

De la résolution du triangle sphérique de position par l'analemme à différents cadrans de hauteurs

(4e partie)*

par Yvon Massé

* Voir *Le Gnomoniste*, Volume XIII (4), décembre 2006, pages 10-14; Volume XIV (2), juin 2007, pages 23-28, et Volume XV(3), septembre 2008, pages 4-13.

Dans la dernière partie de cette série d'articles, nous aborderons principalement des cadrans de hauteur qui, au lieu de donner l'heure, donneront l'azimut du soleil.

Ces instruments furent conçus, pour la plus grande partie, par J. H. Lambert dans la seconde moitié du XVIIIe siècle. Leurs descriptions se trouvent dans son remarquable ouvrage « *Beyträge zum Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung* » (contributions à l'usage des mathématiques et leur application) [1], elles furent ensuite reprises et traduites par J. de Castillon dans le Supplément de l'Encyclopédie Diderot [2] aux entrées Azimut {1} et Cadrans solaires {2}, (voir à ce sujet l'article II, dans *Le Gnomoniste* XIV-2).

Ces cadrans n'ont, à priori, jamais été réalisés et ont été très peu commentés, c'est pourquoi nous développerons ici quelques aspects théoriques, notamment la démarche utilisée par Lambert pour parvenir à ces instruments.

Le 1^{er} cadran d'azimut

Reproduisons ci-dessous la Fig. I.5 (Fig. 5 du premier article) en la faisant tourner de telle façon que le rayon OS soit vertical. Pour un point P' donné, correspondant à une latitude et un azimut donnés, intéressons-nous à l'ensemble des positions que le point I peut occuper. Ce point est l'intersection du rayon OS et de la corde P₂P'₂, segments qui découlent des angles h et d et forment entre eux un angle droit. De ce fait, la géométrie nous apprend que le lieu des points I est un cercle de diamètre OP' (en rouge sur la figure) que nous appellerons *cercle d'azimut*. On remarquera aussi que ce cercle passe par le point R pour la même raison : le rayon OZ et la corde P₁P'₁ font entre eux un angle droit.

En prenant plusieurs positions de P' correspondant à autant d'azimut Az , on peut tracer un ensemble de cercles passant tous par O et R. Les centres de ces cercles sont donc situés sur la médiatrice du segment OR, droite parallèle à P₁P'₁ passant par le milieu de OR. On comprendra aussi qu'il y a une symétrie par rapport à l'axe OZ entre chaque cercle d'azimut Az et le cercle de son supplément $180^\circ - Az$.

Imaginons, d'autre part, que du centre O on trace des cercles concentriques de rayon OI pour différentes valeurs de déclinaison d , c'est-à-dire des cercles de rayon r avec :

$$r = OP_2 \cdot \cos(90^\circ - d) = R_V \cdot \sin d$$

R_V étant le rayon du cercle (V). Si on place maintenant ces tracés verticalement et qu'on dirige, comme sur la figure, le rayon OZ dans la direction du soleil on peut alors lire sur le réseau des cercles d'azimut, à l'intersection de la verticale du point O et du cercle de déclinaison correspondant à la date de l'observation, l'azimut de la direction du soleil.

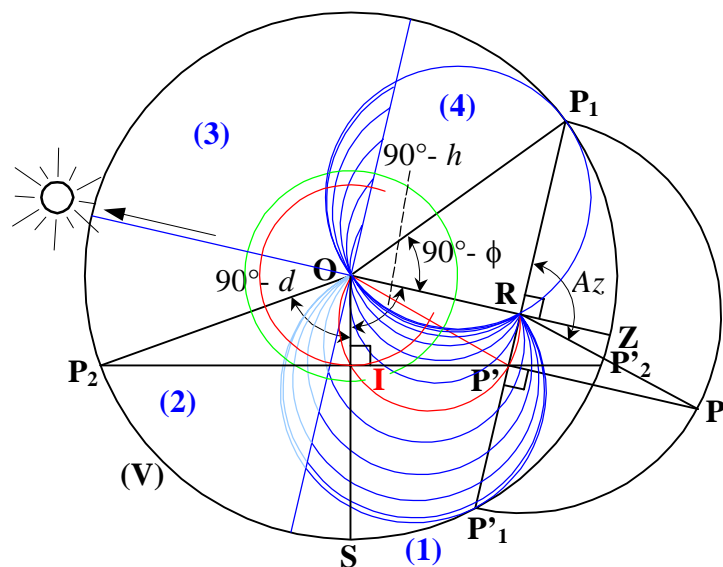


Fig. 1 Les cercles du cadran d'azimut.

Intéressons-nous à la partie utile de la figure, elle est bien sûr limitée au cercle de déclinaison $d = 23,5^\circ$ (en vert), mais on doit aussi considérer que la hauteur du soleil ne varie que de 0 à 90° . Partageons la figure en 4 parties égales à partir du rayon OZ et numérotons-les de (1) à (4). On comprend que c'est seulement le quart (1) qui est utilisé quand la déclinaison est, comme sur

la figure, positive. Quand elle est négative, c'est sur le quart (3) qu'il faut faire la lecture, on doit alors considérer la verticale au sens large, c'est-à-dire la droite qui passe par les points O et S.

En pratique, pour obtenir cette verticale, le plus simple est de suspendre un fil à plomb au point O, mais on n'a, dans ce cas, que la verticale dans la partie basse de la figure. J. H. Lambert a eu l'idée, pour pouvoir utiliser ce fil à plomb même pour les déclinaisons négatives, de pointer le soleil toujours avec l'axe OZ, mais en dirigeant dans sa direction non pas le point O, mais le point Z. De ce fait, le fil à plomb balaye alors le quart (2) et il suffit de reporter les cercles d'azimut du quart (3) dans le quart (2) par symétrie autour de l'axe OZ.

Cette symétrie fait correspondre, nous l'avons vu, les cercles d'azimut Az aux cercles d'azimut $180^\circ - Az$. Il suffit donc de prolonger les cercles du quart (1) vers le quart (2) où ils seront paramétrés avec le supplément de l'azimut. On obtient ainsi le cadran de la figure suivante qui est tracée pour la latitude de 52° , latitude correspondante à la ville de Berlin. Les cercles de déclinaison sont tracés pour des longitudes du soleil de 10 en 10° .

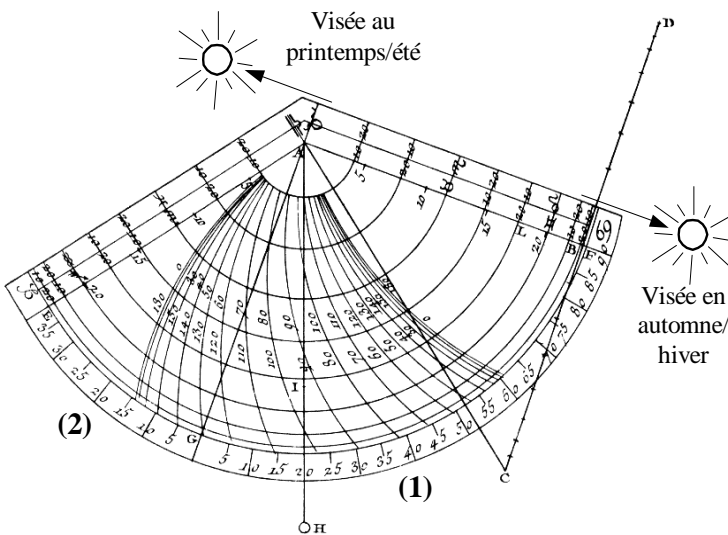


Fig. 2 Le 1^{er} cadran d'azimut de Lambert. Figure extraite du *Supplément à l'Encyclopédie Diderot*.

L'utilisation de cet instrument se passe de commentaire quand on connaît le sens de visée. Si on l'a oublié, on peut le retrouver facilement en remarquant que l'échelle des azimuts est plus étendue dans le quart (1) en comparaison de la partie (2). Le quart (1) est donc utilisé quand les jours sont plus longs que les nuits, tandis que la partie (2) s'utilise dans le cas contraire. Sur la

gravure, on peut aussi remarquer, du côté droit, la construction permettant d'obtenir le centre des cercles d'azimut. C'est, comme nous l'avons vu, une droite perpendiculaire à l'axe de visée.

Remarquons que le double paramétrage de tous les cercles d'azimut, comme exécuté sur la gravure, n'est pas nécessaire. Seuls les arcs tracés à la fois sur les parties (1) et (2), c'est-à-dire les arcs de 100/80, 110/70 et 120/60 degrés d'azimut, doivent recevoir ces 2 graduations. Les autres arcs peuvent ne recevoir qu'une seule valeur d'azimut, ce qui permet d'éviter toute confusion. Pour faciliter encore la lecture, on peut aussi suppléer aux cercles de déclinaison par l'utilisation d'une perle glissante le long du fil lesté.

Dans le cas de la Fig. 2, la hauteur du soleil relevée est de 20° . Pour une longitude du soleil de 70° , soit 10° dans les Gémeaux ce qui correspond au 31 mai, la déclinaison du soleil fait 22° et l'azimut relevé est de 100° .

L'utilisation de ce cadran est toutefois sujette à de grandes imprécisions pour les déclinaisons faibles, soit pour les périodes proches des équinoxes. À l'équinoxe même, la mesure reste théoriquement possible, mais elle est d'autant plus délicate qu'elle consiste à trouver le cercle d'azimut dont la tangente est verticale au point de suspension du fil.

Au terme de la démonstration relativement complexe que nous avons employée pour introduire ce cadran, on ne peut qu'admirer J. H. Lambert qui est parvenu à cet instrument en n'utilisant principalement que la trigonométrie plane et sphérique. C'est du moins la démarche qu'il a développée dans son ouvrage. Elle consiste à associer au triangle de position Pôle-Zénith-Soleil (voir la Fig. I.1) un triangle rectiligne qui s'avère être le triangle OIR de notre Fig. 1. Pour cela, il a recherché l'identité de 2 relations, chacune étant propre à un triangle. Concernant le triangle rectiligne, la relation est peu connue mais nous la retrouverons à l'aide de la loi des sinus en utilisant, pour éviter les renvois inutiles, les notations de la Fig. 1 que nous reporterons à la Fig. 3 :

$$\frac{OI}{\sin \hat{R}} = \frac{OR}{\sin \hat{I}}$$

$$OI = \frac{OR \cdot \sin(180^\circ - \hat{I} - \hat{O})}{\sin \hat{I}}$$

$$OI = \frac{OR \cdot (\sin \hat{I} \cdot \cos \hat{O} + \sin \hat{O} \cdot \cos \hat{I})}{\sin \hat{I}}$$

Ce qui donne au final :

$$OI = OR \cdot \cos \hat{O} + OR \cdot \sin \hat{O} \cdot \cot \hat{I}$$

Ce que Lambert fit correspondre à la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique appliquée au triangle de position, soit :

$$\cos(90^\circ - d) = \cos(90^\circ - \phi) \cdot \cos(90^\circ - h) + \sin(90^\circ - \phi) \cdot \sin(90^\circ - h) \cdot \cos(180^\circ - Az) \quad (1)$$

Il fut amené à poser :

$$\begin{aligned} OI &= \cos(90^\circ - d) \\ OR &= \cos(90^\circ - \phi) \\ \hat{O} &= 90^\circ - h \end{aligned}$$

Et enfin pour obtenir l'équivalence parfaite :

$$OR \cdot \cot \hat{I} = \sin(90^\circ - \phi) \cdot \cos(180^\circ - Az) \quad (2)$$

Soit, en remplaçant OR par $\cos(90^\circ - \phi)$:

$$\cot \hat{I} = \tan(90^\circ - \phi) \cdot \cos(180^\circ - Az)$$

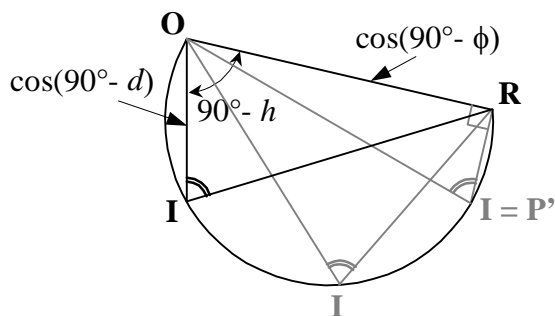


Fig. 3 Triangle rectiligne utilisé par Lambert pour introduire son 1^{er} cadran d'azimut.

Ensuite en ne considérant que l'angle \hat{I} et le coté OR, qui restent constants aussi longtemps que les angles ϕ et Az sont constants, il fit remarquer que l'ensemble des points I possibles est un arc de cercle. Pour le tracer, il proposa de prendre l'angle R droit (*), le point I correspond alors au point P' de la Fig. 1.

(*) Il y a visiblement une coquille à cet endroit dans le traité de Lambert où c'est l'équivalent de l'angle O qui est désigné pour être droit. Cette petite erreur a toutefois échappé à Castillon qui insiste particulièrement dans sa traduction en précisant que l'angle O est droit quand le soleil est sur l'horizon. L'explication du Supplément, déjà difficile à suivre, devient ici particulièrement obscure...

La distance RP' s'obtient directement par la relation (2)

$$RP' = OR \cdot \cot \hat{I} = \sin(90^\circ - \phi) \cdot \cos(180^\circ - Az)$$

D'autre part, l'angle R étant droit, le segment OP' est par conséquent le diamètre du cercle, son centre se trouve donc au milieu de OP'. De là, J. H. Lambert reconstituera progressivement tous les tracés de son cadran.

Terminons avec cet instrument par l'illustration d'une curiosité de la gnomonique : la rétrogradation de l'ombre [3] [4]. Ce phénomène se produit pour des lieux situés dans la zone inter-tropicale quand la déclinaison du soleil est de même signe que la latitude et, de plus, qu'elle lui est supérieure en valeur absolue. La Fig. 4 montre un cadran destiné à la latitude de 18° nord où les cercles d'azimut sont tracés de 15 en 15 degrés. Remarquons que le point R se retrouve dans la partie utile du cadran.

Lorsque la déclinaison du soleil est négative ou inférieure à la valeur de 18°, le cercle de déclinaison à utiliser est un cercle de type A pour lequel, dans la partie (1) comme dans la (2), on peut voir que l'azimut décroît quand le soleil s'élève. Comme sous les latitudes tempérées de l'hémisphère nord, quand il culmine l'azimut s'annule, c'est-à-dire qu'il passe plein sud. Lorsque la déclinaison du soleil est de 18°, l'azimut se lit sur le quart de cercle B. Le soleil s'élève jusqu'au zénith, point de la sphère céleste qui comprend tous les azimuts et qui correspond au point R de notre instrument.

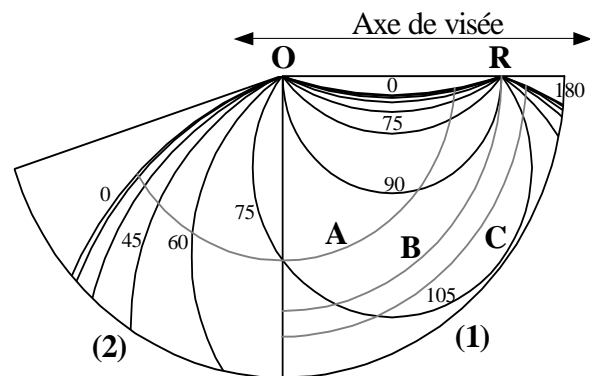


Fig. 4 Cadran d'azimut pour la latitude de 18°.

Enfin lorsque la déclinaison du soleil est supérieure à 18°, il faut alors lire l'azimut sur un arc de cercle de

type C. On peut voir dans ce cas que l'azimut du soleil, à son lever, diminue comme précédemment pour passer sous la valeur de 105° mais qu'il augmente ensuite pour repasser au-dessus de cette valeur et atteindre, à son apogée, l'azimut de 180° . C'est en quelque sorte dans ce "changement de cap" pour passer côté nord ($Az = 180^\circ$) que se produit la rétrogradation.

Adaptation pour donner l'heure

Laissons ici la place à J. de Castillon pour faire la transition du cadran précédent à un cadran similaire indiquant l'heure :

Cet instrument, qui est de l'invention de M. Lambert de l'académie royale des sciences & belles lettres de Berlin, est d'autant plus estimable, qu'on a longtemps cherché un cadran qui réunit l'avantage d'avoir les azimuts marqués par des arcs de cercle, & celui d'indiquer l'heure. C'est l'effet que fait cet instrument avec une légère addition. [...]

En effet, en comparant la relation suivante issue de (1) :

$$\sin d = \sin \phi \cdot \sin h + \cos \phi \cdot \cos h \cdot \cos(180^\circ - Az)$$

avec la formule bien connue des gnomonistes :

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

on peut se convaincre facilement qu'en remplaçant la déclinaison d du soleil par sa hauteur h , et vice versa, on obtient l'angle horaire Ah à la place du supplément de l'azimut. Géométriquement, cette transformation revient à passer de la Fig. I.5 à la Fig. I.4.

Dernier petit détail à régler : obtenir le sinus de la hauteur du soleil. Là encore Lambert n'est pas à court de ressources et il propose d'utiliser le cercle de midi en prenant pour axe de visée son diamètre qui, par ailleurs, est le rayon du grand cercle de base que nous prendrons pour unité. De ce fait, comme on peut le voir sur la Fig. 5, le sinus de la hauteur correspond à la longueur du fil comprise entre son point de suspension et son intersection avec l'arc de cercle de midi.

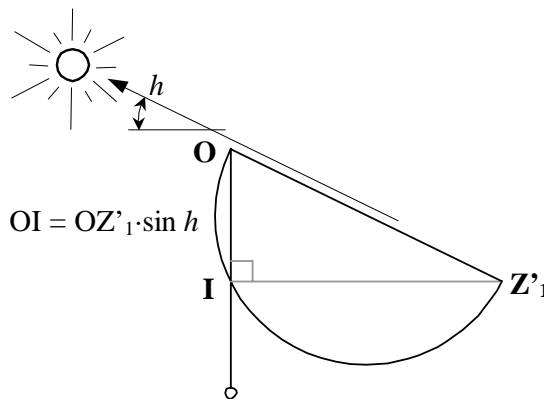


Fig. 5 Manière d'obtenir le sinus de la hauteur du soleil.

On obtient alors le cadran de la figure suivante qui s'utilise ainsi :

- Placer le plan du cadran verticalement et l'orienter au soleil en laissant pendre le fil lesté muni d'une perle coulissante.
- Dans cette position, régler la perle coulissante à l'intersection du cercle de midi.
- Porter le fil tendu sur la déclinaison du soleil au jour de l'observation en utilisant les graduations inscrites le long du cercle de midi.
- Lire l'heure à l'endroit de la perle sur le réseau de cercles horaires.

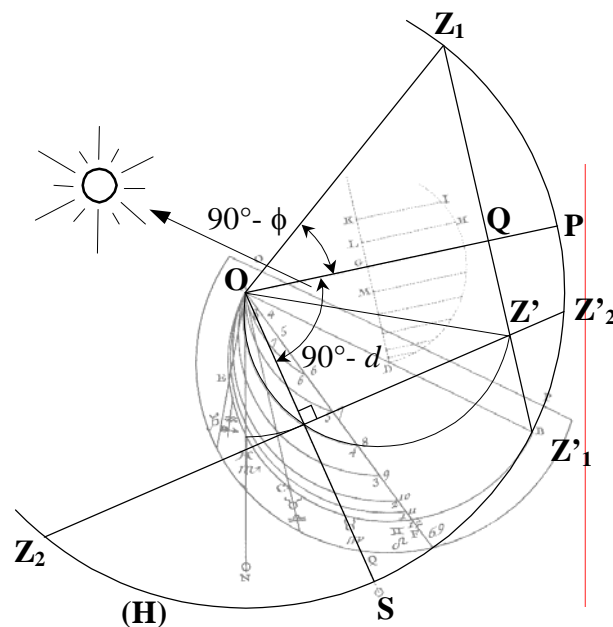


Fig. 6 Le cadran horaire de Lambert constitué d'arcs de cercle. Figure extraite du Supplément à l'Encyclopédie.

Dans le cas de la Fig. 6, le cadran est tracé pour la latitude de 52° soit celle de Berlin. La hauteur du soleil relevée est de 27° . En déplaçant ensuite le fil à l'entrée du Taureau, qui correspond à la date du 20 avril et à une déclinaison du soleil de $11,5^\circ$, on peut lire à l'emplacement de la perle qu'il est 8 h du matin ou 4 h de l'après-midi.

Certes, ce cadran n'est pas des plus pratiques ni des plus précis, notamment pour la période du solstice d'hiver, mais il présente la curiosité et l'originalité de n'être tracé qu'avec des droites et des arcs de cercle.

Comme pour le cadran précédent, les lignes de construction nécessaires pour obtenir le centre des cercles sont représentées sur la figure initiale. D'autre part, la surcharge montre le lien de ce cadran avec la Fig. I.4 et comment on peut justifier l'emploi des cercles par l'angle droit entre le rayon OS et la corde $Z_2Z'_2$.

Le 2^e cadran d'azimut

Laissons encore à J. de Castillon le soin de faire la transition vers ce nouveau cadran :

Mais les instruments faits d'une plaque entière, & non percée à jour, sont incommodes & embarrassants quand ils sont un peu grands, & ne sont pas exacts quand ils sont petits; c'est pourquoi M. Lambert a songé au secteur représenté dans la Fig. 7.

Il est constitué de :

- (1) Un secteur principal comportant les graduations d'azimut de 0, en bas, à 180° , en haut.
- (2) Un secteur secondaire comportant un calendrier zodiacal, fixé sur le secteur principal et mobile autour de l'axe O.
- (3) Une réglette de visée fixée sur le secteur secondaire et articulée autour de l'axe P'_2 .

Son utilisation est la suivante :

- Régler la réglette de visée à la date de l'observation sur la graduation du secteur secondaire (2).
- Maintenir le secteur principal (1) dans le plan vertical et de telle façon que la graduation d'azimut soit aussi verticale.
- En faisant tourner le secteur secondaire autour de l'axe O, amener la réglette de visée (3) dans l'axe du soleil.
- Lire l'azimut du soleil à l'intersection de la graduation et de la réglette de visée.

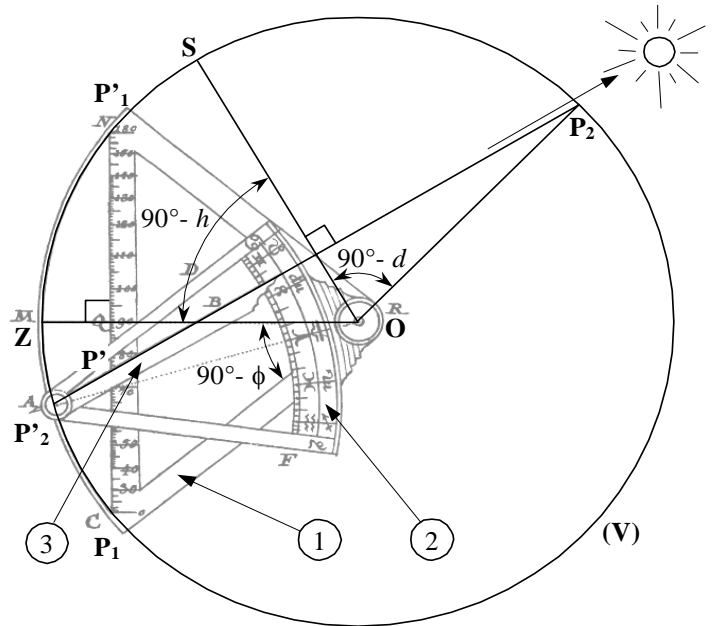


Fig. 7 Le 2^e cadran d'azimut de Lambert. Figure extraite de *Beyträge zum Gebrauche*.

L'instrument de la Fig. 7 est conçu pour la latitude de 52° (Berlin). Sa réglette est réglée pour une déclinaison de 15° ce qui correspond au 1^{er} mai ou au 12 août, elle relève une hauteur du soleil de 30° . L'azimut correspondant est de 75° , est si l'observation est faite le matin, ouest le soir.

On peut voir que cet instrument est une application directe de la Fig. I.5 qu'il est possible de superposer directement sur l'instrument. En effet, on peut aisément associer l'échelle des azimuts à la corde $P_1P'_1$ et la réglette de visée à $P_2P'_2$. En traçant les rayons OZ et OS perpendiculaires à ces cordes, on retrouve alors facilement les angles $90^\circ - \phi$, $90^\circ - h$ et $90^\circ - d$ dans l'ordre de la Fig. I.5.

Pour parvenir à cet instrument, J. H. Lambert n'a toutefois pas utilisé cette démarche. Voici en quelques mots comment il a procédé :

- Il considère le triangle sphérique situé sous l'horizon et formé par l'équateur, le plan perpendiculaire à la direction du soleil (horizon du soleil) et l'horizon lui-même. Il comprend les angles indiqués sur la Fig. 8.
- Lambert s'intéresse ensuite à la projection stéréographique du triangle ACE sur le plan tangent à la sphère en E (ce plan est parallèle au vertical du soleil). La projection de EC et EA sont des segments de droite qui correspondront respectivement à P'_1P_1 et P'_2P_2 , celle de AC donnera l'arc de cercle reliant P_1 à P'_2 .

- En recherchant par des moyens mi-géométriques mi-algébriques le centre de l'arc de cercle et les propriétés de la projection obtenue, Lambert reconstitue successivement tous les éléments de son instrument (**).

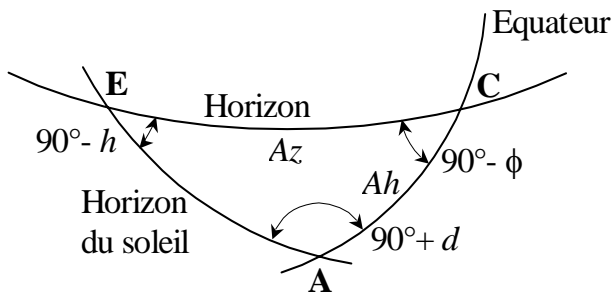


Fig. 8 Triangle sphérique initial utilisé par J. H. Lambert pour obtenir son 2^e cadran d'azimut.

Ici encore J. H. Lambert ne semble pas avoir utilisé la démarche qui semble la plus simple, mais c'est oublier que les chemins qui mènent à une découverte sont souvent des plus inattendus.

Sa généralisation

Pour généraliser son instrument à toutes les latitudes d'observation, Lambert a eu recours au même principe que pour son cadran horaire particulier (voir article II). On peut voir sur la Fig. 9, en remarquant qu'elle provient de la Fig. 7 après inversion droite/gauche, qu'il a imaginé de placer l'échelle des azimuts sur une règlette (4) mobile dans un châssis rectangulaire (1).

Le châssis comporte l'axe de rotation O pour le secteur secondaire (2) et la règlette (4) est réglable en fonction du lieu d'observation de telle façon qu'elle soit vue depuis O sous l'angle double du complément de la latitude. La géométrie du secteur secondaire ne change pas par rapport à l'instrument précédent, c'est uniquement la position de son axe de rotation qui s'adapte, ici encore, en fonction de la latitude de façon que l'axe de rotation de la règlette de visée (3) puisse passer par les deux extrémités de l'échelle des azimuts.

(**) C'est par une démarche analogue qu'il obtiendra le cadran horaire particulier présenté dans le second article.

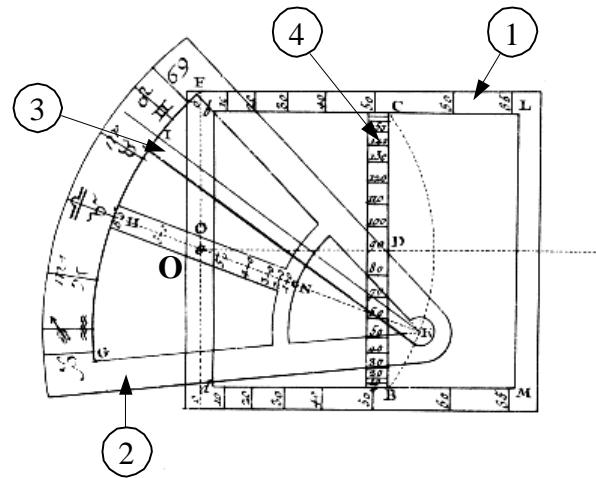


Fig. 9 La généralisation du 2^e cadran d'azimut de Lambert. Figure extraite du Supplément à l'Encyclopédie Diderot.

Après que l'instrument soit configuré pour la latitude d'utilisation, son mode d'emploi est en tout point identique au cadran précédent.

Autre généralisation : la boussole solaire universelle

En utilisant la transformation qui a fait passer du cadran horaire universel de Lambert au cadran d'Eble ou du cadran de l'an 2000 à la volvelle d'Apian (voir article II), on peut imaginer, à partir de la généralisation précédente, un nouveau cadran d'azimut universel. Au lieu de conserver la graduation des azimuts constante, on peut tracer différentes échelles d'azimut sur un disque et relier les graduations de même azimut par des courbes qui s'avèrent être des ellipses.

D'un autre côté, la volonté de simplifier le système de réglage en déclinaison, le besoin de ne pas masquer la table de lecture et la nécessité de disposer de la verticale ont conduit à une configuration différente. Elle consiste à utiliser l'orientation des échelles d'azimut comme axe de visée. On parvient ainsi à l'instrument de la Fig. 10 qui est constitué :

- (1) D'une plaque support suspendue au point T et comportant un axe de rotation O.
- (2) D'un disque recevant un réseau de segments parallèles gradués en latitude et d'ellipses graduées en azimut. Il tourne autour de l'axe O qui se prolonge vers l'avant de la boussole afin porter une ombre sur le disque lui-même.

- (3) D'un fil de lecture réglable dans les fentes de la plaque support à la date de l'observation. Ce réglage est tel que le fil reste toujours parallèle à l'axe de la plaque support.

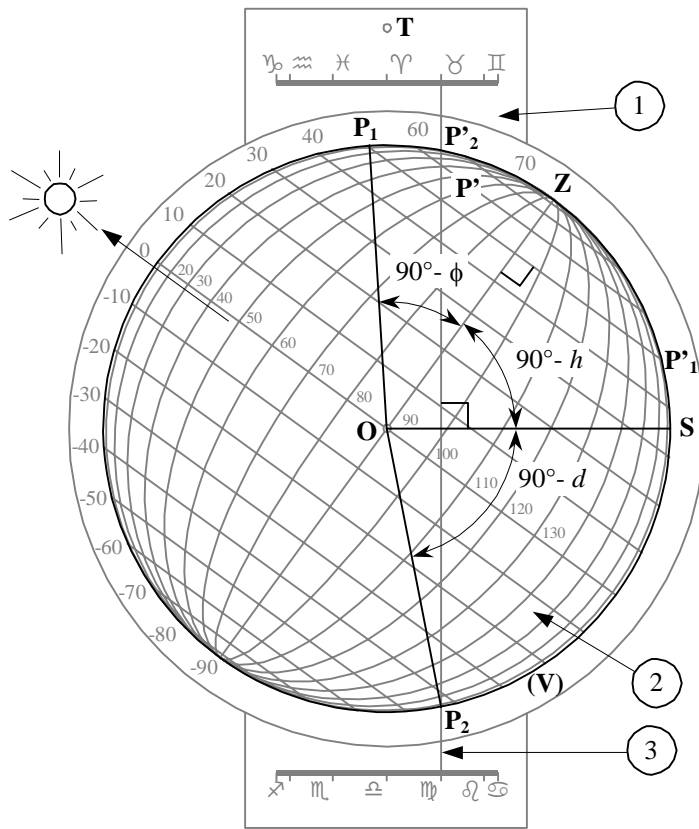


Fig. 10 La boussole solaire universelle.

Son utilisation est la suivante :

- On règle le fil de lecture (3) à la date de l'observation.
- La boussole est suspendue et orientée dans la direction du soleil.
- On fait tourner le disque (2) pour que l'ombre de l'axe O recouvre la ligne de l'équateur.
- L'azimut se lit à l'intersection du fil (3) et du segment correspondant à la latitude du lieu.

Sur la figure le soleil est à une hauteur de 36° alors qu'il entre dans le Taureau (20 avril). A la latitude de 50° on peut lire que son azimut est de 60° , coté est le matin, ouest l'après-midi.

La superposition de la Fig. I.5 sur la Fig. 10 permet de valider le principe de cet instrument. Le segment de la latitude correspond à la corde $P_1P'_1$. L'orientation du disque permet de disposer le rayon OZ suivant l'angle $90^\circ - h$ par rapport au rayon fictif OS qui est horizontal.

Le fil de lecture, vertical, correspond à la corde $P_2P'_2$ qui est définie par l'angle de $90^\circ - d$ à partir du rayon OS .

La boussole solaire est facilement réalisable avec des matériaux courants ainsi qu'on peut le voir sur la photographie suivante.

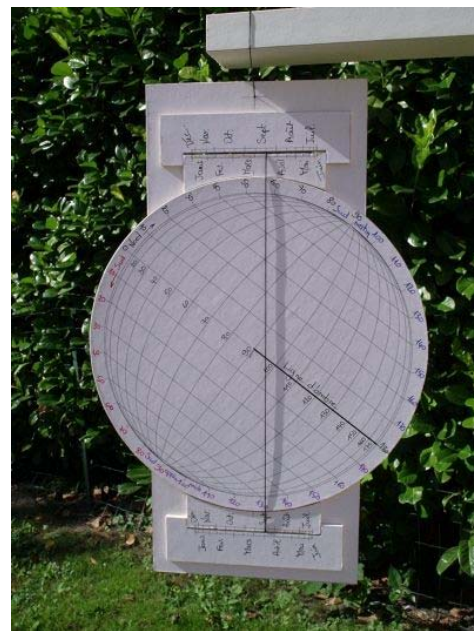


Photo 1 Exemple de réalisation en carton fort.

Après avoir mesuré l'azimut du soleil et afin de justifier le nom de cet instrument, on peut le mettre à l'horizontale et orienter de nouveau le disque (2) au soleil. On trouve ainsi la direction du sud en reportant l'azimut trouvé sur la graduation des latitudes, nord si l'azimut est du côté est (le matin), sud s'il est du côté ouest (l'après-midi).

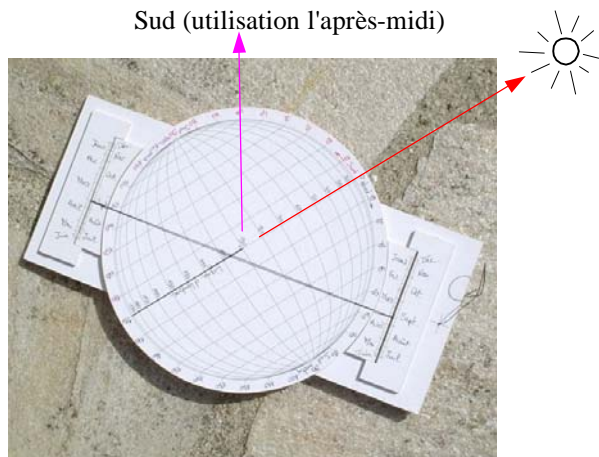


Fig. 11 Après la mesure de l'azimut, la boussole est posée à plat pour indiquer le sud.

Conclusion

Au terme de ces 4 articles et à l'heure de la conclusion, précisons tout d'abord que nous n'avons considéré que les cadrans composés de courbes géométriques élémentaires (droites et arc de cercles ou d'ellipses). Ceux-ci ne concernent qu'une partie de la famille des cadrans de hauteur qui est particulièrement variée: cadran de berger, anneau solaire, quarts de cercle ou quadrants, etc.

Le tableau suivant récapitule les cadrans qui ont fait l'objet de notre attention :

Figure	Cadrans (article)
I.2	<ul style="list-style-type: none"> · Volvelle d'Apian (II) · Cadran de l'an 2000 (II) · Capucin (III) · Cadran universel d'Apian (III)
I.3	
I.4	<ul style="list-style-type: none"> · Cadran particulier de Lambert (II) · Cadran universel de Lambert (II) · Cadran d'Eble (II) · Cadran universel de Regiomontanus (III) · Cadran à ligne circulaire de Lambert (IV)
I.5	<ul style="list-style-type: none"> · 1^{er} cadran d'azimut de Lambert(IV) · 2^{ème} cadran d'azimut de Lambert (IV) · Cadran d'azimut universel de Lambert (IV) · Boussole solaire universelle (IV)

Excepté le cadran de Regiomontanus, qui a aussi la particularité d'être le plus ancien instrument de cette liste, on peut remarquer que les applications qui découlent des Fig. I.4 et I.5 ne sont apparues que tardivement dans l'histoire de la gnomonique. Trop tard peut-être car, hormis le cadran de M. Eble, ils n'ont visiblement jamais fait l'objet de réalisation pratique.

On peut aussi noter que le nom de Lambert occupe une place prépondérante dans cette liste. Il est associé à presque la moitié des cadrans considérés, ce qui montre, si cela était encore nécessaire, toute la valeur de son talent et la grandeur de son génie. On peut toutefois s'étonner que cet habile géomètre, à qui l'on doit plusieurs traités de perspective, n'ait eu aussi peu recours à la géométrie pour introduire, voire imaginer, ses nouveaux instruments.

Notons, pour terminer, que la Fig. I.3 n'a pas trouvé d'application. Resterait-il de nouveaux instruments à découvrir ?

Bibliographie:

- [1] J. H. LAMBERT: Beiträge zum Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung. Anmerkungen und Zusätze zur Gnomonic. Volume II. Berlin. 1770.
- [2] Encyclopédie DIDEROT et d'ALEMBERT. Supplément au dictionnaire des sciences, des arts et des métiers. 1776-1777 :
 - Azimut. Volume I
 - Cadran solaire. Volume II
- [3] J. OZANAM / J. E. MONTUCLA: Récréations mathématiques et physiques. Volume III. Septième partie (Gnomonique). Problème XXXII. Comment l'ombre d'un style peut rétrograder sur un cadran solaire sans miracle. 1778.
- [4] C. FLAMARION / E. GUILLEMIN: Le cadran solaire à rétrogradation. L'Astronomie. Septembre 1885.

Sur Internet:

On peut retrouver les textes de J. de Castillon dans la réédition suisse in 8° de l'Encyclopédie Diderot numérisée par Google (édition de 1781-1782) à:

- {1} Azimut:
 - <http://books.google.fr/books?id=ORkPAAAAQAAJ&pg=PA155>
- {2} Cadran solaire: <http://books.google.fr/books?id=dBkPAAAAQAAJ&pg=PA727>
- {3} Planches correspondantes:
 - <http://books.google.fr/books?id=EA8PAAAAQAAJ&pg=PT62>