

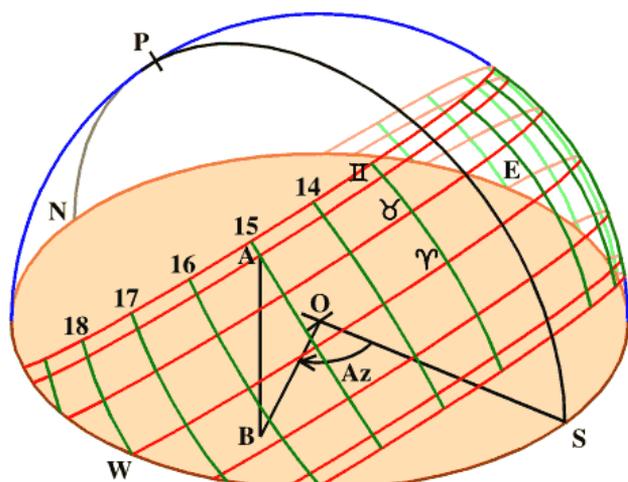
LA RÉTROGRADATION DE L'OMBRE

Yvon Massé

Dans l'article paru dans le n°11 du magazine, « Un cadran mystérieux » (<https://bit.ly/3JBYKiN>), Yvon Massé avait proposé de construire un cadran solaire dont l'ombre rétrogradait (« faisait des allers-retours dans la journée »). Il aborde ici ce phénomène dans un contexte différent.

Pour expliquer le phénomène de rétrogradation nous allons établir une figure, qui pourra aussi faire l'objet d'un cadran d'azimut, à partir des cercles de la sphère céleste.

Traçons d'abord sur la sphère, pour nous repérer, le méridien local passant par l'horizon aux points nord et sud repérés respectivement N et S. Sur ce méridien nous pouvons placer, en supposant qu'on soit dans l'hémisphère nord, le pôle P tel que l'arc PN corresponde à la latitude de l'observateur. En apparence, tout se passe comme si la sphère tournait autour du pôle P en entraînant le Soleil avec elle.

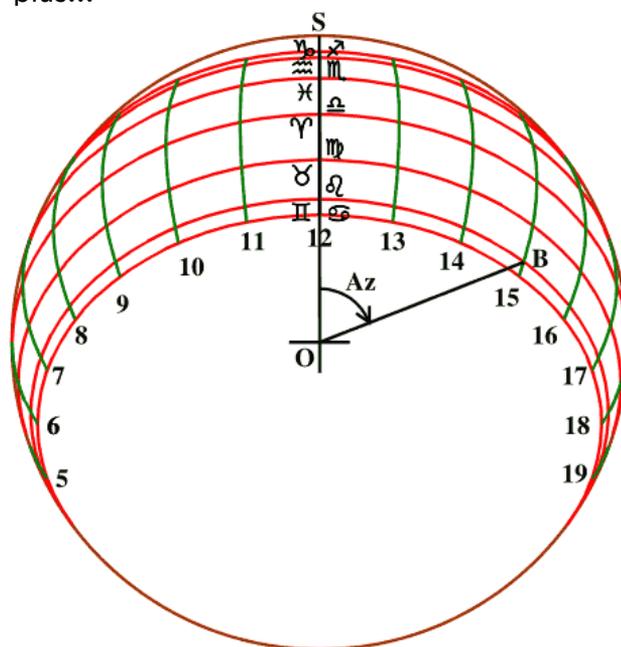


Traçons ensuite, en rouge, la course diurne du Soleil pour différentes dates de l'année en utilisant, comme les anciens, les dates d'entrée dans les différents signes du zodiaque. Cela permet d'avoir uniquement 6 cercles répartis symétriquement autour du cercle central correspondant aux équinoxes. Ce dernier passe par l'horizon exactement aux points est et ouest repérés E et W respectivement. Il nous reste à tracer pour chaque heure, en vert, les portions de cercle horaire entre les deux cercles diurnes des solstices en faisant tourner le méridien local autour du pôle P d'un multiple de 15°.

Avec ce réseau de cercles, on peut connaître la position du Soleil pour une date de l'année à une heure donnée. Par exemple, à 15 h solaire le 21 mai, jour de l'entrée dans les Gémeaux, le Soleil se trouve au point A.

À cet instant particulier, intéressons-nous à l'azimut du Soleil : on l'obtient facilement en faisant descendre la position A verticalement sur l'horizon, en B, et en mesurant l'angle Az entre B et S vu du point O.

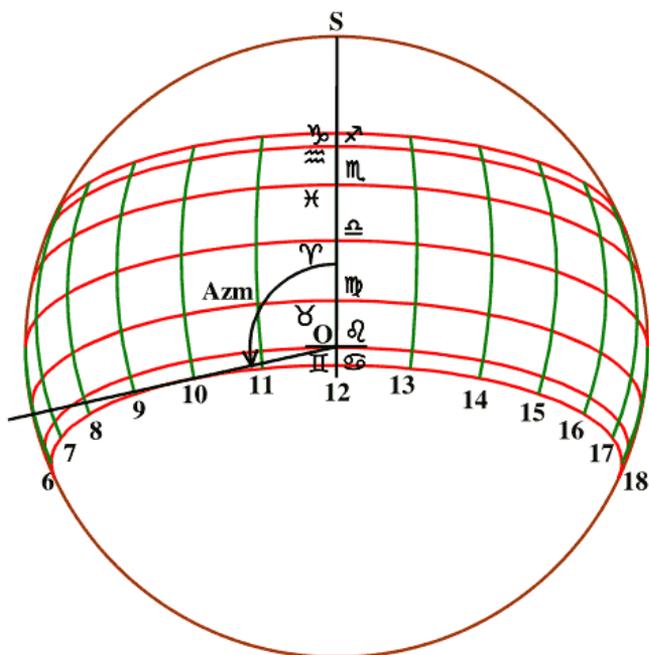
Si maintenant nous faisons descendre verticalement l'ensemble des points des différents cercles, nous obtenons la figure plane suivante où les couleurs ont été conservées, les courbes obtenues étant rigoureusement des portions d'ellipse. Cette figure, qui est tracée pour la latitude de 48° N, permet en connaissant l'heure et la date, de déterminer comme précédemment la position du point B et, par suite, l'azimut du Soleil Az. Mais on peut faire plus...



En effet, si nous disposons cette figure sur un plan horizontal, en plaçant un gnomon vertical au point O et en orientant le point S vers... le nord (eh oui ! l'ombre étant à l'opposé de la direction du Soleil, on en tient compte en faisant tourner la figure de 180°), nous obtenons un cadran solaire d'azimut où l'heure se lit à l'intersection de l'ombre et de la ligne de date.

Mais revenons à la figure utilisée comme moyen de déterminer l'azimut. Nous voyons, en suivant les courbes rouges, que pour toutes les dates de l'année la direction du Soleil tourne dans le sens

des aiguilles d'une montre au cours de la journée. Cela est vrai à la latitude de 48° pour laquelle la figure est tracée, mais qu'en est-il pour une latitude subtropicale, par exemple 20° N ? Pour cela traçons la figure correspondant à cette latitude et observons ce qui se passe.



Pour toutes les dates dont la courbe diurne passe à midi solaire au dessus du point O, rien ne change par rapport aux latitudes supérieures. Mais à partir du moment où le Soleil entre dans les Gémeaux, et pendant 2 mois, la situation devient plus spécifique : c'est en dessous du point O que passe le Soleil. Ainsi, par exemple, au solstice d'été dont nous avons la courbe diurne, à partir du lever du Soleil l'azimut évolue comme pour le restant de l'année mais il atteint, un peu avant 10 h, la valeur limite Azm représentée sur la figure, pour ensuite évoluer dans l'autre sens. Une seconde valeur limite est atteinte l'après midi après 14 h et l'azimut évolue à nouveau dans le sens qui est celui du restant de l'année¹.

Voici donc, en quelque sorte, la recette pour obtenir la rétrogradation de l'ombre (elle peut toutefois être si faible ou se produire dans des conditions si particulières qu'elle soit pratiquement indétectable) : avoir un gnomon qui pointe, sur la sphère céleste, un lieu quelconque situé entre le cercle diurne du jour considéré et, pour des raisons de symétrie dont

l'explication sortirait des limites de cet article, le cercle diurne des équinoxes qui correspond à l'équateur céleste. La surface recevant l'ombre peut, quant à elle, être d'orientation quelconque.

C'est au début du XVI^e siècle, en 1537, que Pedro Nunes, habile mathématicien et cosmographe portugais, démontra cette particularité dans son premier livre écrit en portugais². Cet ouvrage comporte la traduction de trois écrits de référence de son époque et deux traités personnels pour donner des bases mathématiques aux techniques de navigation. Dans le second traité, afin de montrer qu'une configuration de latitude, déclinaison et azimut du Soleil pouvait rigoureusement correspondre à deux heures différentes, P. Nunes fut amené à définir les conditions pour lesquelles le Soleil passe 2 fois par le même azimut dans sa course ascendante du matin, ce qui signifie donc que l'azimut varie tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre et, par symétrie, que le phénomène se reproduit dans l'après-midi. Ce qui est surprenant, c'est qu'il obtint ce résultat par des déductions géométriques alors que ce phénomène n'avait jamais été décrit ni observé auparavant. De plus, P. Nunes était si sûr de son raisonnement qu'il n'hésita pas à affirmer : « ce qui semble chose étonnante ; et l'on ne peut le nier car cela se démontre avec la certitude et l'évidence mathématique ».

P. Nunes précisa à la fin de sa démonstration, peut-être pour faire la distinction entre les faits concrets et les miracles : « Mais dans les régions situées entre le cercle du Cancer et le nord cela serait impossible ; sauf par la puissance divine comme il se lit dans *2 Rois*³ où l'ombre a reculé de 10 degrés en signe de la guérison d'Ézéchias ».



Portrait de Pedro Nunes

Mais nous verrons dans un prochain article que le cours de l'histoire en a décidé autrement...

Le gnomoniste Yvon Massé ymasse2@wanadoo.fr a été présenté dans le n° 2 de ce magazine. Il développe notamment le site <https://gnomonique.fr/> et anime le dynamique forum [gnomonique](https://gnomonique.fr/) qui lui est associé.

¹ Voir une animation qui représente l'évolution de la courbe d'azimut pour les mois de mai et juin ici <https://bit.ly/3WiZ2CO>

² *Tratado da sphaera*, p. D ii V et suivantes : <https://archive.org/details/ARes074081v1/page/n155/mode/2up?view=theater>

³ Plus précisément au chapitre 20 que l'on peut lire dans la traduction de son choix ici : <https://lire.la-bible.net/lecture/2+rois/20/1>

Un passage similaire se trouve au chapitre 38 du livre d'Ésaïe, ici : <https://lire.la-bible.net/lecture/esaie/38/1>