

De la résolution du triangle sphérique de position par l'analemme à différents cadrans de hauteur (3ème partie)*

par Yvon Massé

* voir *Le Gnomoniste*, Volume XIII (4), décembre 2006, pages 10-14 et Volume XIV (2), juin 2007, pages 23-28.

Les cadrans auxquels nous nous intéresserons dans la troisième partie de cette série d'articles ont tous en commun :

- Des lignes horaires linéaires, parallèles et perpendiculaires à la ligne de visée du soleil.
- Un fil lesté et suspendu en un point réglable sur un réseau de droites.
- Une perle coulissante à régler le long du fil lesté.

Quand la ligne de visée est dirigée vers le soleil, l'heure est indiquée par la perle sur le réseau de lignes horaires. Du fait que ces cadrans ne comportent que des lignes droites, ils sont regroupés sous l'appellation *cadrans rectilignes de hauteur* ou plus simplement *cadrans rectilignes*.

Dans cet article nous n'insisterons pas sur les développements géométriques qui permettent de valider le fonctionnement de ces cadrans (on peut se reporter pour cela à [18] ou [1]), on se bornera à donner un aperçu de leur richesse et à indiquer les relations existantes avec les figures correspondantes du premier article. On tentera aussi, en s'intéressant uniquement à leur principe, de trouver une éventuelle chronologie historique en reconstituant un instrument entièrement hypothétique, dont l'invention est toutefois plausible, qui serait à l'origine de ces cadrans, origine malheureusement perdue à ce jour.

Le cadran universel de Regiomontanus

Géomètre et astronome allemand, Johann Müller (1436-1476) est plus connu sous le nom de Regiomontanus, nom qu'il emprunta à sa ville natale Königsberg (montagne du roi) de Franconie. Il est considéré comme le réformateur de l'astronomie moderne. Elève de Peurbach, il devint ensuite son collaborateur et ami. Ensemble ils travaillèrent notamment à la réécriture commentée de l'Almageste, initiative encouragée par le cardinal Bessarion. A la mort de Peurbach et sur l'invitation de ce prélat, Regiomontanus partit en Italie où il composa divers ouvrages et enseigna l'astronomie à Padoue. De retour, il résida quelques années à Bude près du roi de Hongrie. En 1471, Regiomontanus décida de s'établir à Nuremberg où son collaborateur et mécène, Bernard Walther, lui fournit les moyens d'établir un atelier pour la cons-

truction des instruments d'astronomie et une imprimerie scientifique.

C'est de cette imprimerie que sortirent, en 1474, les premières éditions en latin et en allemand de son Calendrier, opuscule d'une soixantaine de pages qu'on qualifierait plutôt aujourd'hui d'almanach. Cet ouvrage rencontra un grand succès, ses multiples rééditions et traductions font qu'aujourd'hui il est relativement facile de trouver cet incunable dans les bibliothèques.

A la fin de l'ouvrage, se trouve la gravure sur bois suivante qui correspond à un cadran de hauteur à heures égales. Cette gravure fera attribuer à Regiomontanus l'invention de ce cadran qui est universel dans le sens où il peut être utilisé sous différentes latitudes.

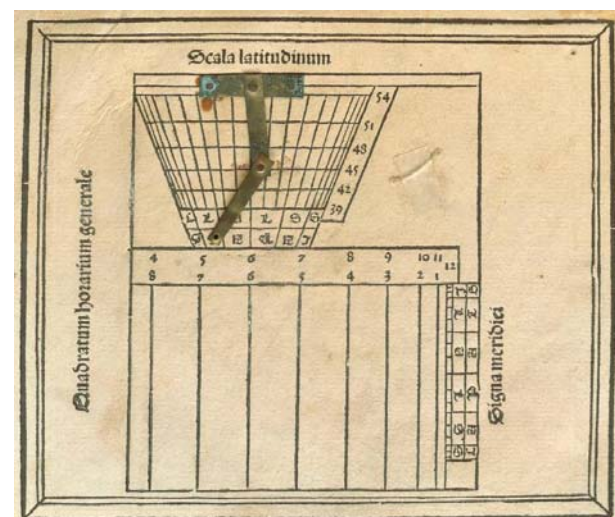


Fig. 1 Le Cadran universel de Regiomontanus (Posner Collection)

L'astronome Delambre, à qui l'on doit la mesure du méridien à la fin du XVIII^e siècle pour établir la longueur du mètre, s'intéressa aux cadrans rectilignes [7]. Il savait, par la Bibliographie Astronomique de J. de Lalande, que ce dernier possédait un exemplaire du Calendrier de Regiomontanus et qu'à la fin de cet ouvrage se trouvait la description du *Quadratum Horarium*. A la vente de la bibliothèque de

Lalande, Delambre rechercha en vain le Calendrier, il le retrouva sans le chercher pendant l'impression de son article auquel il eut le temps d'ajouter la traduction du passage correspondant au cadran. La voici telle qu'il la donna alors, elle nous servira ici de mode d'emploi:

En quelque habitation que vous soyez, vous trouverez les heures du jour par le carré horaire inséré dans ce volume, si vous commencez par bien étudier l'office de chacune des parties dont il se compose. L'échelle des latitudes est formée de lignes qui se croisent; celles qui sont parallèles entre elles font connaître les élévations du pôle par les chiffres qui sont marqués tout près à droite; celles qui descendent en convergeant marquent les signes du zodiaque et leurs degrés, de 10 en 10 minutes; les signes sont indiqués par leurs lettres initiales.

Pour plus de clarté, nommons *zodiaque de l'habitation* chacune des lignes parallèles. Chacun de ces zodiaques est divisé en signes et en degrés, par les lignes qui descendent en convergeant. Sous cette échelle des latitudes on trouve deux suites de nombres horaires. La rangée supérieure montre les heures avant midi; la rangée inférieure sert pour les heures après midi.

Chaque ligne est accompagnée de son numéro. A la dernière de ces heures, c'est-à-dire à celle de midi ou 12^h, on a joint une échelle divisée en certains espaces, dont chacun représente 10°. Ces signes et ces degrés sont également accompagnés de leurs lettres initiales. Cette dernière échelle pourrait très bien s'appeler le *zodiaque du midi*. Au-dessus de la première échelle est attaché, par un bout, un bras mobile qui se plie par le milieu, sous tous les angles possibles. Appelons *main* l'extrémité de ce bras. Cette main porte un fil à plomb; le long de ce fil peut glisser un nœud dont l'office sera de montrer les heures. Sur la dernière et la plus élevée des lignes de latitude, ou sur le dernier *zodiaque d'habitation*, il faut placer à gauche un corps, tel qu'une boule de cire, qui puisse jeter une ombre en arrière quand on le présente au Soleil.

En quelque habitation, c'est-à-dire sur quelque parallèle que vous soyez, choisissez votre zodiaque, conduisez-y la main du bras mobile, arrêtez-la sur le degré que le Soleil occupe pour le moment; et laissant pendre librement le fil à plomb, conduisez ce fil au degré du Soleil sur le *zodiaque du midi*; amenez le nœud sur le degré du Soleil. Tout étant ainsi disposé, présentez au soleil le côté gauche de l'instrument, en sorte que l'ombre de la boule de cire s'étende le long de la dernière ligne de latitude; aussitôt la situation du nœud entre les lignes horaires vous indiquera l'heure que vous cherchez.

Delambre reportera cette traduction avec quelques légères modifications dans son Histoire de l'Astronomie du Moyen Age [8] en apportant ensuite le commentaire suivant:

Regiomontan n'en dit pas davantage. [...] Pour tout le reste, il faut absolument tout deviner. Il n'est donc pas bien étonnant que la démonstration ait été longtemps omise et sans doute ignorée de tous les auteurs de Gnomonique. Regiomontan ne s'attribue pas cette invention; il n'en nomme pas l'auteur, mais l'étude particulière qu'il avait faite des livres arabes nous persuade qu'il tenait cette invention d'un auteur de cette nation. En attendant, rien n'empêche qu'on ne la donne à Regiomontan, par qui nous la connaissons, jusqu'à ce que nous la retrouvions dans un livre plus ancien que son Calendrier [...]

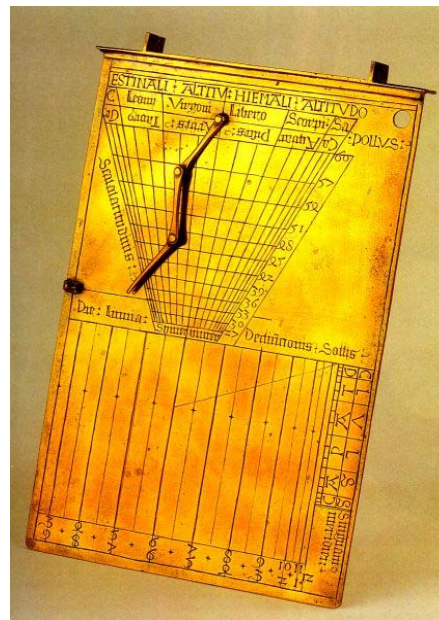


Photo 1 Magnifique cadran de Regiomontanus datant de la fin du XV^e siècle. Il est conservé au musée Huelsmann de Bielefeld en Allemagne.

On peut résumer le principe du tracé de ce cadran à la Fig. 2. Deux trigones des signes (triangle isocèle formé avec les angles de déclinaison du soleil à l'entrée de chaque signe du zodiaque) sont disposés à 90° autour du point Q. La longueur QZ_1 sera la base qui donnera la grandeur du cadran. Le demi-cercle de rayon QZ_1 découpé suivant les angles horaires Ah donnera la position des lignes horaires. Les angles Φ de latitude tracés autour du point Z_1 donneront la position des *zodiaques de l'habitation*.

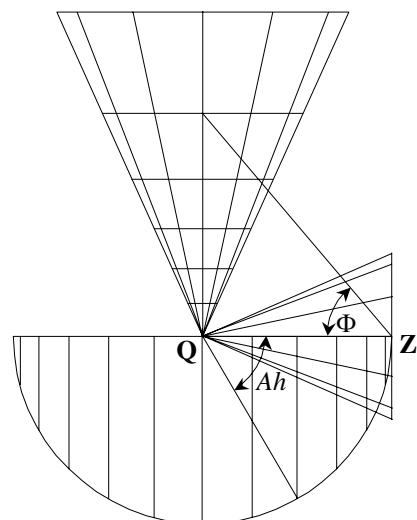


Fig. 2 Principe du tracé de l'Universel de Regiomontanus

La figure suivante montre comment on peut relier le cadran de Regiomontanus à la figure 4 du premier article (les repères sont identiques). C'est au point de suspension du fil qu'il faut placer le centre du cercle que décrit la perle avec le point Q à la pointe du trigone. Le cercle sera d'autant plus grand que la latitude sera importante mais la corde $Z_1Z'_1$ sera toujours comprise entre les lignes de midi et minuit. Sa décomposition en angles horaires se fera ainsi toujours sur les mêmes lignes horaires.

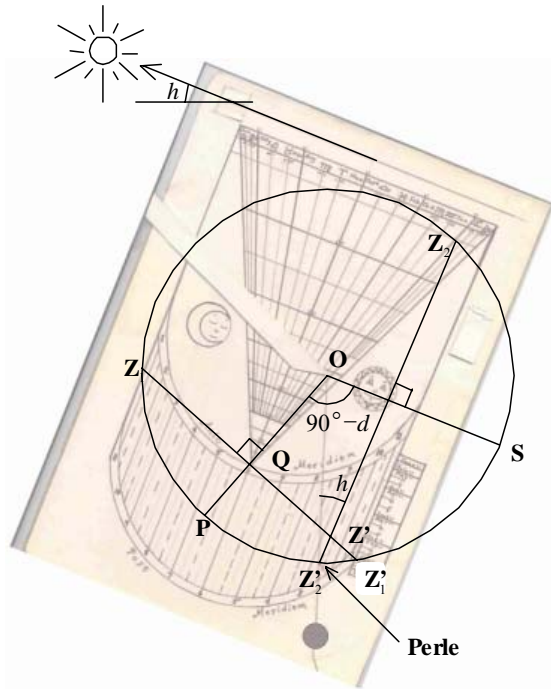


Fig. 3 L'Universel de Regiomontanus orienté au soleil (Photo de Karen Robinson {2})

L'angle $90^\circ - d$ nous donne le rayon OS parallèle à la ligne de visée. De ce fait, quand le cadran pointe vers le soleil, la position de la perle correspond au point Z'_2 et, par conséquent, indique l'heure sur le réseau des lignes horaires.

La Navicula de Venetiis

On ne peut pas considérer l'Universel de Regiomontanus sans évoquer la *Navicula de Venetiis* (petit navire de Venise) qui comporte sur sa face principale un cadran du type Regiomontanus et qui a parfois été présenté comme son ancêtre. La Navicula est un instrument médiéval dont on a conservé quelques rares exemplaires, les plus anciens sont tous de facture anglaise et datent de la première moitié du XV^e siècle [19] {3}. Cet instrument a été très mal compris jusqu'à récemment; ce n'est qu'à la lecture des manuscrits du XV^e siècle, qui décrivent comment le fabriquer et l'utiliser, qu'on peut apprécier toute son ingéniosité et se convaincre que l'auteur de la Navicula connaissait parfaitement la théorie de l'Universel de Regiomontanus ou, du moins, la façon de le tracer correctement [13].

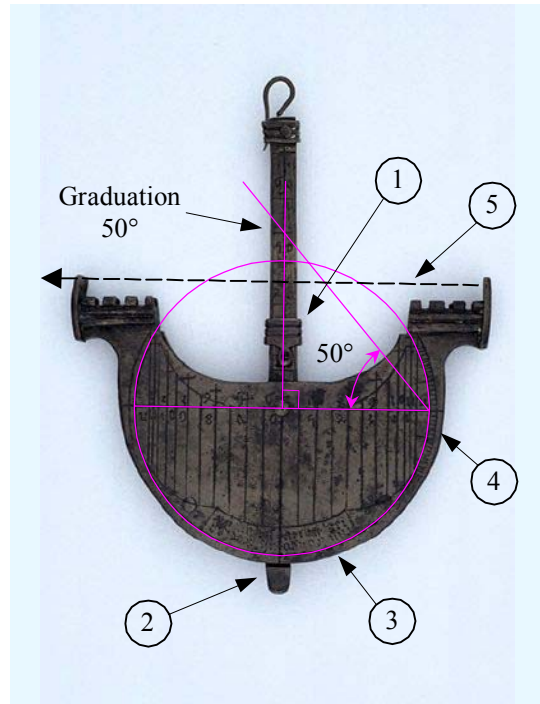


Fig. 4 Navicula du Museum d'histoire des sciences à Oxford

La première remarque à prendre en compte avant de considérer le mode d'emploi de la Navicula est la façon d'obtenir l'échelle des latitudes graduée sur son mât (voir Fig. 4). Pour déterminer la position de ces graduations, contrairement à l'Universel de Régiomontanus, la base du triangle rectangle utilisé n'est pas la distance entre les lignes horaires de 6 et 12h mais le rayon du cercle sur lequel est reporté le zodiaque de midi (4) et dont le centre correspond à l'axe de rotation du mât.

La Navicula s'utilise ainsi:

- Faire glisser le curseur (1) sur le mât pour faire correspondre le point de suspension du fil à la latitude du lieu.
- Incliner le mât de façon que son index (2) corresponde à la date du jour sur le calendrier zodiacal (3). Les signes du printemps et de l'été sont à droite, dans ce cas le mât bascule vers la gauche.
- Tirer le fil pour le faire passer à la date du jour sur le calendrier zodiacal (4).
- Sans modifier la position du fil, régler la perle coulissante sur la ligne de midi comme indiqué à la Fig. 5. C'est ici le mode opératoire spécifique de cet instrument qu'il est important de bien appréhender sous peine de se méprendre sur la précision que l'on peut en obtenir.
- Orienter la ligne de visée (5) dans la direction du soleil en maintenant la Navicula dans le plan vertical.
- La perle indique alors l'heure vraie sur le réseau de lignes parallèles.

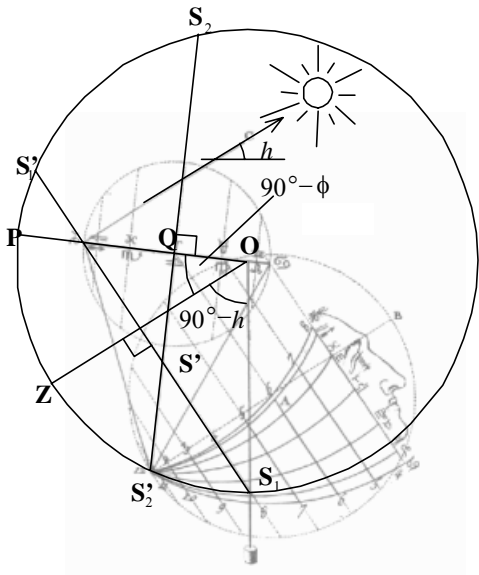


Fig. 7 Le Capucin tel qu'on peut le trouver dans les Récréations Mathématiques et Physiques. Le parcours de la perle est remplacé par des arcs de cercle.

L'angle $90^\circ - \Phi$ nous donne ensuite le rayon **OZ** parallèle à la ligne de visée. Quand le cadran est correctement orienté au soleil, le fil nous donne le point **S₁** sur le cercle et par suite l'heure sur le réseau des lignes horaires. Ces droites sont la décomposition en angles horaires de la corde **S₂S'₂** par des parallèles à la corde **S₁S'₁**.



Photo 2 Capucin de poche datant du XVII-XVIII^e siècle.
© Musée d'histoire des sciences de Genève.

Le cadran universel d'Apian

Pour passer du Capucin à l'Universel d'Apian, l'illustration de Fer J. de Vries suivante parle d'elle-même. L'idée est de tracer sur un même cadran, à partir d'un unique réseau de droites horaires, des Capucins pour différentes latitudes en maintenant fixe le point Q de la Fig. 7.

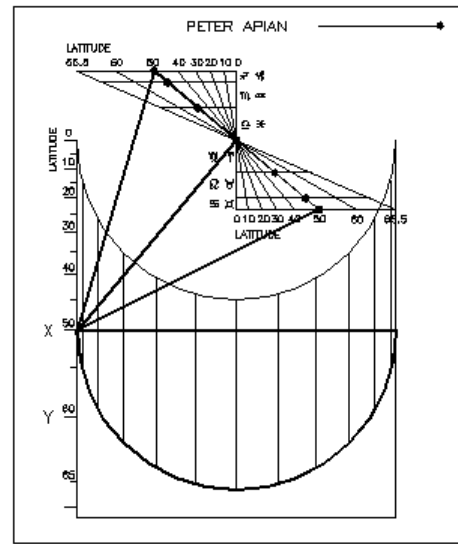


Fig. 8 Relation entre le Capucin et l'Universel d'Apian proposé par F. J. de Vries [16]{4}

Le point de suspension du fil lesté est alors déterminé par l'intersection de lignes en forme de papillon paramétrées en déclinaison et en latitude. C'est Apian qui donna en 1532 la première représentation imprimée de ce cadran dans son ouvrage *Quadrans Apiani Astronomicus*.

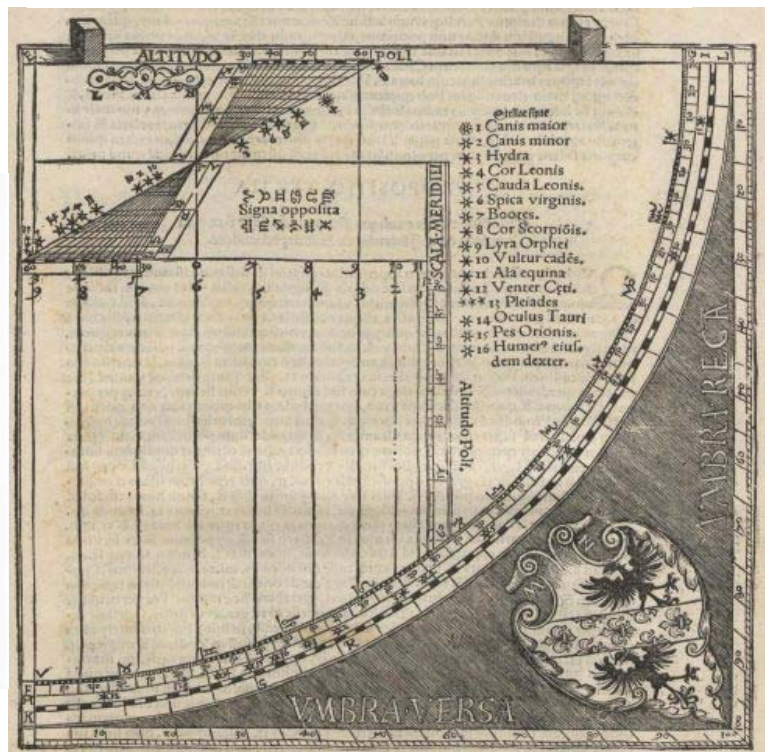


Fig. 9 L'Universel d'Apian tel qu'il fut publié en 1532 (Reproduction SLUB)

Remarquons que le réglage de la perle se fait à gauche sur la Fig. 8 tandis qu'il est prévu à droite sur la Fig. 9. Si on alterne ces deux possibilités en fonction des saisons, notamment suivant le signe de la déclinaison du soleil, on peut remplacer le "papillon" de suspension du fil par un "chapeau pointu" tel qu'on peut le voir à la figure suivante.

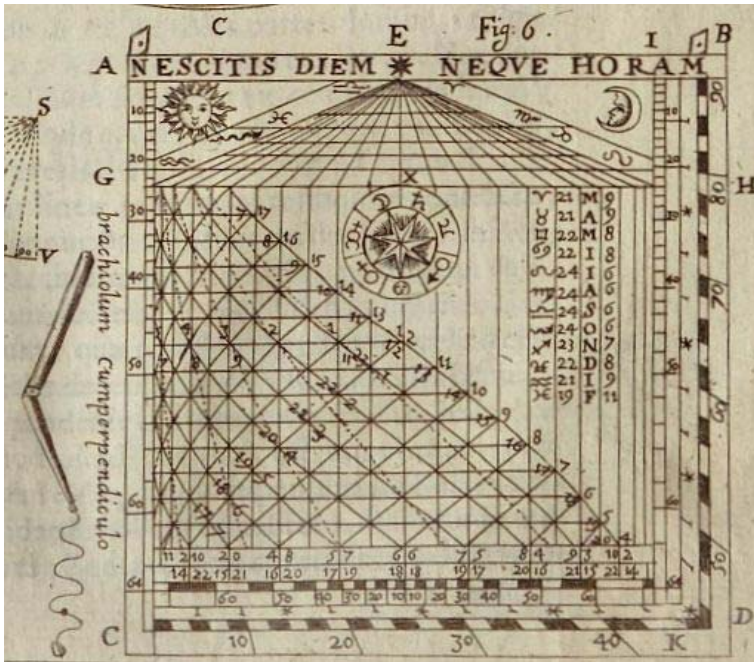


Fig. 10 Variante de l'Universel d'Apian extraite d'*Ars magna lucis et umbrae* d'A. Kircher (MPIWG Library Collection)

Le cadran de Saint-Rigaud

François de Saint-Rigaud naquit le 3 janvier 1606, il fut admis dans la Compagnie de Jésus l'année de ses 18 ans, le 6 septembre 1624. Dès lors, il vécut dans, par et pour les livres, en digérant de grandes quantités, pour apprendre et transmettre à ses élèves. Il enseigna au collège de la Trinité à Lyon, actuel lycée Ampère, la grammaire, la rhétorique, la philosophie, la théologie, l'Écriture Sainte, les mathématiques et enfin l'hébreu. Il mourut à Lyon, le 27 septembre 1673.

Saint-Rigaud a beaucoup écrit, mais peu lui importait de publier. Son confrère, le P. Jean Bertet, écrivait à son sujet: "Je le persécute incessamment de mettre au jour 7 ou 8 traités commencés, qu'il m'a communiqués". On peut cependant tenir pour acquis qu'il fit imprimer deux ouvrages cités dans la Bibliothèque de la Compagnie de Jésus [10]:

- Système nouveau du Ciel
- Analemma

Jacques Ozanam est né en 1640 à Boulogneux, village situé entre Bourg-en-Bresse et Lyon. Adolescent il se passionna pour les mathématiques et, jeune homme, il s'installa à Lyon où il les enseigna pour en vivre. Lyonnais et mathématicien, séparé seulement par une différence d'âge de 34 ans, Saint-Rigaud et Ozanam se sont peut-être rencontrés voire connus, l'histoire ne nous éclaire pas sur ce point. Ozanam eut toutefois connaissance de la publication de Saint-Rigaud. Il la présenta dans ses *Récréations Mathématiques et Physiques* dès leur première édition en 1694 à la suite de la description du Capucin. Il l'introduisit par cette phrase qui sera reprise systématiquement dans la vingtaine de rééditions qu'a connues son ouvrage, refonte de Montucla comprise:

Ce Cadran tire son origine d'un certain Cadran rectiligne universel, qui a été autrefois publié par le P. de Saint-Rigaud Jésuite, sous ce titre: *Analemma novum*.

Il donne ensuite la description de cette analemme (voir Fig. 11) avec son mode d'utilisation ainsi qu'une petite adaptation personnelle: des courbes en forme de collier qui n'ont, en fait, pas de lien direct avec l'analemme.

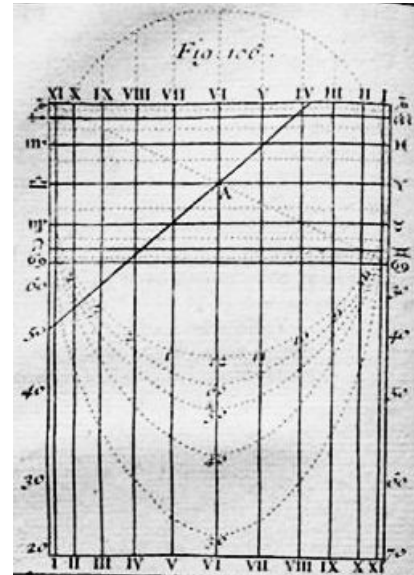


Fig. 11 L'Analemma du P. de Saint-Rigaud adapté par Ozanam

On peut facilement remarquer que cette analemme est de la famille de l'Universel d'Apian. De l'ensemble des lignes composant le papillon, Saint-Rigaud n'a gardé que les lignes parallèles horizontales, les lignes obliques sont à tracer suivant la latitude de l'observation, à partir du point A, en utilisant les graduations de la ligne verticale la plus à gauche. La ligne de midi sur laquelle on doit régler la perle est située à droite.

Avec l'aide de Paul Gagnaire, Lyonnais, nous avons longuement recherché la publication *Analemma Novum*, sans succès. Notre seule consolation fut d'aboutir à la conclusion que cette publication n'a eu qu'une faible diffusion ce qui conforta l'intuition initiale que sans l'ouvrage d'Ozanam cette publication serait sans doute ignorée de nos jours. Ozanam a d'ailleurs peut-être fait bien plus que d'éviter cet oubli, par le nombre important des rééditions de son ouvrage il a fortement marqué les esprits si bien qu'on nomme facilement aujourd'hui le Capucin *cadran de Saint-Rigaud*.

Le sabot à voile

Dans son article A "universal" Capucin Dial [16], {4} paru dans le bulletin de la NASS, F. J. de Vries nous présente le cadran universel suivant conçu par le Hollandais Jan Kragten en 1992. J. Kragten baptisa son cadran *zeilende klomp*, soit en français: le sabot à voile.

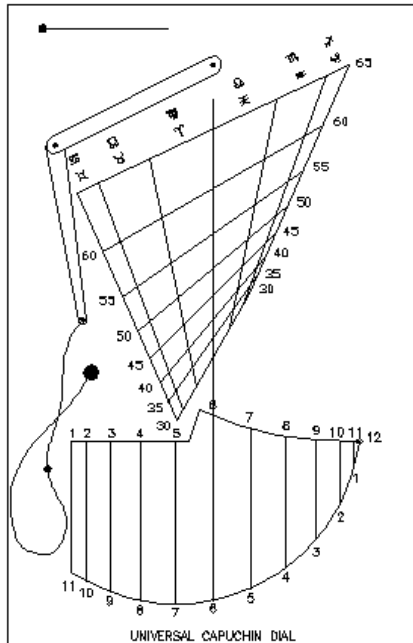


Fig. 12 Le sabot à voile de J. Kragten (figure de F. J. de Vries)

Ce cadran est un subtil mélange des cadrans précédents avec la particularité de simplifier le réglage de la perle en le ramenant, dans tous les cas, à la pointe du sabot. Toutes les lignes utiles restent cependant droites, ce qui fait que ce cadran appartient de plein droit à la famille des cadrans rectilignes.

Chronologie historique

Avant d'aborder ce chapitre, rapportons ici une conclusion de Delambre [8] qui, nous l'avons vu, avait recherché l'origine des cadrans rectilignes.

Nous n'avons trouvé chez eux [les gnomonistes arabes] aucun vestige du cadran universel de Regiomontan, non plus que des cadrans analemmatiques [il faut entendre ici *les cadrans rectilignes*] qui donnent l'heure par la hauteur du soleil; ils n'avaient aucune idée des angles au centre des divers cadrans.

Nous trouverons ces angles et diverses autres nouveautés, dans les premiers auteurs européens qui ont écrit sur la Gnomonique; mais ces géomètres ne se donnent pas pour inventeurs de ces innovations heureuses. Il y a donc dans l'histoire de la Gnomonique une lacune qu'il nous a été impossible de remplir. Nous voyons des progrès marqués, sans savoir précisément à qui nous en avons obligation. Ces découvertes ont précédé probablement l'invention de l'Imprimerie. Les ouvrages originaux se sont perdus; la tradition nous a transmis ce qu'ils renfermaient de plus utile. Les plus anciens d'entre ces auteurs, Munster et Schoner ont affecté d'imiter les Arabes, en supprimant toutes les démonstrations; comme Albatagnius et Ebn-Jounis, ils se sont bornés à donner des constructions reposant sur des principes qui n'ont été exposés nulle part; il en résulte une obscurité qu'il n'est pas aisé de dissiper.

Deux siècles plus tard, cette conclusion est malheureusement toujours d'actualité. Le Dr. David A. King, professeur à la faculté de Frankfort et spécialiste des sciences orientales médiévales, a toutefois trouvé certains éléments communs entre la Navicula de Venetiis et un cadran universel donnant l'heure aux étoiles conçu par Habash à Bagdad au IX^e siècle

[17]. Il a ainsi été conduit à formuler l'hypothèse, non confirmée, qu'Habash pourrait être l'inventeur des cadrans rectilignes universels.

Il fait également remarquer qu'il existe encore une grande quantité de manuscrits médiévaux traitant d'astronomie qui attendent d'être étudiés et que la réponse à cette énigme a des chances de se trouver dans ceux-ci.

D'autres auteurs dont M. Archinard [11], G. Fantoni [12] et N. Severino [14] ont voulu retrouver une chronologie historique du Capucin, de la Navicula et du Regiomontanus par déduction logique. Ils s'accordent tous sur le fait que le Capucin, cadran particulier, a précédé l'universel. Leurs raisonnements ont aussi en commun de ne pas prendre en compte l'Universel d'Apian, peut-être parce qu'il est jugé plus tardif ou que son origine ne présente aucun mystère. Enfin, concernant la Navicula, les opinions divergent mais aucun de ces auteurs n'a considéré son mode opératoire. Concluons donc ici rapidement sur ce dernier instrument qui, au vu des raffinements utilisés pour sa construction, ne peut, à mon point de vue, que découler de la connaissance parfaitement assimilée du principe de l'Universel de Regiomontanus.

Si on introduit dans la réflexion l'Universel d'Apian on ne peut que se poser cette question lancinante: pourquoi le passage du particulier à l'universel s'est-il fait en direction du cadran de Regiomontanus alors qu'il semble bien plus évident vers l'Universel d'Apian? En effet, si on associe les différents cadrans d'après les projections dont ils découlent en allant du particulier à l'universel, on obtient le synoptique suivant:

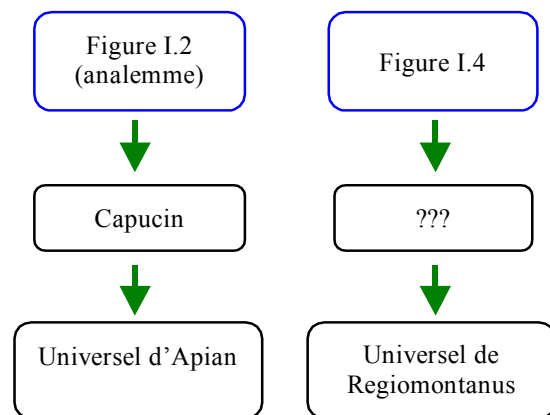


Fig. 13 Liens logiques à partir des figures du premier article

L'équivalent au Capucin dans la progression de la figure I.4 serait, par complémentarité, un cadran indiquant l'heure pour différentes latitudes mais pour une seule déclinaison du

soleil. Cette possibilité qui m'a longtemps paru sans intérêt, prend tout son sens quand on l'associe à une de préoccupation majeure des musulmans depuis le début de l'Islam: connaître la direction de La Mecque. Une méthode, connue des scientifiques médiévaux [15] et encore utilisée de nos jours, consiste à observer la direction du soleil à l'instant où il se trouve au zénith de La Mecque. Par chance, en effet, cette ville est située dans la zone intertropicale et à deux périodes dans l'année, autour du 28 mai et du 16 juillet Grégorien, le soleil passe à sa verticale à midi vrai. L'heure étant de nos jours une mesure précise et facilement accessible, il est assez simple de déterminer cet instant. Mais ce n'était pas le cas au moyen âge et les scientifiques arabes de cette époque ont pu avoir recours à un moyen qu'ils avaient coutume d'utiliser: la hauteur du soleil.

Supposons que l'on se trouve à Tolède, en Espagne, à l'instant où le soleil est à la verticale de La Mecque. Sur la figure suivante on peut voir l'éclairement de la sphère terrestre à cet instant particulier.

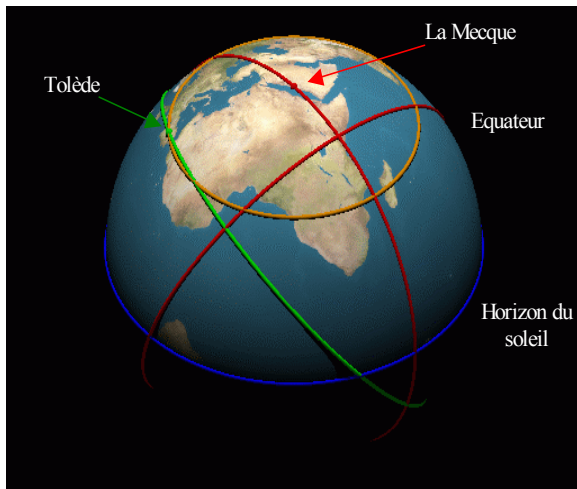


Fig. 14 Le soleil, à la verticale de La Mecque, est vu de Tolède à une certaine hauteur, hauteur relevée par tous les observateurs situés sur le cercle orange.

Regardons le globe terrestre depuis l'est de l'Arabie et projetons les cercles de la sphère sur le plan du méridien de La Mecque (voir Fig. 15, les couleurs sont conservées).

Plaçons la direction du soleil verticalement, on peut alors dessiner, avec l'angle $\Phi_M \approx 21,5^\circ$ correspondant à la latitude de La Mecque, la trace de l'équateur et l'axe polaire qui lui est perpendiculaire. De l'équateur, en utilisant l'angle $\Phi_T \approx 40^\circ$ correspondant à la latitude de Tolède, dessinons la corde $Z_1Z'_1$ répondant à son parallèle. Rabattons le sur le plan de la figure et, avec l'angle $\Delta l \approx 44^\circ$ correspondant à la différence de longitude entre La Mecque et Tolède, plaçons cette dernière ville sur la figure.

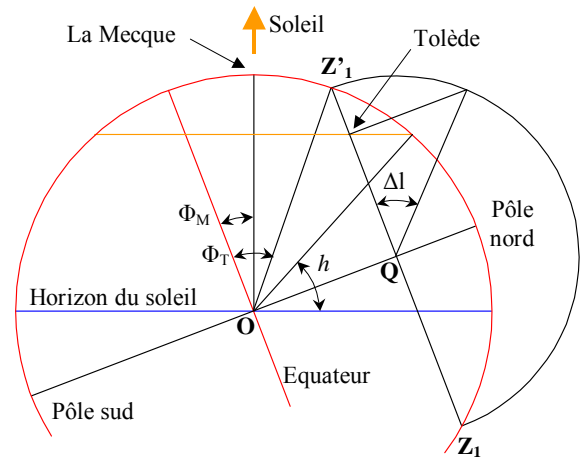


Fig. 15 Projection des différents cercles de la sphère terrestre sur le plan du méridien de La Mecque.

On peut alors tirer la corde orange correspondant à la trace du cercle reliant les observateurs qui voient le soleil à la même hauteur, hauteur qu'on obtient par l'angle h entre le rayon menant à l'extrémité de cette corde et l'horizon du soleil.

Faisons tourner la figure précédente de 90° et profitons-en pour graduer la corde $Z_1Z'_1$ pour plusieurs différences de longitude suivant le principe utilisé pour obtenir la corde orange.

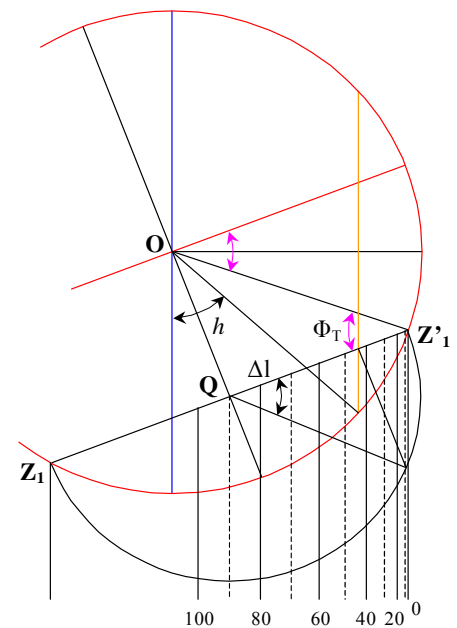


Fig. 16

Imaginons à présent qu'on suspende au point **O** un fil avec une perle telle qu'elle décrive le cercle rouge. Dans la position de la Fig. 16 le fil recouvrira la partie basse du diamètre bleu mais si nous inclinons cette figure dans le sens des aiguilles d'une montre en suivant l'ascension du soleil, la perle se déplacera à travers le réseau de lignes parallèles jusqu'à atteindre la ligne orange. Le soleil sera alors, à cet instant précis, au zénith de La Mecque.

Pour des latitudes d'utilisation différentes, il suffit de grader la ligne **OQ** en conséquence, on obtient ainsi l'instrument de la figure suivante que nous appellerons *Cherche-qibla*.

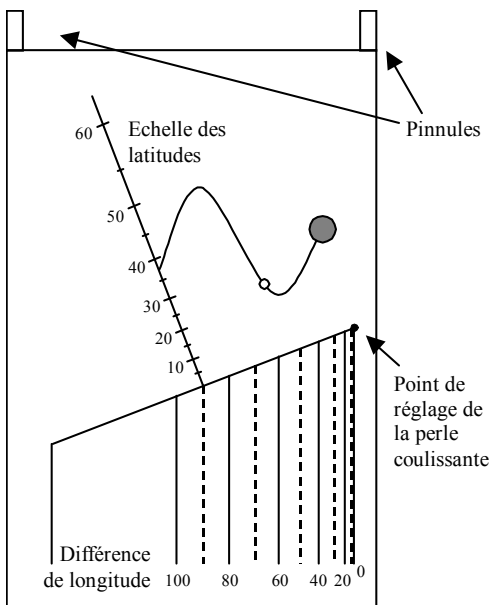


Fig. 17 Le Cherche-qibla avec ses échelles, son fil et ses pinnules.

Cet instrument utilisé dans le cadre de notre exemple se présentera de la façon suivante.

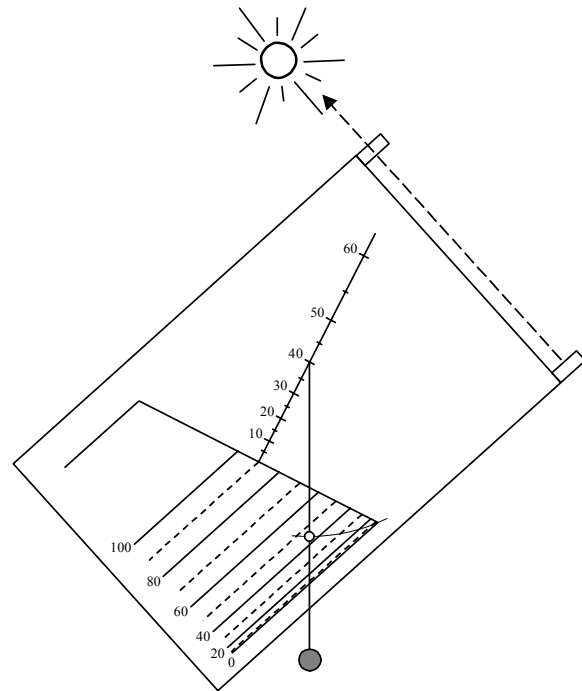


Fig. 18 Le Cherche-qibla utilisé à Tolède le 28 mai avant midi alors qu'il relève la hauteur du soleil à l'instant où il se trouve au zénith de La Mecque. La direction du soleil et de l'instrument indiquent à cet instant précis la qibla.

Conçu pour fonctionner en tout lieu de la terre, le Cherche-qibla comporte déjà le germe de l'universalité. Pour obtenir l'Universel de Regiomontanus, il ne reste plus qu'à faire le passage de la différence de longitude à la notion de temps, équivalence bien connue des navigateurs, puis à compléter l'instrument pour toutes les déclinaisons du soleil.

L'introduction de cet instrument hypothétique permet de revoir sous un nouveau jour le synoptique des liens logiques, voire historiques, entre les différents cadrans rectilignes (voir Fig. 19). Le Cherche-qibla, s'il a existé ou si un scientifique arabe a imaginé son principe, pourrait être à l'origine du premier cadran universel de type Regiomontanus dont la connaissance se serait perpétuée soit par un savoir-faire d'artisan ou par des manuscrits perdus ou inconnus à ce jour. Cette connaissance aurait donné le jour à une adaptation ingénieuse sous la forme de la Navivula de Venetiis. Enfin, à la Renaissance européenne, la grande diffusion des Calendriers de Regiomontanus aurait largement fait connaître l'invention arabe au point d'éclipser leurs auteurs et de donner l'illusion d'un nouvel instrument.

Rien n'interdit ensuite de penser qu'on ait trouvé une simplification à l'Universel de Regiomontanus, avant ou après la diffusion de ses Calendriers, pour obtenir le Capucin. Une autre possibilité est que le Capucin ait été imaginé indépendamment à partir de l'analemme, largement connu et utilisé depuis l'antiquité. Du Capucin découle ensuite naturellement, nous l'avons vu, l'Universel d'Apian.

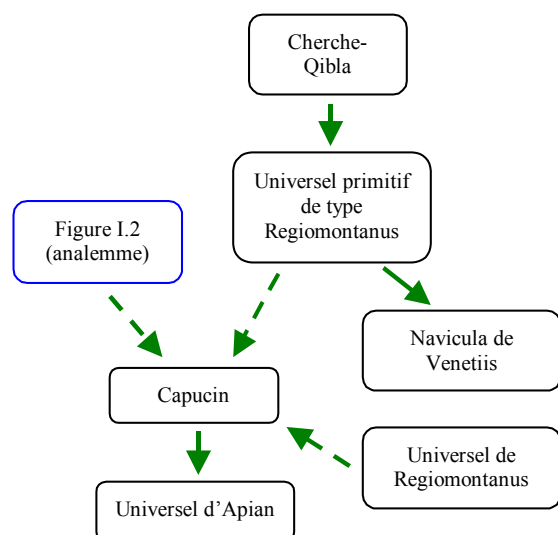


Fig. 19 Hypothèse des liens historiques entre les différents cadrans rectilignes

Peut-être aurons-nous la chance de retrouver ou quelques manuscrits ou quelques instruments qui permettront de confirmer l'existence du Cherche-qibla et par suite cette chronologie qui, pour l'instant, bien que satisfaisante d'un point de vue théorique n'est que purement hypothétique.

Je tiens ici à remercier particulièrement Mrs Denis Savoie et Armin Zenner pour les documents importants qu'ils m'ont gracieusement fait parvenir. Sans eux cet article n'aurait pas pu avoir la dimension historique que j'ai tenté de lui donner. Je remercie aussi vivement Mr Paul Gagnaire qui m'a beaucoup aidé à marcher sur les traces du Père de Saint-Rigaud. Nous n'avons malheureusement pas pu atteindre le Graal de nos recherches: sa publication *Analemma Novum*.

Dans le prochain article nous aborderons les cadrans donnant l'azimut du soleil à partir de sa hauteur. La majorité de ces instruments fut conçue par J.-H. Lambert à la fin du XVIII^e siècle.

Bibliographie:

- [1] REGIOMONTANUS: *Calendarium latinum / Der deutsche Kalender*. 1474.
- [2] S. MUNSTER: *Compositio horologiorum*. 1531.
- [3] P. APIAN: *Quadrans Apiani Astronomicus*. 1532.
- [4] A. KIRCHER: *Ars magna lucis et umbrae*. *Iconismus XII*, p 511. 1646.
- [5] C. F. MILLIET DECHALES: *Cursus mathematicus*. Tome III pp 257-263. 1674.
- [6] J. OZANAM: *Récréations Mathématiques et Physiques*. Volume 1, problème XIII: Décrire un Cadran portatif sur une Carte. Paris. 1694.
- [7] J.-B. DELAMBRE: *Théorie purement trigonométrique de l'analemme rectiligne universel et particulier*. *Connaissance des Temps*. 1819.

- [8] J.-B. DELAMBRE: *Histoire de l'Astronomie du Moyen Age* pp 323-335. Paris. 1819.
- [9] A. W. FULLER: *Universal rectilinear Dials*. *The Mathematical Gazette*. Vol 41. 1957.
- [10] C. SOMMERVOGEL: *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*. Tome VII, colonnes 439 et 440. 1960.
- [11] M. ARCHINARD: *Les cadrans solaires rectilignes*. *Nuncius* 3:2. 1988.
- [12] G. FANTONI: *Orologi Solari - Trattato completo di Gnomonica* pp 412-413. Rome. 1988.
- [13] J. KRAGTEN: *The little Ship of Venice – Navicula de Venetiis*. Eindhoven. 1989.
- [14] N. SEVERINO: *Sulla successione cronologica degli orologi solari d'altezza rettilinei*. *Antologia di Storia della Gnomonica*. Roccasecca. 1995.
- [15] D. A. KING: *Astronomie et société musulmane: "qibla", gnomonique, "mīqāt"*. Sous la direction de R. RASHED: *Histoire des sciences arabes*. Tome 1 (Astronomie, théorique et appliquée) pp 173-215. Editions du Seuil. 1997.
- [16] F. J. de VRIES: *A "universal" Capucin Dial (or The Sailing Wooden Shoe)*. *The Compendium Volume* 6 Number 1. Mars 1999.
- [17] D. A. KING: *14th-century England or 9th-century Baghdad ? New insights on the elusive astronomical instrument called Navicula de Venetiis*. *Centaurus*. Volume 45. 2003.
- [18] Y. MASSE: *Les cadrans de hauteur à lignes horaires rectilignes*. *Cadrans-Info* n° 10. Octobre 2004.
- [19] C. EAGLETON: *Medieval Sundials and Manuscript Sources: The Transmission of Information about the Navicula and the Organum Ptolomei in Fifteenth-Century Europe*. *Transmitting Knowledge*. Oxford university press. 2006.

Site Internet:

- {1} Les cadrans de hauteur à lignes horaires rectilignes: <http://perso.wanadoo.fr/ymasse/gnomon/democh.htm>
- {2} Karen's Sundial Page: <http://www.angelfire.com/my/zelime/sundials.html>
- {3} Epact: Navicula dial
<http://www.mhs.ox.ac.uk/epact/catalogue.php?Eber=14477&Level=Detail&Sort=InstrumentGlossaryID>
- {4} F.J.deVries: <http://www.dse.nl/~zonnewijzer/capuchin.htm>