

# CADRAN SOLAIRE HORIZONTAL À RÉFRACTION

David Alberto

David Alberto va probablement vous donner envie, par cet article, de construire un très beau cadran cylindrique transparent qui utilise le phénomène de réfraction de la lumière et vous indiquera, en temps réel, en quel point du globe le Soleil est au zénith...

## RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE

Le phénomène de réfraction se produit quand la lumière passe d'un milieu transparent vers un autre. Un milieu transparent est caractérisé par son indice de réfraction (air : 1,00 - eau : 1,33 - verre : 1,52, etc.). Le passage d'un rayon lumineux depuis l'air vers l'eau change la direction de ce rayon : c'est la réfraction.

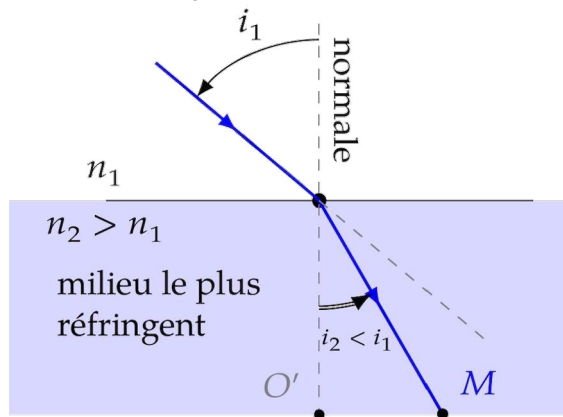


Fig.1 - L'angle  $i_1$  (angle d'incidence) devient un angle  $i_2$  (de réfraction) quand un rayon passe d'un milieu d'indice  $n_1$  vers un milieu d'indice  $n_2$ .

La loi de la réfraction a été établie indépendamment par Snellius et Descartes au XVII<sup>e</sup> siècle :  $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$

## PRINCIPE DU CADRAN PLAN À RÉFRACTION

Supposons une épaisseur  $e$  de matériau transparent d'indice  $n$ . Sur la face supérieure se trouve un œilleton ou un obstacle ponctuel ; un rayon passant par ce point est dévié et atteint la face inférieure au point d'ombre M. Le tracé du cadran solaire consiste à calculer les coordonnées du point M ; le tracé sera alors glissé sous la face inférieure de la couche réfringente. La position de M dépend de la hauteur du Soleil et de son azimut, des grandeurs à calculer, à une latitude donnée, en fonction de l'heure et de la date.

Le point où le rayon atteint la face supérieure joue le rôle de l'extrémité d'un style vertical ; l'épaisseur de la couche réfringente est donc la hauteur de ce style. On sait que, pour le cadran horizontal classique, si la hauteur du Soleil est faible (début et fin de journée), le point d'ombre se trouve rejeté très loin du plan du cadran.

En revanche, dans le cadran plan à réfraction, même en cas d'incidence rasante ( $i_1 \sim 90^\circ$ ), l'angle  $i_2$  ne sera pas proche de  $90^\circ$  :

$$i_2 = \arcsin(1/n) \text{ où } n \text{ est l'indice du milieu.}$$

Pour l'eau, le verre ou le plexiglas,  $i_2 \sim 45^\circ$ .

Le point M restera donc assez proche du point  $O'$  au centre du tracé, ce qui permettra la lecture de l'heure même pour les faibles hauteurs du Soleil. On peut montrer que le point M reste limité dans un cercle autour de  $O'$ , dont le rayon est proche de l'épaisseur de la couche réfringente, ce qui fixe les proportions de cette dernière : elle doit avoir une largeur à peu près double de la hauteur (la proportion exacte dépend du milieu choisi).

## ASPECT DU TRACÉ

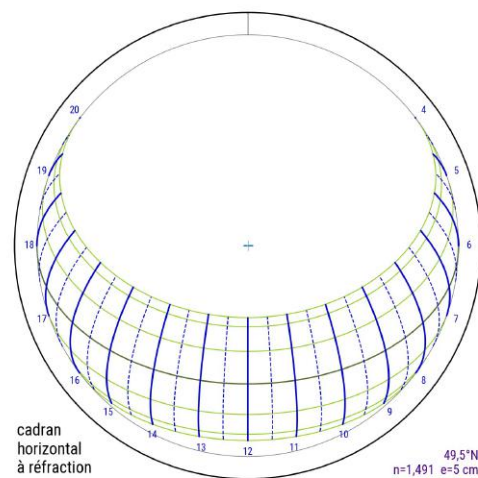


Fig.2 - Tracé du cadran à réfraction à placer sous 5 cm de Plexiglas ( $n=1,49$ ), pour la latitude  $49,5^\circ$  N. Les lignes vertes sont les arcs diurnes pour des dates proches du 21<sup>e</sup> jour de chaque mois. Le tracé est contenu dans un cercle.

## AJOUT D'UNE CARTE DU MONDE

Au cours d'une journée, du point de vue d'un observateur terrestre, le Soleil semble survoler la Terre, en passant au zénith des lieux situés dans la zone intertropicale. À un instant donné, le point du globe tel que le Soleil se trouve au zénith est appelé le point subsolaire.

Lorsqu'on calcule les coordonnées du point d'ombre d'un cadran solaire, il est facile d'en déduire à chaque instant les coordonnées

géographiques du point subsolaire, ce qui permet d'envisager la superposition d'une carte du monde, sur laquelle le point d'ombre indiquerait la position du Soleil en temps réel.

Cependant, avec un cadran plan classique, la projection obtenue donnerait une carte très déformée, peu lisible, et limitée à une petite partie de la journée (fig.3).

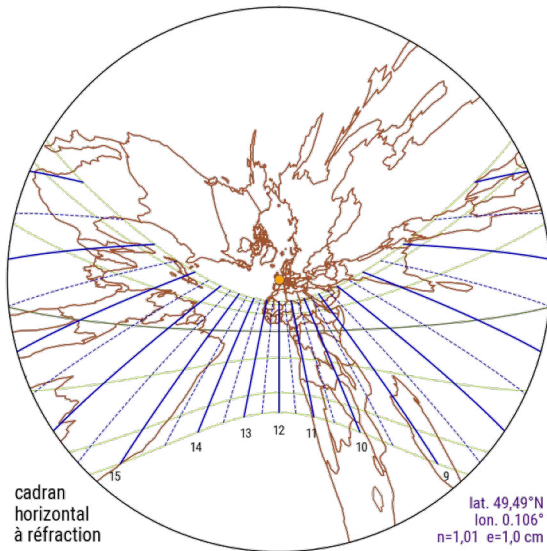


Fig.3 - Simulation d'une carte du monde superposée au tracé, pour un cadran solaire horizontal classique (indice de réfraction de l'air). Les zones les plus excentrées sont très déformées, et la zone utile de la carte est limitée aux heures proches du midi solaire.

On a vu que la réfraction de la lumière a pour effet de maintenir le point d'ombre assez proche du centre du tracé, ce qui fournit une solution en permettant un tracé de carte moins déformé, et fonctionnel durant toute la journée (fig.4).

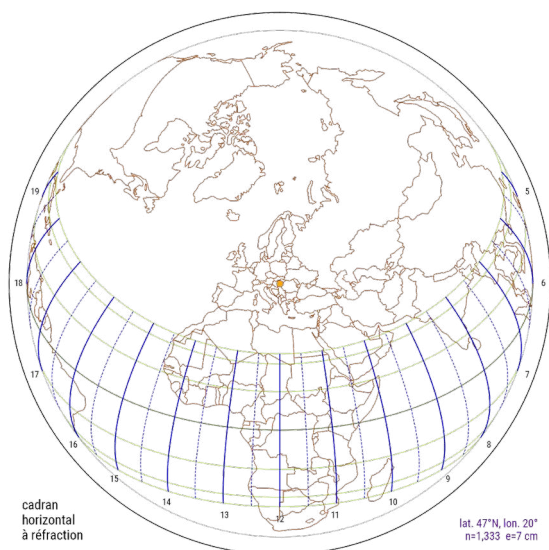


Fig.4 - Tracé pour 7 cm d'eau, pour la latitude 47°N et la longitude 20°E (Europe centrale). Le point de fonctionnement du cadran est au centre du tracé. Le 21 juin, le Soleil survole l'Arabie saoudite vers 10h et le sud de l'Algérie vers 13h.



Fig.5 - Un récipient contenant 4,5 cm de hauteur d'eau. Le tracé a été collé au fond, et un style vertical perce la surface de l'eau.

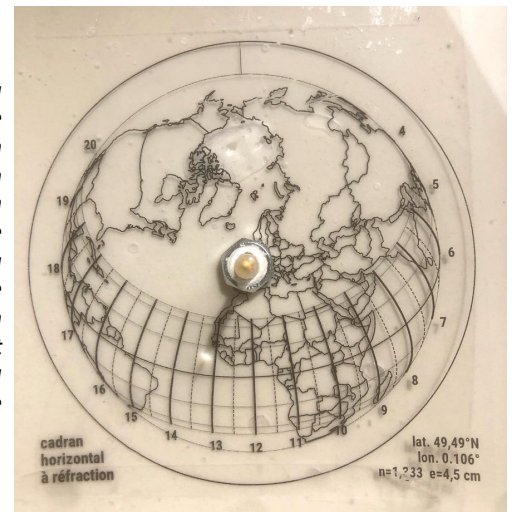


Fig.6 - Dispositif vu de dessus. Là où le style vertical perce la surface de l'eau, la déformation de la surface produit une tache lumineuse au fond, qui indique l'heure solaire et la position du point subsolaire (ici au large de l'Afrique de l'Ouest).

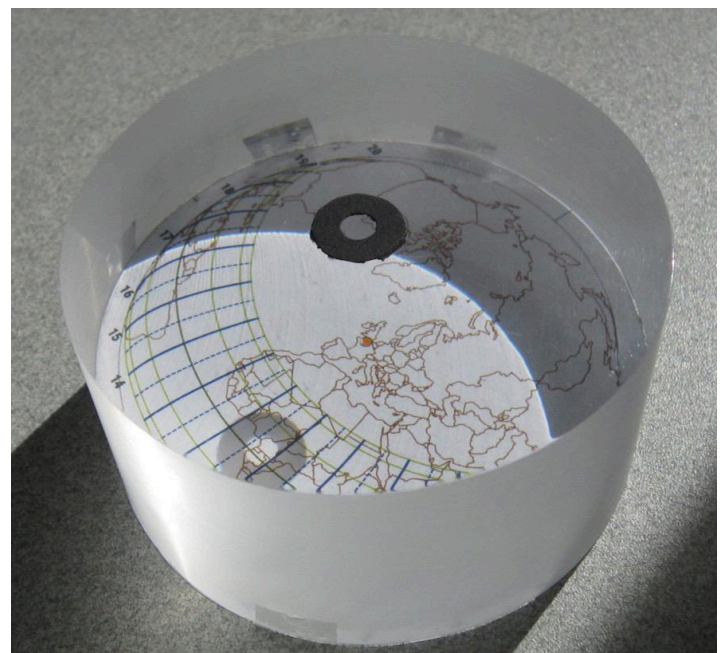


Fig.7 - Cadran à réfraction (cylindre de Plexiglas de 5 cm d'épaisseur et 10 cm de diamètre).

Le tracé a été réalisé avec un script Python disponible à l'adresse suivante :

<https://www.astrolabe-science.fr/cadran-solaire-plan-a-refraction/>

David Alberto, professeur de physique-chimie en lycée, s'est lancé dans l'astronomie à l'occasion d'une école d'été du CLEA <http://clea-astro.eu/>. Pour plus de détails sur ses activités, voir <https://www.astrolabe-science.fr/>