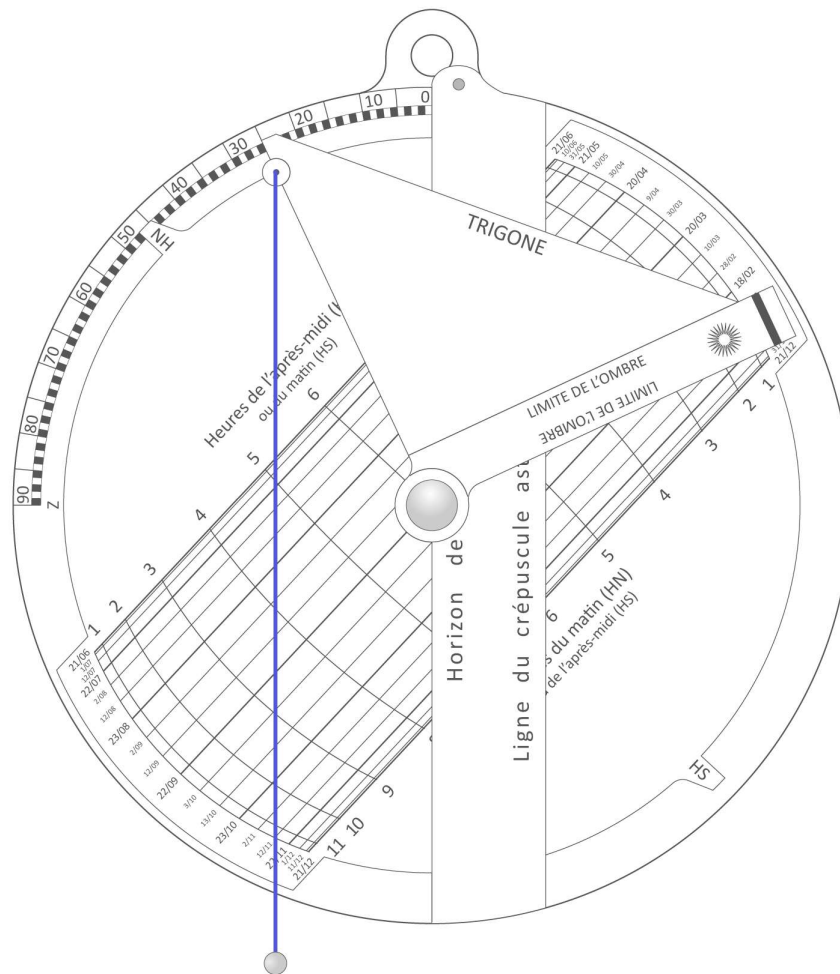


La sphère plate universelle

Principe et utilisation



En 1524, Pierre Apian, astronome et mathématicien allemand, fait éditer *La Cosmographie*, ouvrage qui contient plusieurs volvelles. Ces volvelles (du latin *volvere*, tourner) sont constituées de plusieurs parties superposées, assemblées à l'aide d'un axe – en ficelle dans les livres d'Apian – et tournant les unes sur les autres.

Nous vous proposons ici une version moderne d'une des volvelles d'Apian.

La « sphère plate universelle » est à la fois un cadran solaire et un calculateur astronomique.

- Sphère, car elle représente la sphère céleste avec le mouvement apparent du Soleil au cours de la journée et de l'année.
- Plate, car c'est une projection orthogonale de cette sphère sur un plan.
- Universelle, car on peut l'utiliser à n'importe quelle latitude sur Terre, aussi bien dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud.

Avec la sphère plate universelle, vous pourrez :

- trouver l'heure avec le Soleil si vous connaissez la date et votre latitude ;
- savoir à quelle heure se lève le Soleil, à n'importe quelle latitude et pour n'importe quel jour de l'année ;
- prévoir à partir de quelle heure il fera nuit noire (crépuscule astronomique)...

Dans les pages qui suivent, les schémas du mouvement apparent du Soleil sont réalisés pour une latitude moyenne en France métropolitaine. Ils restent valables entre le tropique du Cancer et le cercle polaire arctique. Mais la sphère plate universelle est bien utilisable dans les deux hémisphères.

Principe de la sphère plate universelle

Cet instrument n'est pas le plus simple parmi les volvelles d'Apian. Nous vous conseillons de lire attentivement ces pages. Vous comprendrez mieux ensuite comment manipuler cet objet... Mais vous pourrez aussi l'utiliser si vous n'avez pas suivi toutes les explications.

Latitude et hauteur de l'étoile Polaire

L'étoile Polaire est approximativement dans le prolongement de l'axe de la Terre.

Sur le schéma, la latitude de l'observateur est $\widehat{HTO}$, que l'on a noté φ . Cet angle est le même que $\widehat{nOe}$, la hauteur de l'étoile Polaire au-dessus de l'horizon nord.

Vérification

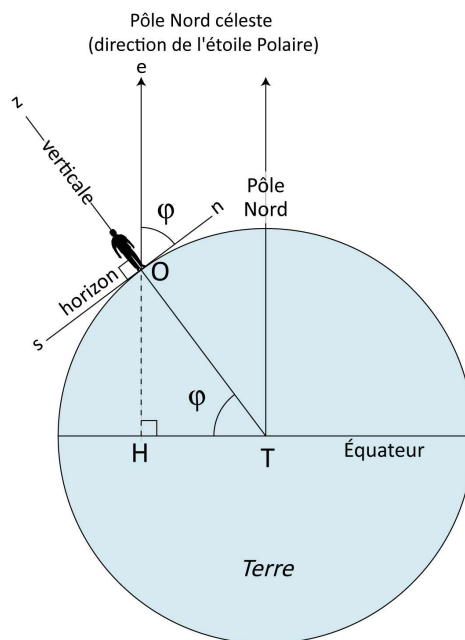
Si on habite à 47° de latitude nord :

$$\widehat{HTO} = 47^\circ$$

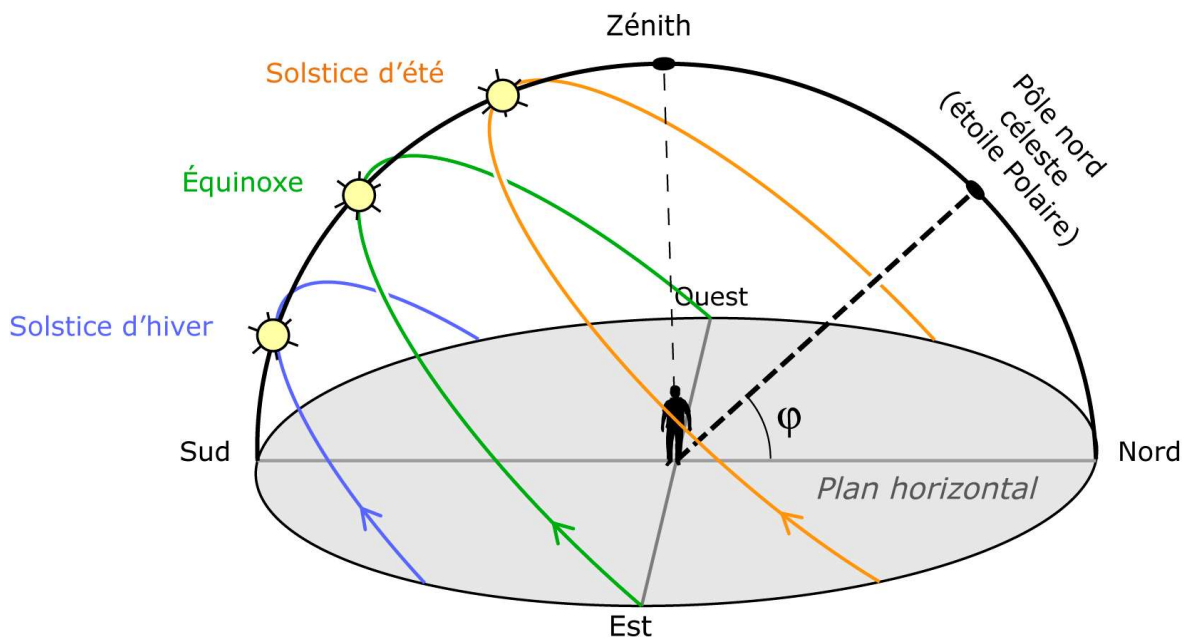
$$\widehat{HOT} = 90^\circ - 47^\circ = 43^\circ$$

$$\widehat{zOe} = \widehat{HOT} = 43^\circ$$

$$\widehat{nOe} = 90^\circ - \widehat{zOe} = 47^\circ$$



Mouvement apparent du Soleil



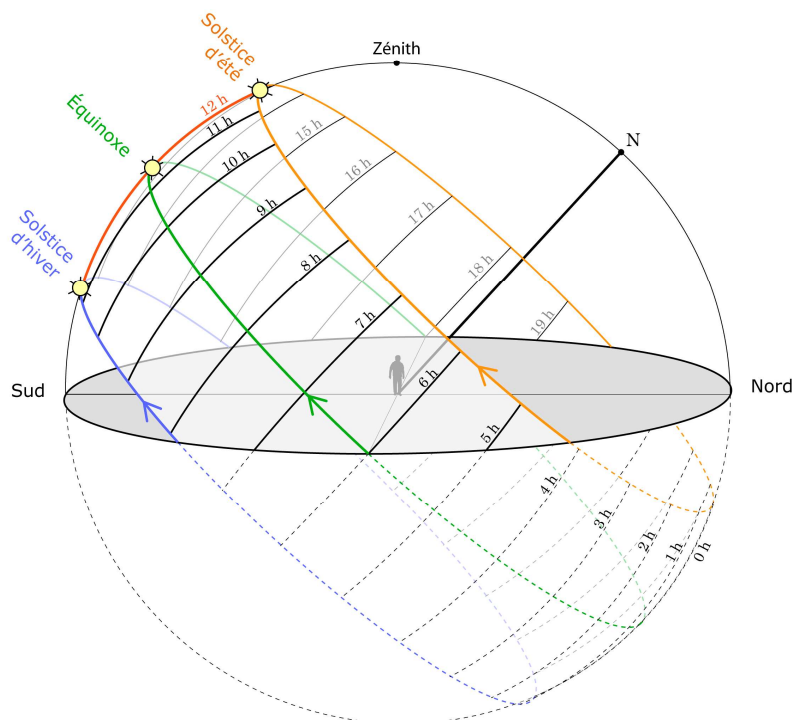
Le mouvement apparent du Soleil vu depuis une latitude moyenne en France métropolitaine.

On voit le Soleil se lever du côté de l'est, monter dans le ciel pour aller se coucher du côté ouest. Il est midi lorsque le Soleil passe dans le plan du méridien (le plan vertical nord-sud), plein sud à la latitude du schéma.

C'est la rotation de la Terre sur elle-même qui explique ce mouvement apparent. Celui-ci se fait donc autour d'un axe qui est l'axe de la Terre, incliné au-dessus de l'horizon nord d'un angle égal à la latitude φ .

En fonction des saisons, le Soleil est plus ou moins haut dans le ciel. C'est au solstice d'été qu'il passe au plus haut.

Heure solaire

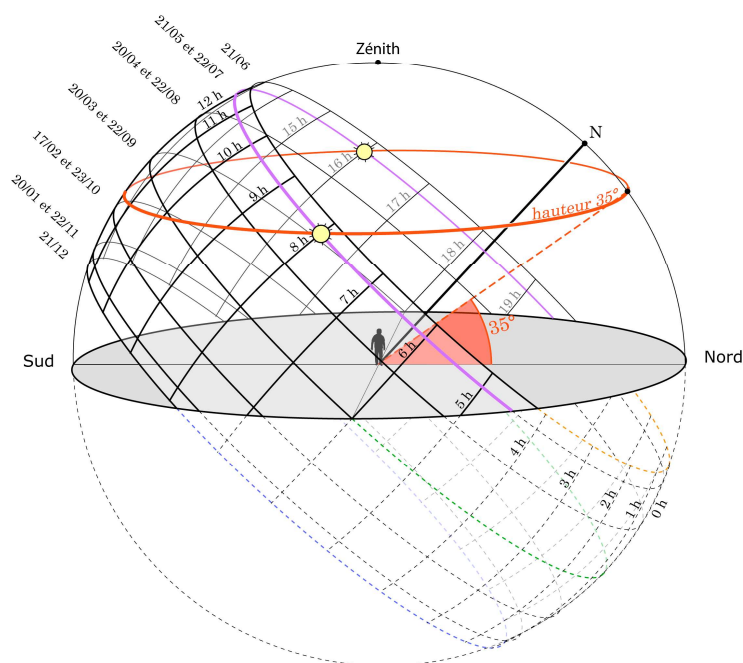


Midi est défini comme l'instant où le Soleil passe dans le plan du méridien, plein sud ici (Soleil sur la ligne de midi en rouge).

Pour définir les autres heures, il suffit de partager la trajectoire apparente du Soleil au cours de la journée en 24 parties égales.

Heure et hauteur du Soleil

Connaissant la latitude, la date et la hauteur du Soleil, on peut trouver l'heure.



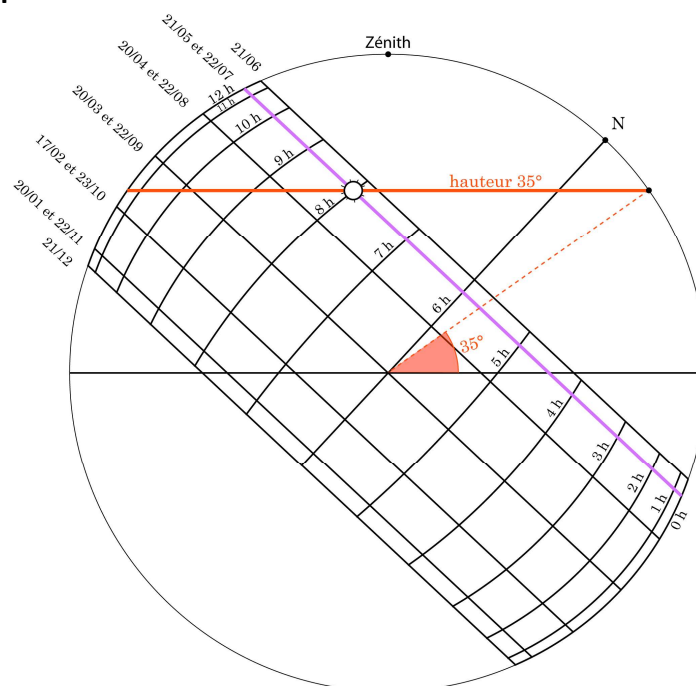
Le 21 mai, le Soleil est à 35° au-dessus de l'horizon. Quelle heure est-il ?

Le cercle rouge indique toutes les positions possibles d'un astre situé à 35° au-dessus de l'horizon.

La trajectoire apparente du Soleil le 21 mai est tracée en violet.

À l'intersection de ces deux lignes, on obtient deux positions du Soleil possibles, donc deux heures possibles : 8 h et 16 h.

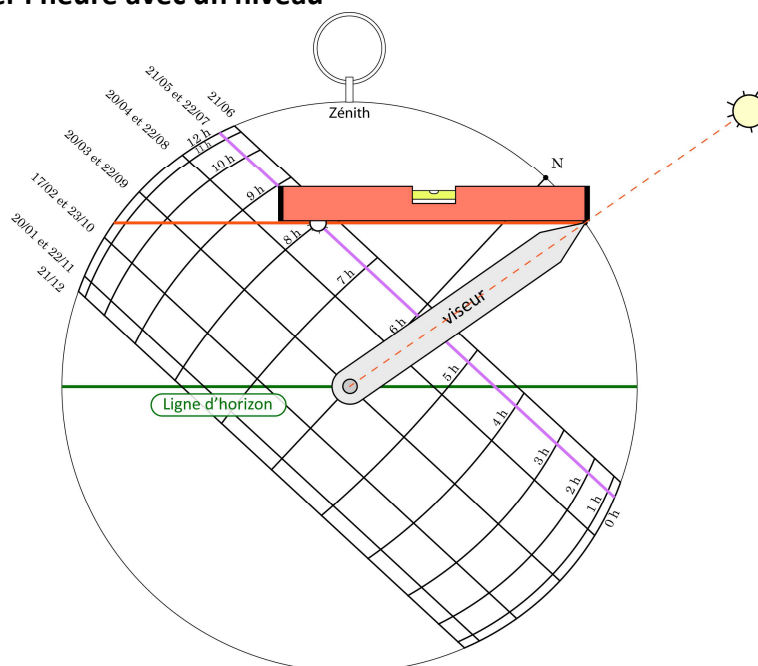
Projection sur un plan



Si on observe les tracés de la page précédente depuis un point très éloigné situé dans le plan horizontal et à l'est, on verra cette figure. Cela revient à faire ce qu'on appelle une projection orthogonale de la figure sur le plan du méridien (on n'a noté ici que les heures du matin).

À partir de cette figure, on peut maintenant construire un cadran solaire permettant d'obtenir l'heure à partir de la hauteur du Soleil.

Cadran pour trouver l'heure avec un niveau



Nous avons ajouté à la figure précédente un anneau et un viseur.

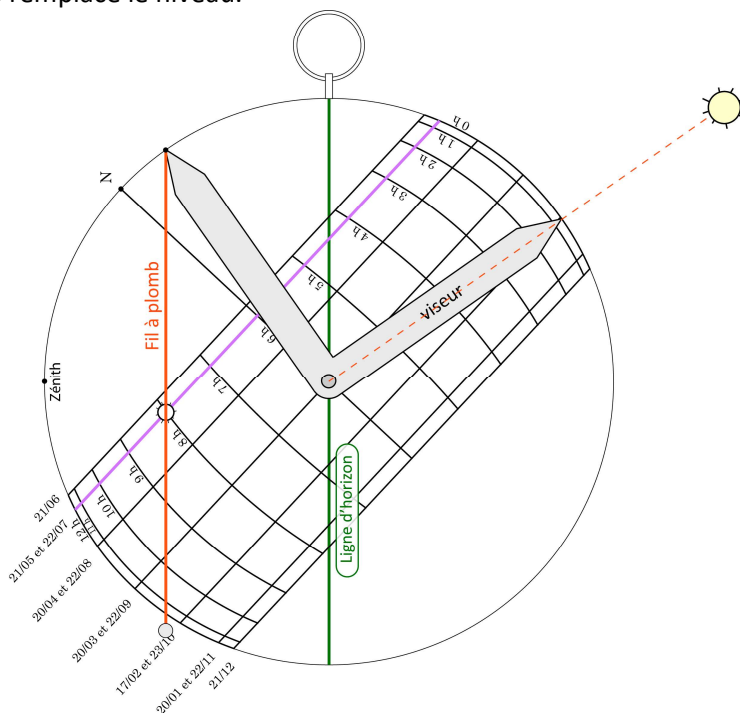
On tient l'instrument à l'aide de l'anneau pour que la ligne verte soit bien horizontale. On vise le Soleil à l'aide du viseur et on repère le point correspondant sur la circonférence.

Tout en maintenant la ligne verte horizontale, on place le niveau pour trouver l'heure, à l'intersection avec la ligne indiquant la trajectoire apparente du Soleil pour la date de la visée (en violet ici). On obtient 8 h.

Cette méthode n'est évidemment pas pratique. Apian a eu l'idée d'utiliser un fil à plomb plutôt qu'un niveau.

Cadran pour trouver l'heure avec un fil à plomb

Le fil vertical étant perpendiculaire au niveau horizontal, on fait faire un quart de tour à l'image précédente pour que le fil à plomb remplace le niveau.



La ligne d'horizon verte se retrouve verticale et le zénith est à gauche.

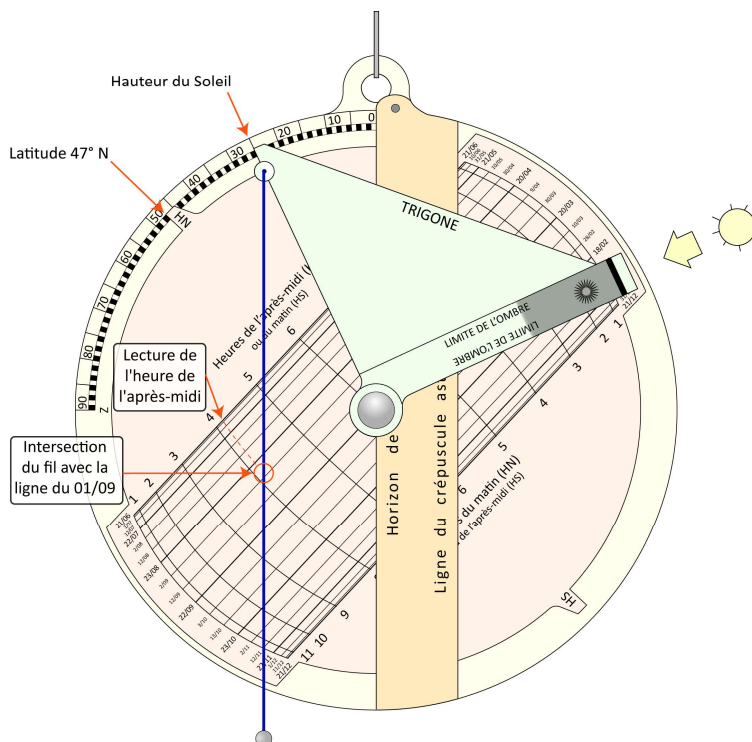
Le Soleil n'ayant pas changé de place, il faut garder un viseur dans sa direction, faisant un angle droit avec le support du fil à plomb.

On obtient ainsi la sphère plate universelle d'Apian.

Exemples d'utilisation *Sur les schémas, les différentes parties ont été colorées pour mieux les distinguer.*

Comment trouver l'heure ?

1. Régler le disque n° 2 à la bonne latitude (47° N sur l'image page de droite).
On utilise l'onglet HN pour l'hémisphère nord, HS pour l'hémisphère sud.
2. Tenir l'instrument par l'anneau.
3. Diriger le viseur vers le Soleil pour que l'ombre du petit rectangle suive les limites indiquées, l'instrument restant bien vertical.
4. Lire l'heure à l'intersection du fil à plomb et de la ligne la plus proche de la date, en choisissant heure du matin ou heure de l'après-midi.
5. Convertir éventuellement en heure légale (voir page 8).



Sur l'image de droite :

- on a réglé l'instrument pour une latitude de 47° N ;
- si nous sommes le 1^{er} septembre et l'après-midi, on lit qu'il est environ 4 h 10 de l'après midi soit 16 h 10.

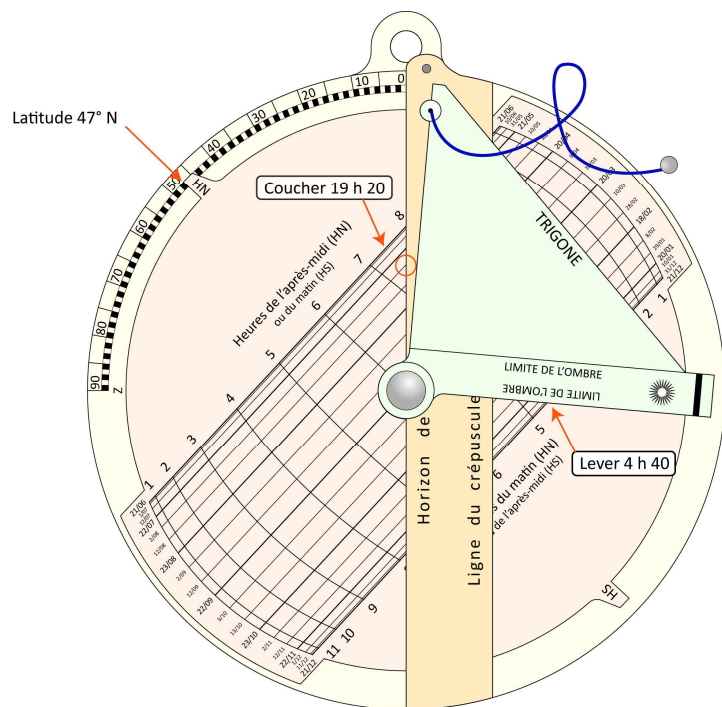
Remarques :

- il est possible de lire la hauteur du Soleil sur la graduation de gauche, 25° ici ;
- l'image de droite correspond aussi à 7 h 50 le matin du 1^{er} septembre ;
- mi-juillet, on obtiendrait avec ce réglage 5 h du matin ou 19 h ;
- les heures du matin et du soir sont équidistantes du midi solaire. On peut obtenir l'heure du matin h_m à partir de l'heure du soir h_s (et inversement) : $h_m = 12 - h_s$;
- l'instrument n'étant pas équilibré, la verticale peut s'écarter d'un degré de la ligne d'horizon. Sur l'exemple de droite, cela correspond à une imprécision de 6 minutes ;
- ce cadran donne l'heure en fonction de la hauteur du Soleil. Celle-ci variant très peu autour de midi, la précision est mauvaise entre 11 h et 13 h.

À quelle heure le Soleil va-t-il se coucher aujourd'hui ?

L'instrument peut être tenu horizontalement, le fil à plomb n'étant pas utile.

1. Régler la latitude.
2. À l'intersection de l'horizon de l'observateur avec la ligne la plus proche de la date, lire l'heure du coucher sur les heures de l'après-midi. On peut aussi obtenir l'heure du lever sur les heures du matin et calculer la durée de la journée.



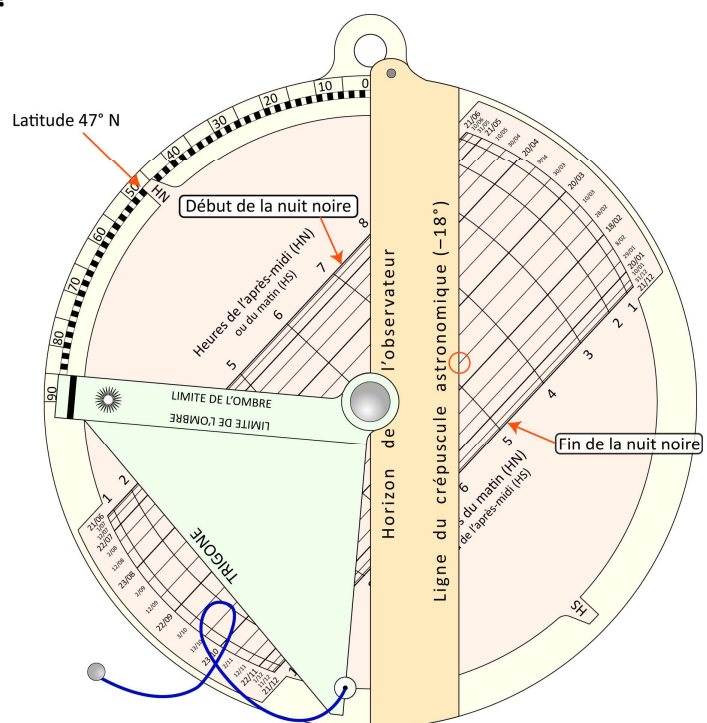
À la latitude de 47° N, le 2 août, le Soleil se lève à 4 h 40 environ et se couche à 19 h 20. La journée dure 14 h 40 min.

À partir de quelle heure fera-t-il nuit noire ?

On considère que la nuit est noire dès que le Soleil est à 18° sous l'horizon.

L'instrument peut être tenu horizontalement, le fil à plomb n'étant pas utile.

1. Régler la latitude.
2. À l'intersection de la ligne du crépuscule astronomique avec la ligne la plus proche de la date, lire l'heure du crépuscule en heure du soir. Si les heures du soir sont cachées par la règle, on peut aussi lire l'heure du matin, h_m , et calculer l'heure du soir ainsi : $h_s = 12 - h_m$.



Le 28 février, la nuit est noire de 19 h 10 à 4 h 50 environ.

Quelques applications supplémentaires

Voici quelques questions auxquelles vous pourrez essayer de répondre avec votre sphère plate universelle.

1. Nous sommes à la latitude de 73° N.
À quelles dates le Soleil reste-t-il au-dessus de l'horizon, sans se coucher ?
2. Quelle est la hauteur maximale du Soleil à midi à une latitude de 50° N ?
3. Peut-on voir le Soleil au zénith à la latitude de 40° N. Si oui, quel(s) jour(s) ?
4. Peut-on voir le Soleil au zénith à la latitude de 15° N. Si oui, quel(s) jour(s) ?
5. Nous sommes à 30° de latitude sud le 18 février, il est 15 h en heure solaire.
À quelle hauteur est le Soleil ?
6. Nous sommes le 23 octobre, il est 16 h au Soleil, sa hauteur est de 10° .
À quelle latitude sommes-nous ?

Réponses

1. Du 10/05 au 2/08 environ.
2. 63° .
3. Non.
4. Oui, aux alentours du 15 août et du 25 avril.
5. Environ 45° .
6. Environ 50° N ou 70° S.

Ces questions ne sont pas simples. Vous trouverez sur le site astromaquettes21.com des explications à ces réponses.

Compléments

La déclinaison du Soleil

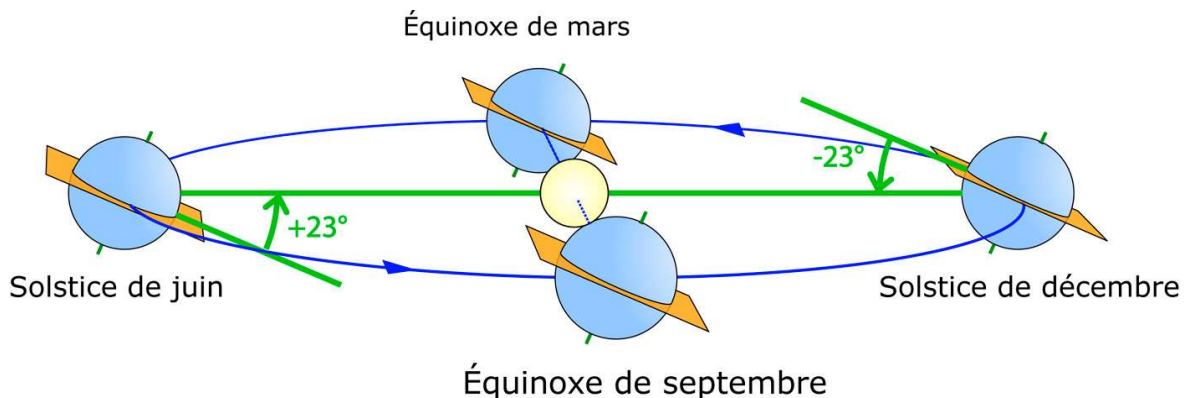
La hauteur du Soleil varie en fonction des saisons (voir figure page 2).

Aux équinoxes, sa trajectoire apparente est contenue dans un plan perpendiculaire à l'axe de la Terre, le plan de l'équateur.

De l'équinoxe de mars à celui de septembre (printemps et été dans l'hémisphère nord), il se trouve au nord du plan de l'équateur.

De l'équinoxe de septembre à celui de mars (automne et hiver de l'hémisphère nord), il est au sud du plan de l'équateur.

On appelle déclinaison du Soleil l'angle entre le plan de l'équateur et la direction du Soleil. Elle varie de -23° environ au solstice de décembre à $+23^\circ$ au solstice de juin.



Sur ce schéma, le plan orange est le plan de l'équateur. Au solstice de juin, le Soleil est au nord du plan de l'équateur. Au solstice de décembre, c'est l'inverse, il est au sud. Aux équinoxes, le centre du Soleil se trouve dans le plan de l'équateur.

Heure solaire et heure légale

Presque tous les cadrans solaires donnent l'heure solaire définie page 3. L'heure légale qui correspond dépend du fuseau horaire, de sa latitude et de la date.

Les explications ci-dessous sont données pour la France métropolitaine. Elles peuvent être adaptées à toute autre région du monde.

Quand on connaît l'heure solaire, trois corrections sont à faire pour obtenir l'heure de la montre (l'heure légale).

1. Il faut ajouter 2 h en heure d'été (du dernier dimanche de mars au dernier dimanche d'octobre) ou 1 h en heure d'hiver¹.

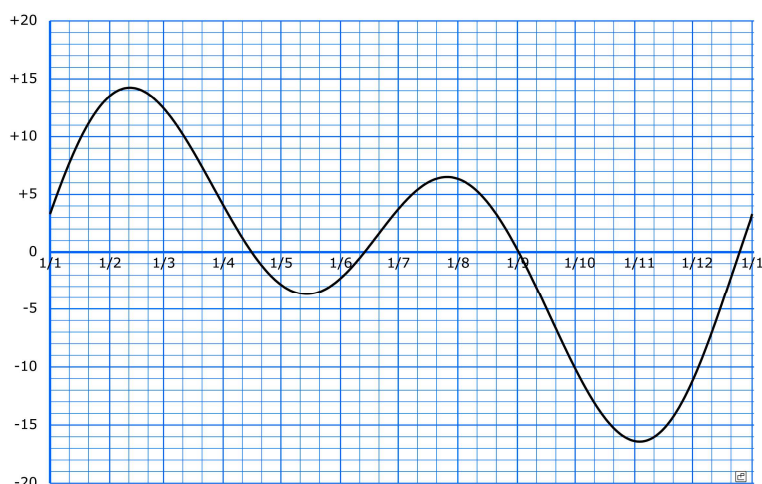
2. L'heure légale est réglée sur le méridien de Greenwich. L'heure solaire est en avance sur l'heure de Greenwich si on est à l'est de ce méridien et en retard si on est à l'ouest. La correction à effectuer est de 4 minutes par degré de longitude. Elle est négative à l'est de Greenwich et positive à l'ouest.

3. L'heure solaire n'est pas régulière (à cause des mouvements de la Terre) alors que l'heure de nos montres doit l'être. Il s'ensuit un décalage entre heure solaire et heure légale qui varie en fonction de la date, de -16 min à +14 min. On l'appelle équation du temps. On peut la donner sous la forme d'une courbe ou d'un tableau comme ci-dessous.

Date	1/1	15/1	1/2	15/2	1/3	15/3	1/4	15/4	1/5	15/5	1/6	15/6
Eq T (min)	+3,5	+9,4	+13,6	+14,2	+12,5	+9,1	+4	+0,1	-2,9	-3,8	-2,3	+0,3

Date	1/7	15/7	1/8	15/8	1/9	15/9	1/10	15/10	1/11	15/11	1/12	15/12
Eq T (min)	+3,7	+5,8	+6,3	+4,5	+0,2	-4,7	-10,2	-14,1	-16,4	-15,4	-11,1	-5

Tableau de l'équation du temps (Eq T).



Courbe de l'équation du temps. Au cours de l'année, elle varie entre -16 min et +14 min.

Heure légale = heure solaire + correction en longitude + équation du temps + 1 h (ou 2 h)

Un exemple

le 1^{er} avril à Dijon, vous trouvez avec votre sphère plate universelle qu'il est 14 h. Quelle heure est-il à votre montre ?

Correction 1. On ajoute 2 h (on est en heure d'été le 1^{er} avril).

Correction 2. La longitude de Dijon est de 5° E. Or, $5^\circ \times 4 \text{ min}/^\circ = 20 \text{ min}$.

La correction est de -20 min.

Correction 3. Équation du temps le 1^{er} avril : +4 min.

Heure légale = 14 h + 2 h - 20 min + 4 min = 15 h 44 min.

¹ À l'heure où sont écrites ces lignes, il est question de ne garder qu'une seule heure dans l'année mais rien n'est encore décidé, heure d'hiver et heure d'été existent toujours...

Le zodiaque

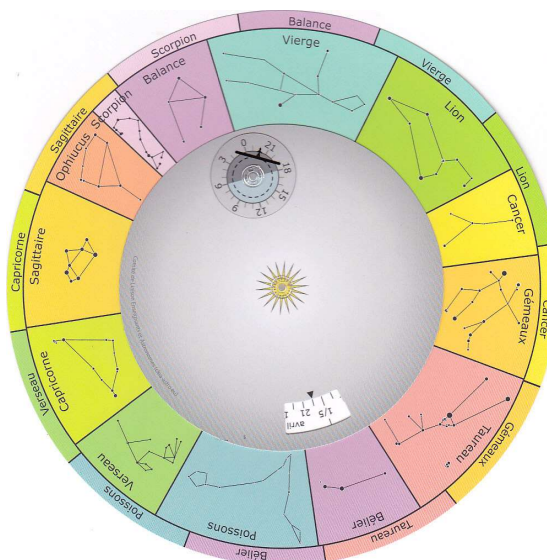
La sphère plate universelle était graduée habituellement en signes du zodiaque et non en dates. Lorsque la Terre tourne autour du Soleil, celui-ci semble se déplacer au milieu des étoiles sur une ligne appelée écliptique. Dans l'Antiquité, on a partagé l'écliptique en 12 signes de 30° et chaque partie a pris le nom d'une constellation proche, Poissons, Bélier, Taureau... On peut préciser qu'actuellement, le nom d'un signe du zodiaque ne correspond plus à la constellation la plus proche.

Le calendrier du zodiaque était souvent utilisé en gnomonique (la science des cadrans solaires).. Utiliser un calendrier zodiacal ne signifie en rien que l'on croit en quoi que ce soit à l'astrologie...

Cette maquette du CLEA (Comité de liaison enseignants et astronomes) permet de relier la date à la position du Soleil dans une constellation (couronne intérieure) ou un signe (couronne extérieure) du zodiaque.

Ici, la maquette est réglée pour le 26 avril. Le Soleil est au centre. Depuis la Terre, on le voit dans la constellation du Bélier et le signe du Taureau.

www.clea-astro.eu



Pour en savoir plus

L'ASSP, Association Sciences en Seine Patrimoine, a étudié de nombreuses volvelles, en particulier celles d'Apian.

Vous trouverez sur son site de nombreux développements sur la sphère plate universelle, avec un texte de présentation, un patron, une animation (on peut faire tourner les différentes parties de la volvelle d'Apian) et des explications.

Sur <http://assprouen.free.fr>, onglet dossiers, instruments, volvelles, Apian, "sphère plate universelle".