circ},44)$.

Il ressort de tout cela que l'équation donnant E peut s'écrire :

$$E = -k \cos(\pm Z) + A \cdot \sin(\pm Z) + B \cdot \sin(\pm 2Z) + C \cdot \sin(\pm 3Z) + D \cdot \sin(\pm 4Z)$$

Pour obtenir le développement en $A \cdot \sin(\pm Z)$, $B \cdot \sin(\pm 2Z)$, $C \cdot \sin(\pm 3Z)$, $D \cdot \sin(\pm 4Z)$, on procède de la façon suivante : on calcule l'équation du temps (à partir de formules "classiques" : $E = \alpha - L$, α étant l'ascension droite du Soleil et L sa longitude moyenne), en partant d'un solstice d'hiver au solstice d'hiver suivant. On calcule en même temps la déclinaison du Soleil et l'angle Z ($Z = \arcsin(-\delta/\varepsilon)$, ε étant l'obliquité de l'écliptique. On a donc pour schématiser un tableau à trois colonnes : E, δ , Z.

On prend la valeur de l'équation du temps aux deux solstices d'hiver (E_h , E'_h) et la valeur au solstice d'été E_e . Comme les trois valeurs ne sont pas exactement égales, on prend la moyenne en faisant $k = (|E_h| + |E'_h| + E_e)/3$.

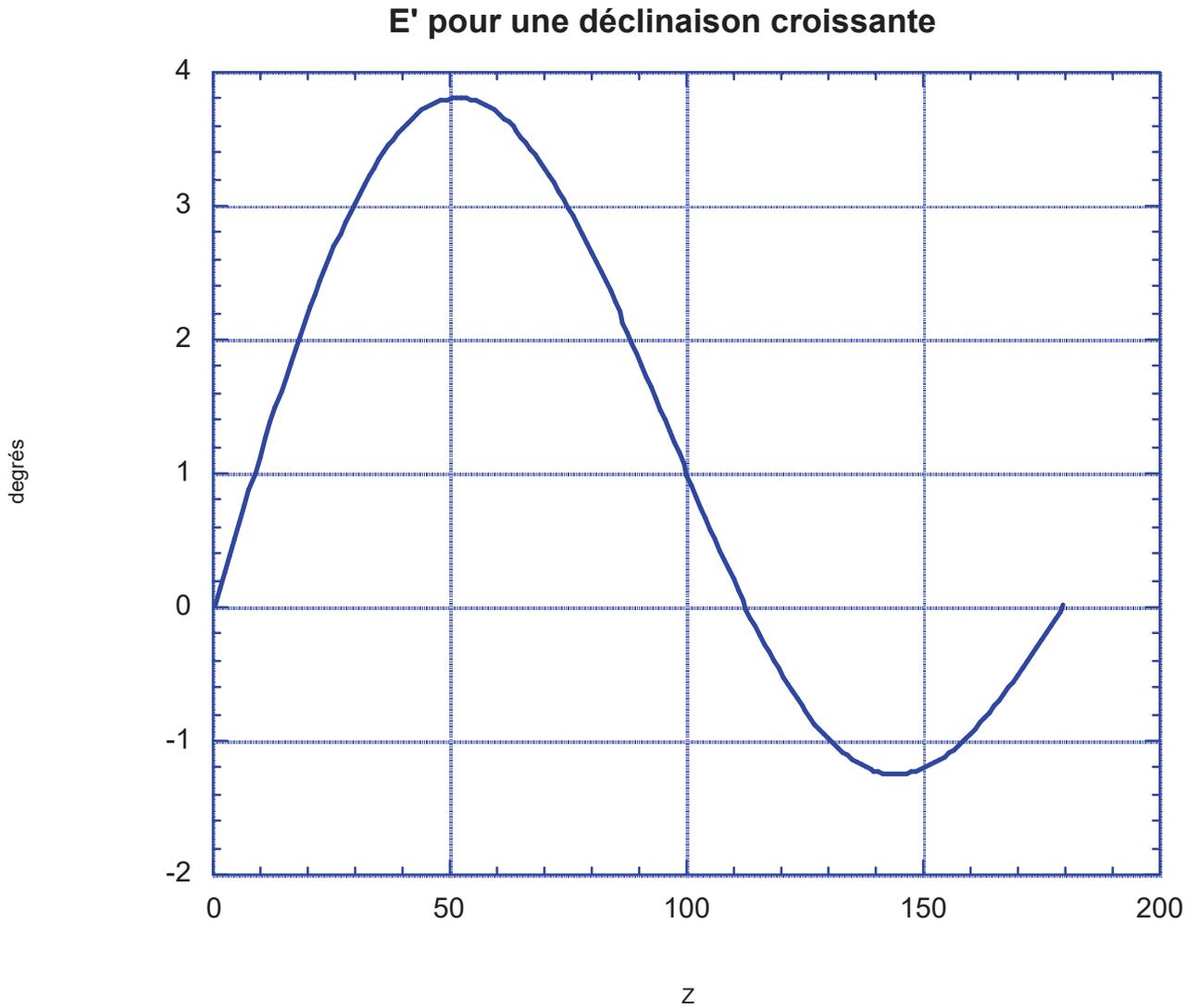
On fait ensuite $E' = E - [k(\delta/\varepsilon)]$, ce qui a pour but d'éliminer le terme en cosinus. La suite des opérations nécessite soit un manipulateur algébrique, soit un logiciel ayant une fonction "fit" : on lui demande alors de "fiter" les valeurs de E' en fonction de $\sin(Z)$, $\sin(2Z)$, $\sin(3Z)$, $\sin(4Z)$, d'abord pour la série issue d'une déclinaison croissante puis pour la série issue d'une déclinaison décroissante. On obtient donc des coefficients A, B, C, D pour δ croissante et des coefficients pour δ décroissante; il faut prendre la moyenne de chaque coefficient. On pourrait évidemment poursuivre le développement en cherchant des termes en $E \cdot \sin(5Z)$, $F \cdot \sin(6Z)$, etc, mais cela n'aurait aucun intérêt étant donné la précision que l'on cherche obtenir : on ne lit pas l'heure sur un cadran solaire au dixième de seconde !

2 – Exemple de calcul

Prenons un exemple concret en calculant sur quatre ans, pour la période 2005-2008, l'équation du temps et la déclinaison du Soleil (à 12 h UT) puis en faisant la moyenne.

Pour le premier solstice d'hiver, on a $E_h = -0^{\circ},38415$, pour le solstice d'été $E_e = +0^{\circ},42855$, et pour le solstice d'hiver suivant $E_h = -0^{\circ},50853$. D'où $k = 0^{\circ},44041$ que l'on peut arrondir à $0^{\circ},44$. On calcule ensuite E' et Z, en faisant $E - [k(\delta/\varepsilon)]$, ε valant $23^{\circ},441$.

Le graphique suivant représente E' en fonction de Z pour une déclinaison croissante :

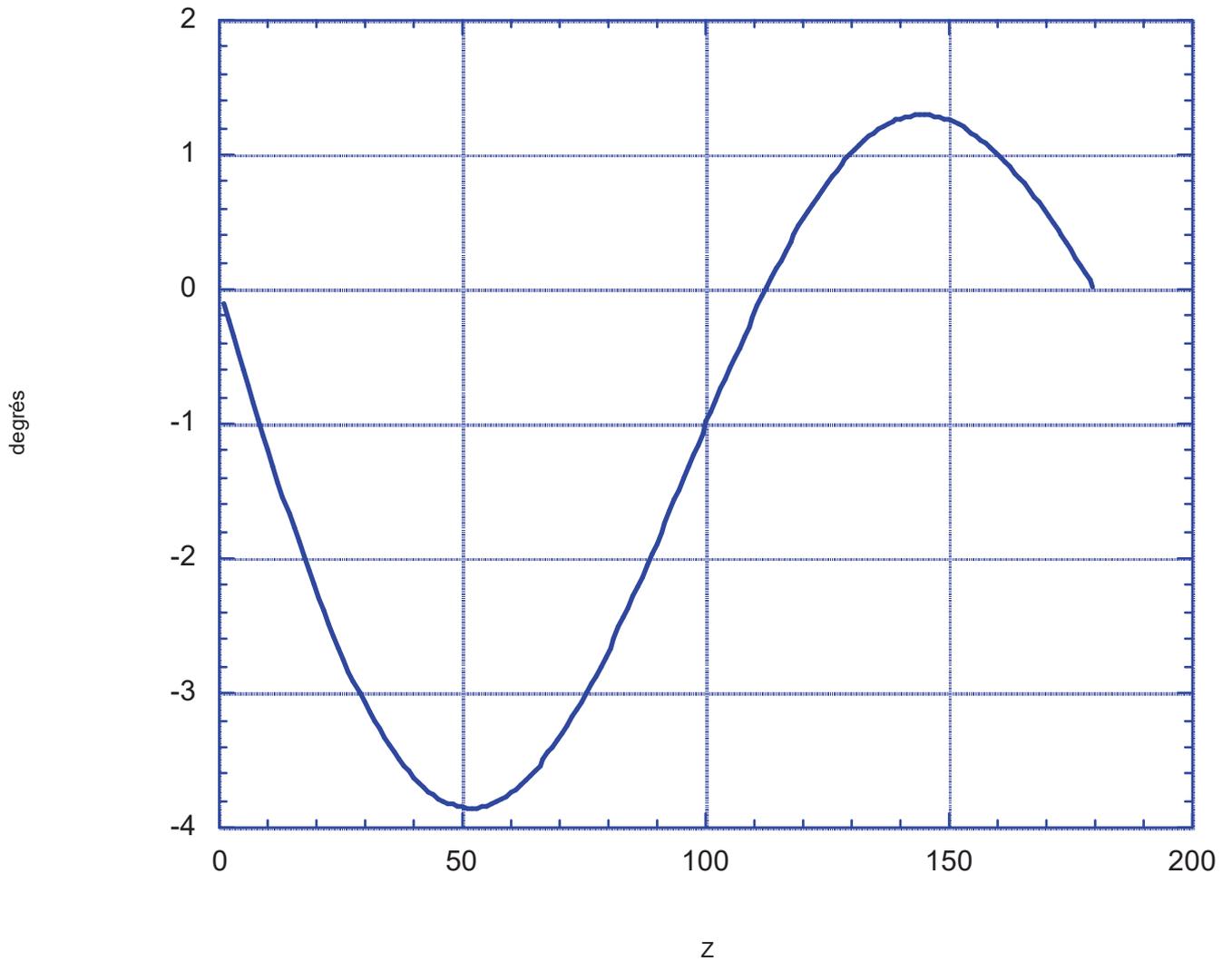


Le "fit" de cette courbe donne :

$$E' = 1^{\circ},8484 \sin (Z) + 2^{\circ},4591 \sin (2Z) - 0^{\circ},0096217 \sin (3Z) + 0^{\circ},021771 \sin (4Z)$$

On pratique ensuite de la même façon pour la période allant du solstice d'été au solstice d'hiver. Ce qui donne le graphique suivant :

E' pour une déclinaison décroissante



Le "fit" de cette courbe donne :

$$E' = -1^{\circ},857 \sin (Z) - 2^{\circ},4532 \sin (2Z) + 0^{\circ},016913 \sin (3Z) - 0^{\circ},01389 \sin (4Z)$$

En prenant la moyenne des coefficients, on obtient finalement :

$$\begin{aligned} A &= 1^{\circ},853 \\ B &= 2^{\circ},456 \\ C &= 0^{\circ},01327 \\ D &= 0^{\circ},0178 \end{aligned}$$

L'équation du temps pour la période considérée peut donc s'écrire :

$$E = 1^{\circ},853 \sin (\pm Z) - 0^{\circ},44 \cos (\pm Z) + 2^{\circ},456 \sin (\pm 2Z) - \\ 0^{\circ},0133 \sin (\pm 3Z) + 0^{\circ},018 \sin (\pm 4Z)$$

$$\text{avec } Z = \arcsin (-\delta / 23^{\circ},44)$$

L'écart maximum entre l'équation du temps moyenne et l'équation du temps issue de la formule "fitée" atteint 4 secondes de temps en valeur absolue, ce qui est négligeable pour les applications gnomoniques. Comme l'ajustement a été fait sur une période précise (2005-2008), les valeurs fournies ne sont théoriquement valables que sur cet intervalle; mais on peut sans problème les utiliser sur au moins 20 ans. La meilleure preuve est qu'en utilisant la formule initiale parue en 1981, l'écart maximum atteint à peine 6 secondes de temps par rapport à la réalité !

3 – Calcul de l'équation du temps en fonction du temps

La formule suivante, due à Pierre Bretagnon² (†), permet de calculer l'équation du temps, en minutes de temps, de 1900 à 2100, avec une précision de 1 seconde de temps.

$$E = 7,362 \sin M - 0,144 \cos M + 8,944 \sin 2M + 4,299 \cos 2M + 0,288 \sin 3M + 0,133 \cos 3M + 0,139 \sin 4M + 0,171 \cos 4M + 0,009 \sin 5M + 0,011 \cos 5M + 0,001 \sin 6M + 0,006 \cos 6M - 0,00268t \sin 2M + 0,00538t \cos 2M$$

où t est compté en années juliennes à partir de J2000.0 et où l'anomalie moyenne M du Soleil, exprimée en radians, est :

$$M = 6,240060119 + 6,283019551716 t$$

Je remercie mes amis et collègues Marc Goutaudier et Roland Lehoucq dont l'aide a été déterminante dans l'obtention de la formule donnant l'équation du temps en fonction de la déclinaison !

²Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, Bureau des longitudes.

L'heure au fond d'un verre à cognac (R. Sagot)



L'HEURE AU FOND D'UN VERRE À COGNAC

La théorie du verre à cognac utilisé comme "cadran" solaire s'apparente à celle de l'anneau astronomique, avec cependant trois différences :

1° - Dans l'anneau astronomique, c'est l'appareil qui forme "plomb" et se met de lui-même en position verticale. Ici, la verticale est donnée par la position d'une bille roulant librement sur une surface concave.

2° - Dans l'anneau, le rayon de lumière passe par un oeilleton situé sur l'axe polaire et forme image sur le cercle équatorial. Inversement, le rayon de lumière formant image sur la paroi du verre passe d'abord par un point du cercle équatorial, mais ce n'est pas indispensable.

3° - L'anneau reste fixe toute la journée (et en tous temps) et l'image du Soleil parcourt le cercle équatorial. Le verre à cognac tourne toute la journée pour suivre l'image du Soleil.

Principe

Pour simplifier la présentation, je prends une sphère dont on a décalotté la partie supérieure (voir figure). Une petite bille, placée à l'intérieur, vient occuper le point le plus bas de la sphère, marquant ainsi le pied de la verticale passant par le centre C.

Si on fait tourner le verre sphérique autour d'un axe, la bille roule sur le fond du verre en décrivant un petit cercle. L'axe de rotation étant dirigé vers le pôle Nord, le rayon du petit cercle sera de $(90^\circ - \theta) = 41^\circ$ pour Evreux. Ce cercle, supposé tracé sur le verre, servira de cercle de lecture après avoir été gradué de 15 en 15°, donc d'heure en heure.

On perce un trou (ou on place pastille percée ou non) au point O. (Sans la figure, il a été placé sur l'équateur mais ce n'est pas nécessaire.) A l'opposé, on trace un arc de méridien de 84° d'angle au centre ou de 47° ($46^\circ 53'$) vu de l'oeillette. Le point supérieur V est tel que OV fait un angle de $23^\circ 27'$ avec OE, perpendiculaire à l'axe de rotation. Il correspond à l'image (ou à l'ombre) du Soleil au solstice d'hiver. Le point inférieur T (angle TOE = $23^\circ 27'$) correspond à l'image du solstice d'été.

Fonctionnement

L'axe du verre étant correctement orienté et incliné, qu'observe-t-on ?

- A) A midi :
- 1° - La bille est sur le cercle de lecture en un point que l'on marquera XIII.
 - 2° - L'axe du verre, incliné d'un angle θ (49° à Evreux) sur l'horizon, pointe vers le pôle Nord.
 - 3° - L'image du Soleil se forme sur l'arc des déclinaisons VT, au point daté I correspondant à la déclinaison du jour.
 - 4° - Si l'on modifie l'orientation ou l'inclinaison du verre, la bille quitte le cercle de lecture.
 - 5° - Si, conservant la bonne position de l'axe du verre, on fait tourner celui-ci, l'image du Soleil quitte l'arc des dates (déclinaisons).

B) A une autre heure, par exemple à 15 heures (III), l'appareil ayant conservé la position correcte qu'il avait à midi :

1° et 2° - Sans changement.

- 2 -

3° - Le Soleil ayant tourné de 45° depuis midi autour de l'axe polaire (qui est aussi celui du verre), son image ne tombe plus sur le point I. Il faudra donc faire tourner le verre autour de son axe de 45° si l'on veut que l'image solaire vienne à nouveau en coïncidence avec le repère I. Au cours de cette rotation, la bille roulera sur le cercle de lecture en parcourant un arc de 45° et s'arrêtera au point que l'on a marqué III (15 heures).

4° et 5° - Sans changement.

C) Conclusion - Quand l'appareil est correctement disposé, la bille se trouve sur son cercle de roulement et l'image solaire coïncide avec le point daté I.



Dependant - et c'est là un défaut commun à tous les anneaux astronomiques - la réciproque n'est vraie qu'une fois sur deux. Il y a, en effet, deux positions, symétriques par rapport au méridien, pour lesquelles les deux conditions nécessaires se trouvent simultanément réunies. Pour lever le doute, il faut savoir si le Soleil est montant (matinée) ou descendant (après-midi).

Mode d'emploi

La date étant repérée d'une façon quelconque (confetti auto-collant, par exemple) sur l'arc des dates-déclinaisons :

- 1° - Se tourner vers le Soleil en disposant le verre de telle façon que l'image du Soleil tombe sur le repère marqué I.
- 2° - Faire tourner le verre autour du rayon de lumière OI (donc en maintenant l'image du Soleil sur le repère I) jusqu'à ce que la bille, décrivant une courbe, vienne couper le cercle de lecture, soit avant midi (matinée), soit après-midi, selon le cas. La position de la bille indique l'heure cherchée.

Remarques diverses

- 1° - Comme dans tous les cadrans de hauteur, la lecture devient incertaine au voisinage de midi.
- 2° - Il n'est pas nécessaire de disposer d'un verre sphérique ; il suffit que sa paroi soit une surface de révolution engendrée par la rotation d'une courbe concave, tout au moins dans la région où se meut la bille. C'est ainsi qu'on peut prendre un verre à cognac, un tube à essais, un ballon à col large, une vieille ampoule électrique, un globe dépoli pour l'éclairage, etc...
- 3° - Le verre n'étant plus sphérique (contour esquissé en rouge sur la figure), on procédera d'une manière empirique pour tracer le cercle de lecture et l'arc des dates.

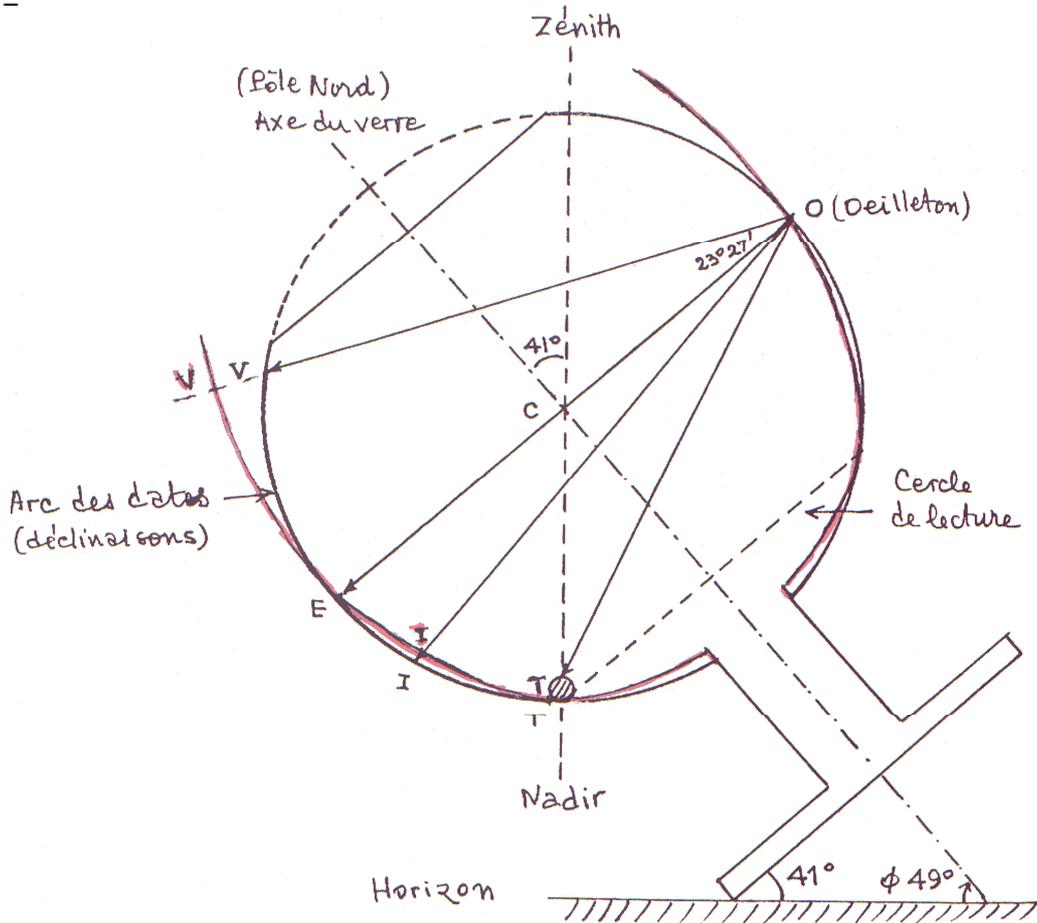
On pose le pied du verre sur un plan incliné faisant un angle de 41° (à Evreux) avec l'horizontale. On place la bille, encrée, et on fait tourner le verre ; la bille laisse la trace de son roulement, c'est-à-dire du cercle de lecture. (En fait, le cercle de lecture n'a pas besoin d'être complet - sauf si l'on est au pays du Soleil de minuit !) Pour le tracé de l'arc des dates (génératrice opposée au point O), je ne connais pas de moyen vraiment pratique.

- 4° - Cette génératrice (arc des dates) pourrait être remplacée par une courbe en S ; ce qui permettrait de lire directement le temps moyen ou légal.

- 5° - Tel qu'il est réalisé, l'appareil n'est valable que pour une seule latitude. Mais rien n'empêche - si ce n'est le risque de confusion - de prévoir plusieurs cercles de lecture ; par exemple, 41°, 45° et 49°.
- 6° - L'arc des dates peut être gravé intérieurement ; mais une telle opération est à déconseiller pour le cercle de lecture, car l'incision pratiquée dans le verre entraverait la liberté de mouvement de la bille.
- 7° - Tout ce qui précède est purement théorique car je n'ai pas encore eu l'occasion de réaliser un cadran solaire au fond d'un verre à cognac !



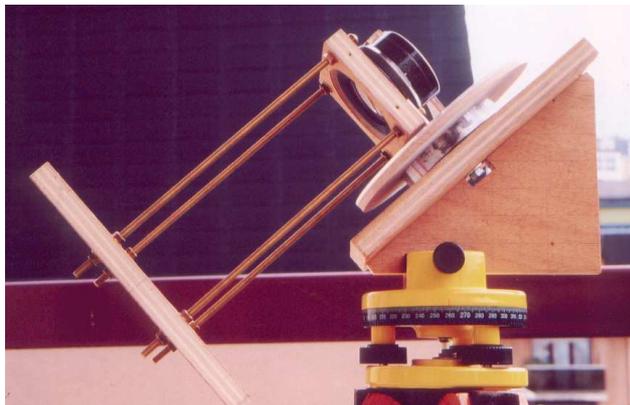
R. S A G O T ✱ 26-XII-1978.



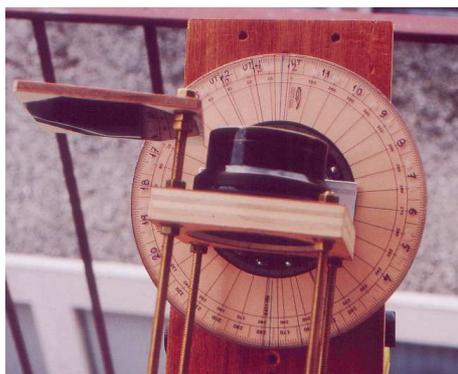
Position du verre, à midi, à la latitude $\phi = 49^\circ$
En rouge, verre non sphérique.

Héliochronomètre optique (M. Vercasson)

J'ai entrepris la construction d'une maquette pour vérifier s'il était possible d'améliorer la précision d'un héliochronomètre en projetant sur une méridienne de temps moyenne une véritable image du soleil fournie par un objectif photographique.



▲ Vue générale de l'héliochronomètre ▲



▲ Vue de dessus

L'objectif de récupération est un SAPHIR BOYER de 210 mm de focal, ouvert à $f/4,5$ mais utilisé à $f/32$.

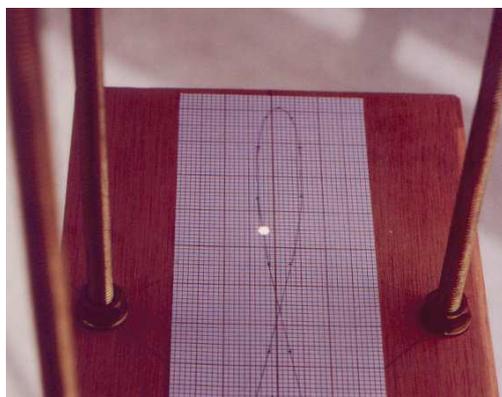
La courbe en 8 a été tracée à l'aide du programme CADRAN avec les données suivantes:

- distance zénithale du cadran quelconque mais égal e à la latitude,
- azimut du cadran = 0,
- latitude = 0,
- hauteur sous styleire égale à la focale de l'objectif.

Le cercle horaire est un rapporteur gradué en $\frac{1}{2}$ degrés ou 2 minutes de temps, ce qui permet d'interpréter facilement à une minute près.

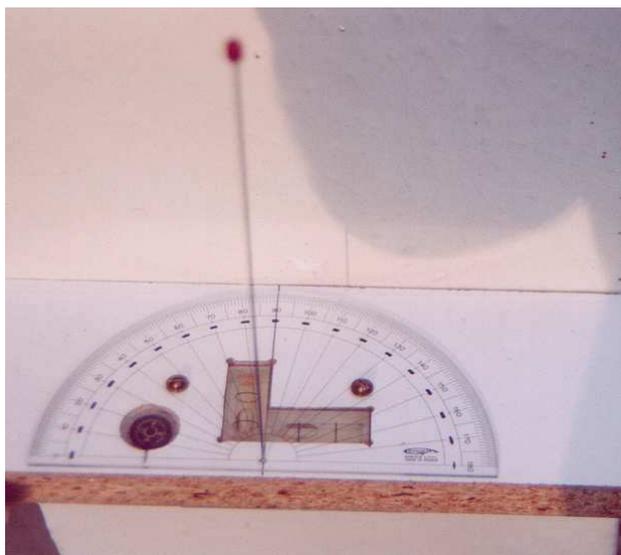
Les premiers essais sont encourageants, mais devront être poursuivis, notamment pour vérifier que la distorsion de l'objectif peut être négligée.

Projection du point lumineux ►



Mesure déclinaison d'un mur (M. Vercasson)

L'appareil présenté ci-dessous est portatif et permet une mesure rapide et simplifiée de la déclinaison gnomonique du mur sur lequel on veut établir un cadran. Il peut éventuellement être envoyé par la poste.



Il est constitué par une planchette rectangulaire qui comporte sur sa face supérieure:

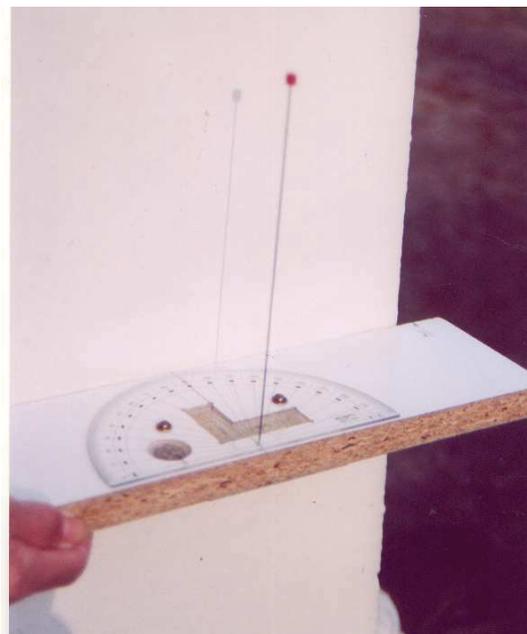
- un rapporteur,
- deux niveaux à bulle perpendiculaires,
- une boussole,
- une aiguille implantable au centre du rapporteur, perpendiculaire à la planchette.

L'utilisateur doit placer la planchette contre le mur, parfaitement horizontalement, lire la division du rapporteur indiquée par l'ombre de l'aiguille, noter la date et l'heure de la mesure. Répéter plusieurs fois ces opérations.

L'azimut du mur est alors facile à calculer:

Azimut du cadran = azimut du soleil* + 90° - lecture

* L'auteur se charge du calcul de l'azimut du soleil.



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

Informations

La journée des commissions de la SAF qui s'est tenu le 15 Mai dernier à l'observatoire de Meudon, a été l'occasion de présenter nos activités (Ph. Sauvageot) et de projeter quelques diapositives de "cadrans tracés sur verre", (A. Ferreira).

Lors de cette manifestation, il fut remis à monsieur Pierre-Joseph Dallet, la médaille "Saget" qui récompense ses nombreux travaux mis à la disposition de tous les membres.



Vue de l'amphithéâtre de Meudon



Médaille remise à M. Dallet

Photos JM. Ansel



M. Dallet à l'honneur

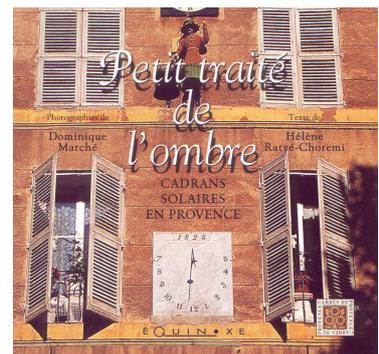


Des livres et des revues

■ **PETIT TRAITE DE L'HEURE** photos de Dominique Marché, texte de Hélène Ratyé-Choremi, 128 pages.

Edition Equinoxe domaine de Fontgisclar, Draille de Magne 13570 BARBENTANE

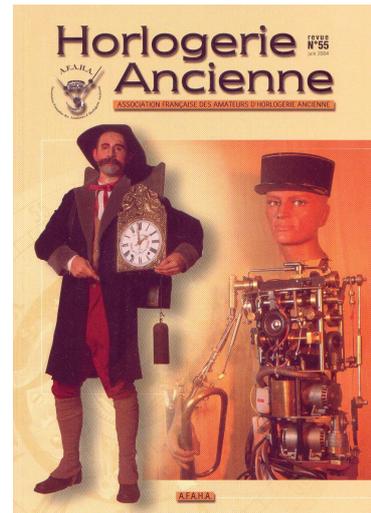
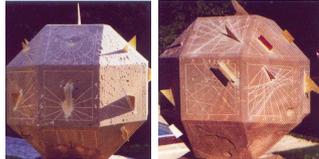
Quelques informations sur les cadrans solaires et leur lecture, puis de très belles photos de cadrans en Provence.



■ REVUE DE L'HORLOGERIE ANCIENNE

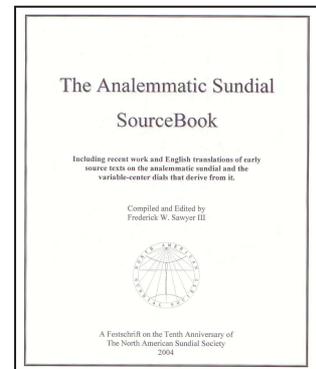
Assoc. Française des Amateurs d'Horlogerie Ancienne
(AFAHA) Palais Granvelle, BP. 33 25012 BESANCON CEDEX

Très souvent des articles concernant les cadrans solaires sont publiés dans les revues de l'AFAHA. Dans ce dernier N° 55, commentaires et photos des cadrans à face multiples des environs de Strasbourg.



■ THE ANALEMMATIC SUNDILA SOURCE BOOK de la North American Sundial Society

Recueil des études et écrits en anglais ou en français concernant les cadrans analemmatiques.

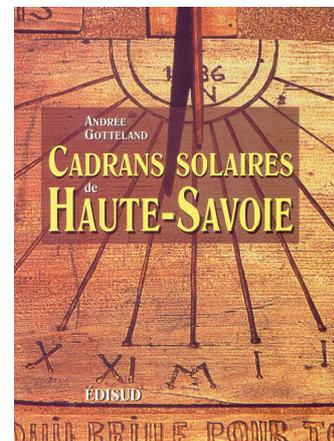


■ CADRANS SOLAIRES DE HAUTE-SAVOIE

de Andrée Gotteland
Edition Edisud

Descriptions et photos couleurs d'environ 150 cadrans.

Vient compléter la collection des cadrans solaires des régions du Briançonnais, du haut pays niçois, du queyras, de haute-provence et du lubéron.



■ A ne pas manquer dans la revue **L'Astronomie**:

- Le N° d'avril 2004 : Les cadrans de la citadelle du Caire par D. Savoie,
- le N° de juillet-août 2004 : L'heure des crépuscules sur les cadrans arabo-islamiques par D. Savoie,
- les articles consacrés en dernière page aux cadrans solaires.

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



Photographie des cadran solaires et le Droit ... suite (référence à l'article P. Gagnaire Cadran Info n°8)

... Article de presse (Le particulier N° 979 -juillet/août 2004) communiqué par N. Marquet:

L'arrêt du mois

Droit à l'image : les propriétaires de biens immobiliers en ligne de mire

Dans une brochure vantant l'environnement de son futur programme, un promoteur immobilier reproduit la photographie d'un hôtel particulier voisin sans l'autorisation du propriétaire. Ce dernier, estimant notamment qu'une telle publication pouvait suggérer que sa propriété était mise en vente, demande au promoteur réparation du « préjudice consécutif au trouble de jouissance ».



l'interprétation des juges

ce que dit la loi

► L'article 544 du code civil précise que « la propriété est le droit de jouir et disposer des choses de la manière la plus absolue », mais ne spécifie pas si ce droit inclut aussi l'image des choses dont on est propriétaire.

► Pour débouter le propriétaire, l'arrêt d'appel retient que le droit de propriété n'est pas illimité et ne comporte pas un droit exclusif du possesseur d'un bien sur son image. Dès lors, à elle seule, la reproduction d'un bien sans l'accord de son propriétaire ne suffit pas à établir le préjudice de celui-ci. La Cour de cassation confirme l'arrêt d'appel, en spécifiant toutefois que le propriétaire ne conserve le droit de s'opposer à la publication de l'image de son bien que si elle lui occasionne un trouble anormal. La Cour de cassation unifie ainsi une jurisprudence jusque-là assez chaotique. À l'origine de celle-ci, l'affaire dite du « café Gondrée ». Les propriétaires de cet établissement, réputé pour avoir été le premier bâtiment libéré par les alliés en 1944, éditaient des cartes postales souvenirs. Une idée lucra-

► tive, reprise par d'autres éditeurs. Fort marris, les propriétaires avaient saisi la justice pour faire juger que seuls les propriétaires d'un bien ont le droit d'en exploiter l'image, et la Cour de cassation leur avait donné raison (*cass. civ. 1^{re} du 10.3.99, n° 96-18699*). Cette décision avait suscité un nombre important de contentieux souvent abusifs entre propriétaires et photographes ou éditeurs. Du coup, les tribunaux avaient progressivement posé des garde-fous, notamment en jugeant qu'un propriétaire ne peut interdire l'exploitation de l'image d'un bien exposé à la vue de tous (*TGI de Clermont-Ferrand du 23.1.02*), ni si l'exploitation en est faite dans un but non lucratif (*cass. civ. 1^{re} du 2.5.01, n° 99-10709*).

Cour de cassation, assemblée plénière, arrêt n° 516 du 7.6.04. Pourvoi n° 02-10.450, confirmant cour d'appel de Rouen du 31.10.01. Pour savoir comment vous procurer ces arrêts, reportez-vous à la page 96.

notre analyse

► Cet arrêt sonne le glas de la jurisprudence Gondrée. Désormais, le propriétaire d'un bien ne dispose pas d'un droit exclusif sur l'image de celui-ci, sans qu'il y ait lieu de distinguer « si la personne qui exploite l'image le fait dans un but lucratif ou non », souligne Gérard Ducrey, avocat spécialiste du droit à l'image. Concrètement, n'importe qui peut donc utiliser, gratuitement ou commercialement, l'image d'un bien ne lui appartenant pas. À une seule condition : ne pas occasionner au propriétaire

un trouble anormal, c'est-à-dire, selon les juristes, d'une exceptionnelle gravité. Si, comme le souligne M^e Ducrey, « ce qui est beau, un bâtiment classé, peut être regardé et photographié », il y a, en revanche, trouble anormal si un photographe escalade un mur pour voler l'image d'un bien invisible de l'extérieur. « La légende de la photo et le contexte entourant sa diffusion vont être pri-

Sauf motif grave, un propriétaire ne peut pas s'opposer à la diffusion de l'image de son bien

... Courrier du 26/07/2004 de J GOUDE, "Les Cyprès, Parc Delmas, 46200 SOUILLAC:

LES ANGOISSES D'UN SOLICADRANOPHILE

ICONOGRAPHISTE

par Jacques Goude, nouveau venu au Club

Que de barbarismes dans ce titre ! Deux barbarismes que j'aimerais pourtant bien voir transformés en néologismes.

Solicadranophile : de sol, solis, "soleil", cadrano (sans commentaire...), phile, "qui aime" : "qui aime les cadrans solaires"... Il existe bien "gnomoniste"... Or, je ne peux pas prétendre me parer de ce titre; il désigne essentiellement celui qui calcule les cadrans : n'ayant aucune connaissance mathématique, je ne peux me prévaloir de ce titre. Mais cela ne m'empêche pas d'éprouver un immense intérêt pour eux. Et "iconographe", de icone, "image" et graphiste, "qui écrit, dessine" : "celui qui reproduit une image... par quelque procédé que ce soit" (photo ou dessin).

Et c'est là que se situe mon angoisse.

Récent adhérent à la C.C.S. de la S.A.F., je me suis procuré les numéros de "Cadran Infos" et j'ai été très intéressé par l'article de M. Paul Gagnaire sur "La photographie des cadrans solaires et le droit".

Donc, c'est entendu : photographier un cadran solaire sur une maison particulière n'est pas autorisé, sauf accord de l'occupant.

Je dois dire que pour ma part, j'ai photographié des dizaines et des dizaines de C.S., sans toujours demander la permission (si je ne trouvais pas d'interlocuteur), et je n'ai vraiment été "jeté" qu'une seule fois. En revanche, j'ai presque toujours rencontré beaucoup de gentillesse et de compréhension, souvent même les gens sont très flattés que l'on s'intéresse à leur cadran, surtout s'ils en sont les auteurs ! J'ai même rencontré des gens qui se dérangeaient pour me faciliter la tâche, une dame âgée allant jusqu'à monter à l'étage pour fermer ses volets qui, ouverts, masquaient en partie le cadran !

Mais cet article m'inspire quelques questions.

Si au lieu de photographier le cadran, on sort un carnet de croquis ou une planche à dessin et que l'on réalise un croquis, voire une aquarelle ou carrément une huile sur toile du cadran, en l'interprétant un peu, redressant le style tordu, reconstituant un élément du décor effacé, inventant un détail supplémentaire ou au contraire en "oubliant" un autre, ou une lézarde, ou des fils électriques, est-ce que cette image, qui n'est plus rigoureusement fidèle au modèle, est soumise à la même législation... un peu raide ? Il ne s'agit plus d'une reproduction "chou pour chou", mais d'une nouvelle interprétation artistique... Et qu'advient-il si on photographie cette "oeuvre" nouvelle pour la diffuser dans un livre ou la projeter en séance publique ?

En allant encore plus loin, si on prend comme modèle la reproduction photographique (dans un livre, sur une carte postale, etc.), qu'on s'en inspire pour en faire un dessin ou une peinture, en modifiant quelque peu certains détails, proportions ou éléments du décor, voire les angles des lignes horaires, pour en faire non plus une reproduction fidèle, mais une interprétation, peut-on également diffuser cette nouvelle oeuvre sans s'exposer aux foudres des auteurs, éditeurs, propriétaires du cadran ou de sa reproduction fidèle ?

J'ai vu pratiquer ce genre de... contrefaçon, si l'on peut dire, à propos de vedettes de la chanson dont on reproduisait des photos,

parues dans des magazines, en dessin colorié portant quelques modifications de détail (mèche de cheveux, grain de beauté, dessin de l'oreille modifiés, exagérés ou atténués, supprimés ou au contraire ajoutés), sans que cela ait semblé déclencher de procès.

Je m'autorise à penser que dans la pratique, la possibilité de photographier (ou dessiner) un cadran solaire ne présente pas autant de difficultés ou de risques. Je sais que pour rencontrer les ennuis évoqués par M. Gagnaire, il suffit de tomber sur un grincheux qui pousse à l'extrême (et aussi jusqu'à l'absurde!) la notion de propriété (le préjudice n'est tout de même pas trop grave dans la plupart des cas...) ! Et je sais que, effectivement, ce genre de grincheux existe !

Ainsi, si je présente quelques diapositives entrant dans la catégorie décrite dans l'article de M. Gagnaire au cours de conférences que je m'autorise à donner (bénévolement) dans des associations type "Loisirs et Culture" ou "Club du Temps retrouvé", si j'en fais figurer des dessins (approximatifs) dans une brochure que je distribue aux spectateurs intéressés (contre participation aux frais de photocopie, faut pas exagérer !), est-ce que je m'expose aux foudres de la Justice ? Etant donné le caractère plutôt confidentiel de cette diffusion, je ne le pense pas, mais j'aimerais en être sûr...



QUELQUES SITES INTERNET

- Cadrans peints avec pigments naturels sur des enduits de chaux:
<http://atelier.tournesol.free.fr/atcreat.htm>
- Construction d'un cadran solaire horizontal :
<http://rockefeller.univ-lyon.fr/~romeuf/ObservatoiresAugerollesCunlhat/Ressources...>
- Techniques des cadrans:
<http://www.cadransolaires-myh.com/techniques.htm>
- L'Horloge astronomique et les cadrans de la cathédrale de Strasbourg:
<http://www.ac-nancy-metz.fr/ia54/magnieres/internet3/vosges/strabo11.htm>
- Gnomon: les débuts de la géométrie en Grèce:
<http://www.archipress.org/episteme/gnomon.htm>
- Programme de calcul de la projection de l'ombre d'une.. éolienne:
<http://www.windpower.org/fr/tour/env/shadow/guide.htm>
- Clocking the fours, nouvelle théorie au sujet de l'écriture du chiffre IIII:
<http://www.wilkiecollins.demon.co.uk/roman/clockface.htm>
- Les cadrans solaires:
<http://www.lanterne.freesurf.fr/cadrans.htm>



Cadran Info, source d'échanges et de savoir

Depuis sa création, il y a 5 ans, Cadran Info est devenu une plateforme d'échanges et de savoir incontournable.

Sa variété est grande: théories, études, expériences pratiques, informations diverses (livres, site internet...)

Afin de vous faciliter la recherche d'un article paru dans un précédent numéro, nous les avons classés par type.

(E= Etudes; M=Méthode de réalisation; P=Conseils pratiques; D=Sujets diverses; V=Voyages)

Ty	Titres	Auteurs	C.I
E	De L'ASTROLABE DE ROIAS à 4 cadrans universels.	Masse Y.	2
E	L'ARCHEOASTRONOMIE		2
E	ZARBULA L'Art et la manière de	Gagnaire P.	1
E	ANALEMME et CADRANS ANALEMMATIQUES	Fort J	3
E	CADRANS CANONIAUX: A propos des	Fort J	3-8
E	CADRANS CANONIAUX et office divin	Schneider D	6
E	CADRANS CANONIAUX et institutions ecclésiastique	Schneider D	7
E	CADRAN EQUATORIAL	KIEFFER M	8
E	CADRAN POLAIRE trouvé à Cluny	Gagnaire P	7
E	CADRANS à DIFFRACTION	Catamo M & Lucarini C / Collin	7
E	CADRAN DE CATANE déplacé à Rome	Bacchus P	3
E	CADRAN solaire PORTABLE à style et table transparents	Mullet M	3
E	CADRAN solaire INVISIBLE	Savoie D	3
E	CADRANS à PROJECTION EQUATORIALE	Collin D	4
E	CADRANS CRUCIFORMES	Fort J	4
E	CADRANS LUNI-SOLAIRES	Savoie D	5
E	CADRAN de L'ACADEMICIEN	Vialle J	6
E	CADRAN CANON de Chinon	Pineau F	7
E	CADRANS SOLAIRES ANCIENS d'Aunis et de Saintonge.	Vialle J.	1
E	CADRAN ITALO-BABYLONIQUE à STYLE CONIQUE	Vercasson M	8
E	CADRANS de Paris depuis 1997.	Gotteland A.	2
E	COSMOGRAPHIE	Dallet P	8
E	GNOMON INADAPTE: Etude théorique du	Pakhomoff J	1
E	GNOMON astroïde de Freeman	Pakhomoff J	3
E	GNOMONIQUE SATELLITAIRE	Savoie D	5
E	HEURE des CREPUSCULES sur les cadrans ARABO-ISLAMIQUE	Savoie D	8
E	HEURE de NUREMBERG	Ansel J M.	8
E	MACHINE propre A TRACER LES CADRANS SOLAIRES de l'abbé Ignace Gaston PARDIES	Labrosse G	8
E	MERIDIENNE des quatre temps.	Gagnaire P.	2
E	Une MERIDIENNE est-elle un instrument astronomique?	Fort J	4
E	Passage au MERIDIEN et MERIDIENNE	Savoie D	6
E	CULMINATION et MERIDIEN	Savoie D	7
E	MERIDIENNE du château de Sourches	Deciron P	3
E	CADRAN DE LA CHAPELLE NOTRE-DAME DE PENITY	Cornec JP et Labat P	9
E	CADRANS CANONIAUX à PETALES	Schneider D	9
E	CADRANS CANONIAUX sur l'église de SAZILLY	Pineau F	9

E	Appunti per uno studio delle MERIDIANE ISLAMICHE.	Ferrari G. et Severino N.	1
E	GENERALITE sur les ANALEMMATIQUES	Rouxel B	9
E	CERCLE de LAMBERT et MARQUEURS SAISONNIERS	Cornec JP et Rouxel B	9
E	MONTRE SOLAIRE PORTATIVE	Mullet M	3
E	OMBRE et PENOMBRE	Savoie D	9
E	Nouvelles HEURES TEMPORAIRES.	Gagnaire P.	2
E	Un OROLOGIO SOLARE a piu aste.	Ferrari G.	1
E	STYLES à POIDS	Fort J, Grégori S	5

M	CADRAN ANALEMMATIQUE	Dallet P	3
M	CADRANS ANALEMMATIQUES circulaires de Foster et Lambert: Théorie et pratique	Pakhomoff J.	1
M	CADRANS BIFILAIRES: application de la méthode analytique	Soler Gaya R/ <i>Collin D</i>	6
M	CADRAN BIFILAIRE VERTICAL DECLINANT	Collin D	3
M	CADRANS BIFILAIRES, ETUDE GEOMETRIQUE	Rouxel B	9
M	CADRAN CYLINDRIQUE HORIZONTAL CREUX	Savoie D	9
M	PLAN INCLINE ET DECLINANT	Savoie D	9
M	CADRAN BIFILAIRE, PLAN HORIZONTAL	Collin D	5
M	CADRAN HORIZONTAL	Dallet P	3
M	CADRAN VERTICAL	Dallet P.	2
M	CADRAN INCLINE-DECLINANT	Dallet P	7
M	CADRAN INDEPENDANT de la latitude	Dallet P	4
M	CADRAN EQUATORIAL	Dallet P.	
M	CADRAN à BRACELET	Dallet P	6
M	CADRAN POLAIRE à ARCS DIURNES PARALLELES	<i>De Vries/CollinD</i>	6
M	CADRAN SCAPHE CYLINDRIQUE	Dallet P	5
M	CADRAN en PROJECTION STEREOGRAPHIQUE	Dallet P	5
M	CADRANS EPICYCLOÏDAUX ou HYPOCYCLOÏDAUX	Rouxel B	5
M	CADRANS ORTHOMERIDIONAUX à REFRACTION	Soler Gaya	5
M	logiciel SOLARIUM	Sauvageot Ph	8
M	Une NAVICULA	Dallet P	4
M	Relevé de la DECLINAISON d'un MUR	Mazziotti T	6
M	Méthode de détermination de la DECLINAISON gnomonique.	Collin D.	1
M	MESURE de la DECLINAISON par un Cadran HORIZONTAL	Labrosse G	6
M	Calcul de L'INCLINAISON, DECLINAISON et latitude d'un cadran en fonction de ses lignes horaires".	Boussonville M.	1
M	COMPARAISON des METHODES de mesure de la DECLINAISON GNOMONIQUE et outils associés	Dallet PJ	9
M	TECHNIQUES réalisation des cadrans (chap. XIII de CS de Corrèze)	Dallet PJ	9
M	Détermination simultanée de L'ORIENTATION et de la DECLINAISON D'UN PLAN	Savoie D	7
M	Un metodo per L'ORIENTAMENTO DI UN PIANO orizzontale in condizioni particolari.	Ferrari G.	1
M	Alcune formule per la ricerca della POSIZIONZ e della UNGHEZZA STILLO in orologi solari da restaurare.	Ferrari G.	1
M	Tracé d'une MERIDIENNE par la méthode Solarium	Dallet P	6
M	Calcul de la POSITION DU SOLEIL.	Bassinot E.	2

P	STYLES standards	Theubet J	6
P	Du STYLE (1) à sa fixation	Ansel J.M	1
P	Le STYLE (2) : matériaux à utiliser	Ansel J.M.	2
P	Le STYLE (3)	Ansel J.M.	3
P	BASE DE DONNEES INFORMATIQUE de la CCS	Sauvageot Ph	7
P	CADRANS INVISIBLES: de la théorie aux maquettes	Vercasson	3
P	CADRAN SOLAIRE PLANETAIRE	Thiessen H/ <i>Sauvageot Ph</i>	8

P	CERCLE DE SAMUELL FOSTER	Vinck R J / <i>Sauvageot Ph</i>	8
P	KIT DE MESURE d'inclinaison et de déclinaison	Labrosse G	9
P	Construction d'un cadran horizontal ou vertical d'une manière rapide et précise	Hidalgo L / <i>Collin D</i>	8
P	Tracer un CADRAN sur une SURFACE QUELCONQUE	Vercasson	4
P	Tracer des LIGNES d'un CADRAN	Fort J	5
P	NOCTURABLE	Ansel J. M	4

D	Cadran de série: fléaux ou bienfaits de la gnomonique.	Savoie D.	2
D	COLLECTION DES MAQUETTES de M.E.VILAPLANA	Gagnaire P.	8
D	Des questions, des énigmes		4
D	En fouillant les archives		3
D	En fouillant les archives: Description d'un CADRAN SIDERAL à "Bois-Adam"		5
D	TRACE et ANIMATION de CS sur ORDINATEUR	Baillet G	6
D	IMAGES DE CADRANS SOLAIRES dans le monde des emblèmes	Gagnaire P	7
D	CURIOSITE GNOMONIQUE: CADRAN AVEC LA MAIN	Fort J.	7
D	OBJET IRANIEN	Masson G	6
D	PHOTOGRAPHIE DES CADRANS SOLAIRES et LE DROIT	Gagnaire P.	8
D	Les CADRANS SOLAIRES protégés par la LOI	Deciron P	9
D	Infos-Echanges-Bric à Brac gnomonique (livres, sites internet...)		5-6-7-8
D	Les annonces		3-4
D	Mise à disposition d'un guide pour REALISER UNE EXPOSITION de cadrans solaires.	Fort J.	2

V	Temple astronomique de MNAJDRA à MALTE	Gotteland A	7
V	VOYAGE ASTRONOMIQUE au PEROU au solstice d'hiver	Gotteland A	9
V	Voyage "ASTRONOMIQUE" en EGYPTÉ"	Gotteland A	6

Des montres pour gnomonistes



Heure solaire du lieu

Fabricant inconnu



Equation du temps,
heure sidérale
etc, etc.

Chez Spierer www.golay-spiierer.ch



La montre qui fait tout... ou presque

Chez Sky Time www.skytimeonline.com

Informations de Joseph THEUBET

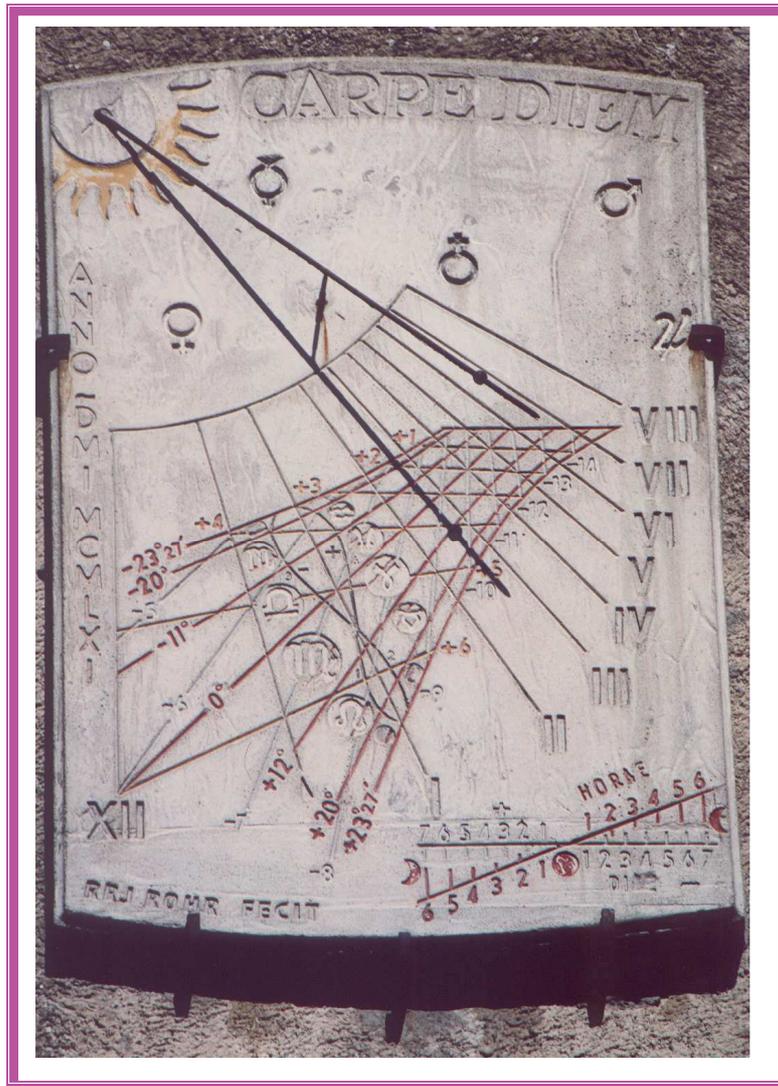


Photo Ph. Sauvageot