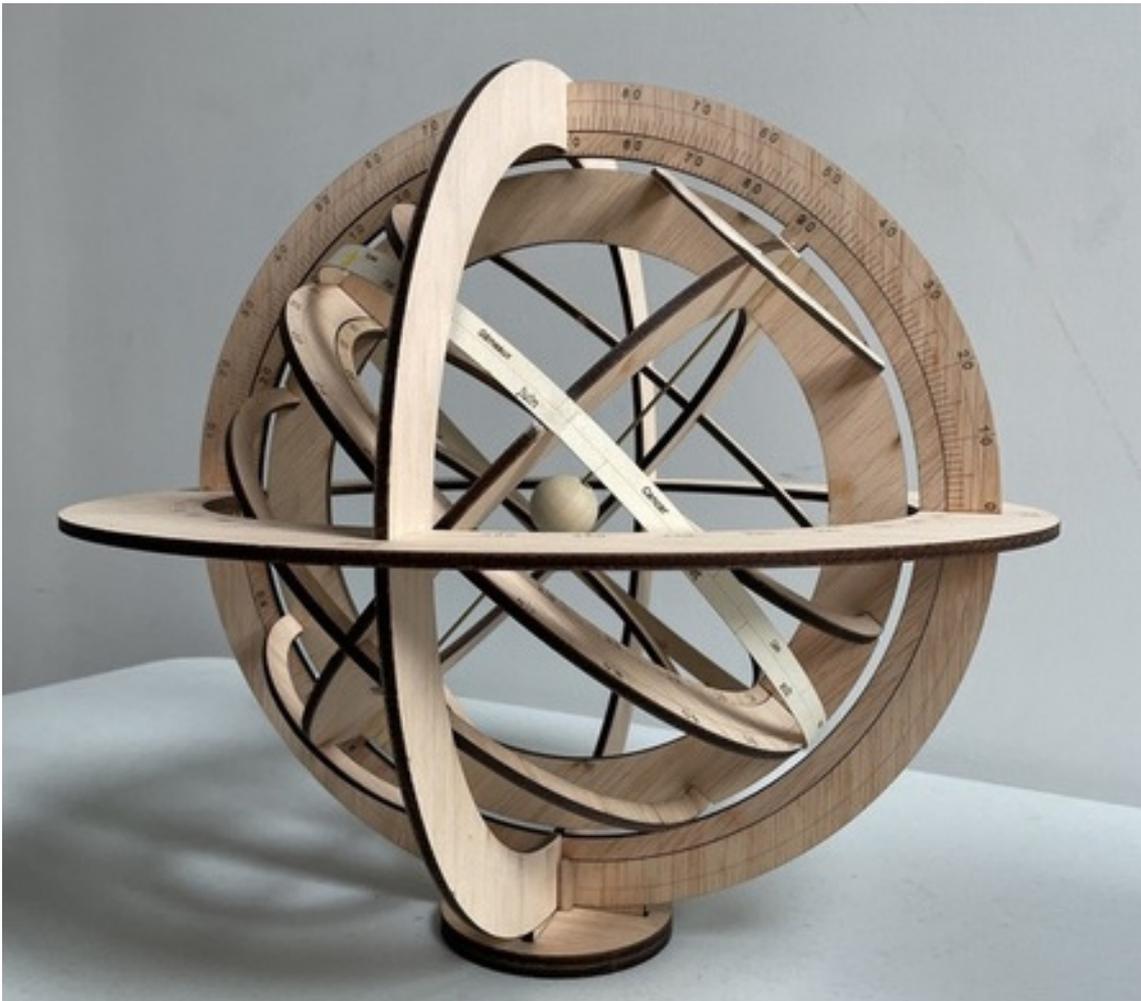


La sphère armillaire

Livret de découverte et d'utilisation



Ce document, le [livret de fabrication](#) ainsi que les fichiers SVG des plans permettant la découpe des pièces constituant la sphère armillaire sont distribués sous licence Creative Commons, et téléchargeables à l'adresse :

<http://clea-astro.eu/lunap/maquettes> (puis voir *Instruments*)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr>

Présentation du projet

Alphonse Delavergne (1933-2021) a animé de nombreux ateliers dans le cadre de l'association GERMEA¹. Il proposait aux stagiaires de fabriquer à partir de ses plans, des instruments anciens, comme l'astrolabe, le nocturlabe, l'anneau astronomique et la sphère armillaire. Les lames de cutter et les lettres à coller étaient les principaux outils.

En 2021, le projet est repris par des membres de différentes associations : le CLEA², la SAF³ et l'ASSP⁴. Il propose la fabrication d'une sphère armillaire par découpe laser qui permet la découpe et la gravure des différentes pièces.

Le présent livret accompagne :

- le montage de la sphère armillaire à partir de la sphère céleste ;
- la compréhension des différentes pièces : définitions et mouvements ;
- la prise en main de la sphère armillaire par des exemples ;
- la découverte de l'utilisation de la sphère armillaire par des activités.

Comment utiliser ce livret ?

Le glossaire. À la fin du livret (p. 33), un glossaire regroupe les définitions des mots utilisés tout au long du livret et liés à l'astronomie. Les mots *écrits en bleu* renvoient au glossaire.

Navigation dans le fichier par des liens cliquables. Sur le fichier PDF de ce livret, vous pouvez cliquer sur les *mots du glossaire* pour accéder directement à leur définition. En fin de définition figurent les numéros de pages des occurrences du mot dans le livret ; cliquer sur un numéro renvoie à la page correspondante.

D'autre part, il est possible de cliquer sur les références présentes dans le texte et renvoyant aux **paragraphes** (§), aux **numéros de pages** (p.), et aux **figures** (FIG.).

Dans la table des matières, un clic sur le titre d'un paragraphe ou sur son numéro de page renvoie à la page correspondante.

En pied de page, un symbole ▲ renvoie à la table des matières.

Contacts

ASSP	Véronique HAUGUEL	veronique.hauguel@gmail.com
SAF	David ALBERTO	david.alberto@posteo.net
CLEA	Pierre CAUSERET	pierre.causeret@orange.fr
Plans	Didier TROTOUX	didier.trotoux@gmail.com

¹Groupe d'entraînement et de recherche pour les méthodes d'éducation active (<https://germea.pagesperso-orange.fr/>)

²Comité de liaison enseignants et astronomes (<http://clea-astro.eu/>)

³Société astronomique de France (<https://saf-astronomie.fr/>)

⁴Association sciences en Seine et patrimoine (<http://assprouen.free.fr/>)

Table des matières

I. Introduction	1
II. Description et montage	1
II.1 Les lignes et les points astronomiques	1
II.2 Montage de la sphère armillaire	2
II.2.1. La sphère céleste et les 3 armilles de la sphère locale	2
II.2.2. Montage de la sphère armillaire	2
II.2.3. Montage du pied de la sphère armillaire	4
III. Réglages de la sphère armillaire - exemples de prise en main	5
III.1 Réglage selon la position de l'observateur sur Terre	5
III.2 Placement du Soleil selon la date	5
III.3 Réglage de la couronne intérieure de l'équateur pour lire l'heure	6
III.4 Prise en main : deux exemples	6
IV. Activités	9
IV.1 Découverte de la sphère armillaire	9
IV.2 Héliocentrisme - géocentrisme	9
IV.3 Mouvements apparents du Soleil	11
IV.3.1. Mouvement diurne du Soleil et crépuscule	11
IV.3.2. Mouvement annuel du Soleil	12
IV.4 La sphère armillaire est un cadran solaire	12
IV.4.1. La sphère armillaire est un cadran solaire par lecture indirecte	13
IV.4.2. La sphère armillaire est un cadran solaire par lecture directe	14
IV.5 Les quatre variables et la sphère armillaire	15
IV.6 La Lune et la sphère armillaire	16
IV.7 Les planètes et la sphère armillaire	17
IV.8 Les étoiles et la sphère armillaire	18
IV.9 Sur les coordonnées	20
V. Compléments	22
V.1 Calendrier grégorien, calendrier du zodiaque	22
V.2 Les coordonnées en astronomie	23
V.2.1. Coordonnées horizontales d'un astre (coordonnées célestes locales)	23
V.2.2. Coordonnées horaires d'un astre (coordonnées célestes locales)	24

V.2.3. Coordonnées équatoriales d'un astre (coordonnées célestes)	25
V.2.4. Coordonnées écliptiques d'un astre (coordonnées célestes)	25
V.3 Heure légale et heure solaire	26
VI. Solutions des activités	27
VII. Quiz	29
VIII.Photos à légender	31
Glossaire du livret	33



I. Introduction

La sphère armillaire est un instrument très ancien correspondant à la vision grecque de l'univers. Dans ce modèle, mis en place par les platoniciens, la Terre est une sphère immobile au centre d'une autre sphère, le cosmos, sur laquelle sont les étoiles et les planètes. C'est le système géocentrique.

Cet instrument est l'un des plus pédagogiques pour comprendre les lignes astronomiques car il est dans le référentiel local, celui de l'observateur qui voit les astres se déplacer sur la sphère céleste.

La sphère armillaire permet de comprendre les mouvements des astres du Système solaire dans le ciel par rapport à un observateur sur Terre. Elle permet aussi des mesures de coordonnées de ces astres.

On peut s'en servir pour donner l'heure comme un cadran solaire (voir § IV.4 p. 12). Concernant l'histoire de cet instrument, voir les références^{5,6}.

II. Description et montage

II.1. Les lignes et les points astronomiques⁷

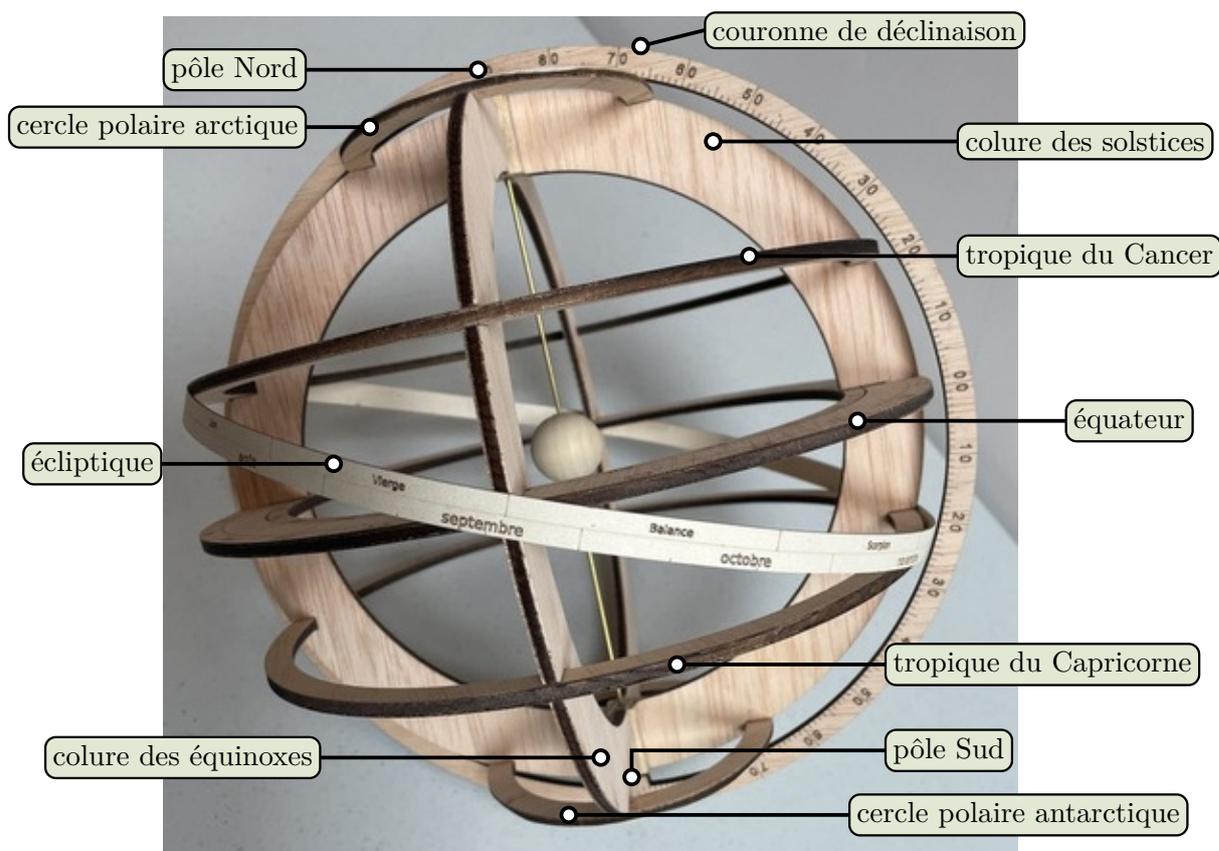


FIG. 1 – Les éléments de la sphère céleste.

⁵ *Les instruments de l'astronomie ancienne*, Philippe DUTARTE, Vuibert 2006.

⁶ <http://assprouen.free.fr/dossiers/Dutarte/Sphere.htm>

⁷ Les définitions sont dans le glossaire p. 33.

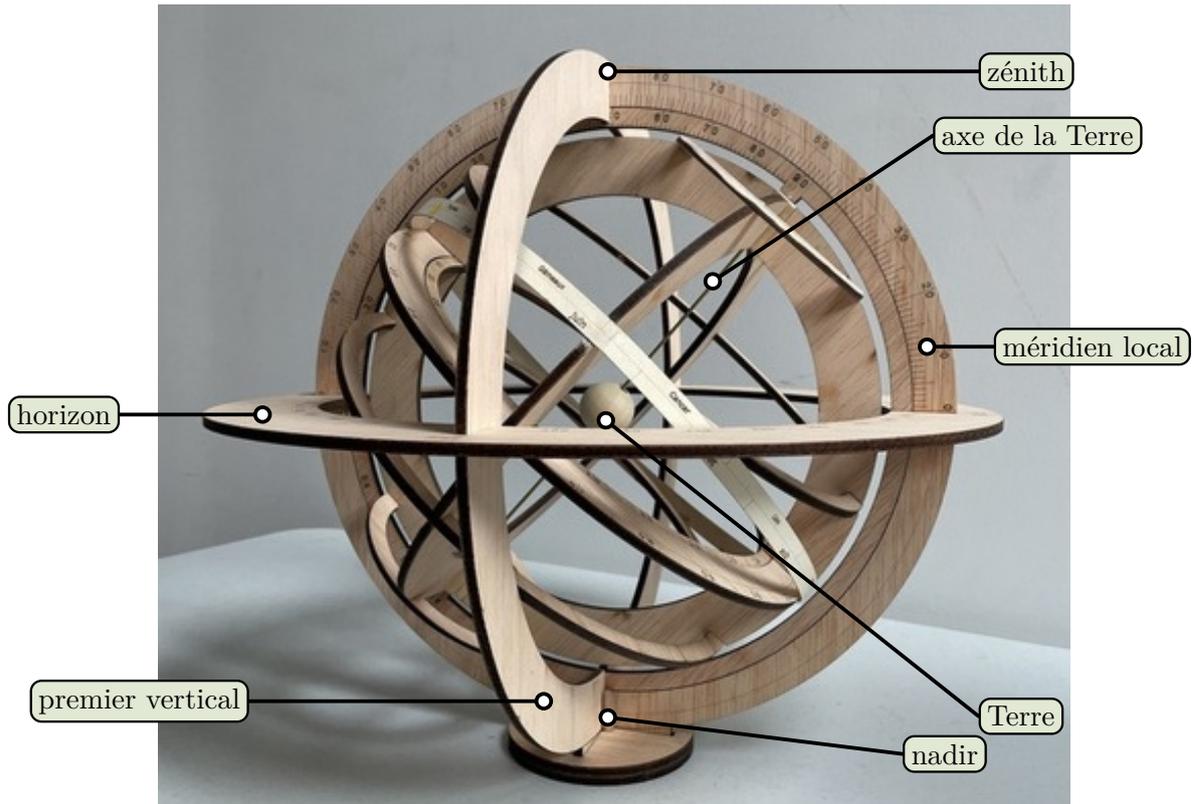


FIG. 2 – Les éléments de la sphère locale.

II.2. Montage de la sphère armillaire

II.2.1. La sphère céleste et les 3 armilles de la sphère locale

Pour le montage de la sphère céleste, se référer au [livret de fabrication](#) de la sphère armillaire.

Une fois la sphère céleste montée, il faut assembler quatre pièces :

- la sphère céleste avec l'axe de la Terre, la Terre au centre et la couronne intérieure du méridien local (voir [FIG. 1](#)) ;
- la couronne extérieure graduée du méridien local ;
- le premier vertical, couronne non graduée avec une encoche et non fermée ;
- l'horizon, la plus grande et la plus large couronne graduée avec 4 encoches situées aux [points cardinaux](#) : au nord, au sud, à l'est et à l'ouest.

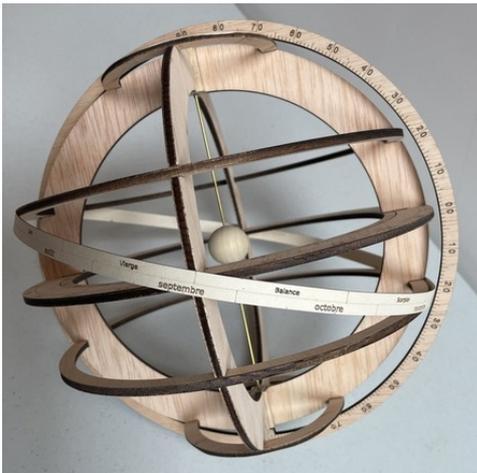
Ces quatre pièces sont représentées sur la [FIG. 3 p. 3](#).

II.2.2. Montage de la sphère armillaire

Se reporter à la [FIG. 4 p. 3](#).

Étape 1. Reconstituer le méridien local.

Placer la couronne intérieure du méridien dans la couronne extérieure du méridien pour que les deux couronnes coulissent et les maintenir ainsi.



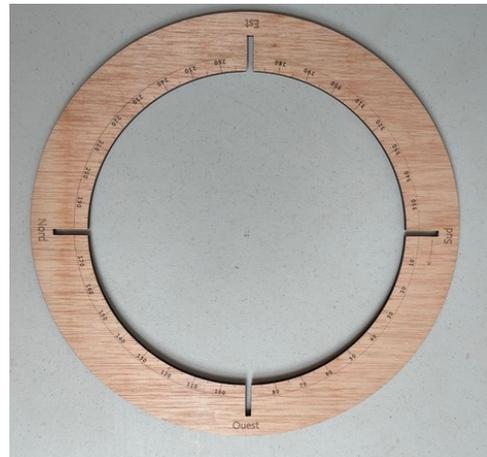
(a) sphère céleste avec méridien gradué (couronne intérieure).



(b) méridien local gradué (couronne extérieure).



(c) premier vertical ouvert en bas.

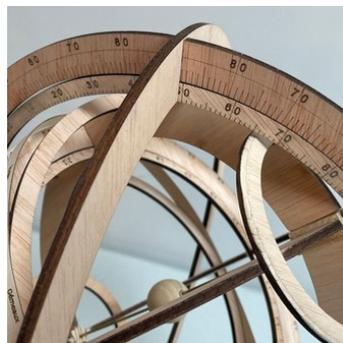


(d) horizon.

FIG. 3 – Les quatre pièces de la sphère armillaire.



(a) étape 1 : les deux couronnes du méridien local autour de la sphère céleste.



(b) étape 2 : le premier vertical perpendiculaire au méridien.



(c) étape 3 : l'horizon.

FIG. 4 – Les trois étapes du montage.

Pour l'hémisphère Nord, le pôle Nord se situe côté encoche.

Pour l'hémisphère Sud, le pôle Sud se situe côté encoche.

Étape 2. Bien positionner le méridien local et le premier vertical à angle droit au niveau du zénith à l'encoche, tout en plaçant correctement les deux couronnes au niveau de l'encoche. Elles ont le même centre, le centre de la Terre.

ATTENTION : NE PAS TORDRE, NI FORCER !

Étape 3. Tout en maintenant le méridien et le premier vertical, enfiler l'horizon par le haut. Placer les 4 encoches au fur et à mesure. Puis baisser l'horizon jusqu'à sa position finale sur les ergots.

ATTENTION : les points cardinaux nord et sud doivent être placés sur le méridien gradué.

II.2.3. Montage du pied de la sphère armillaire

Le pied est constitué de :

- un disque de diamètre 10 cm percé de 4 trous ;
- un second disque de même diamètre, percé de 4 trous et de rainures perpendiculaires ;
- 4 tourillons (chevilles) de diamètre 6 mm et de longueur 3 cm ;
- une pièce concave de longueur 8 cm ;
- une pièce similaire à la précédente, mais en deux parties.

L'assemblage du pied est simple et sans collage (FIG. 5 p. 4) :

- superposer les deux disques (celui ayant des rainures étant au-dessus) ;
- enfoncer les 4 tourillons dans les trous, à travers les deux disques ;
- insérer la pièce concave dans une rainure ;
- insérer la dernière pièce dans les rainures restantes.



FIG. 5 – Le pied une fois assemblé. Pour y installer la sphère armillaire, il faut insérer entre les tourillons le premier vertical et le méridien, qui doivent reposer sur les pièces concaves. Vérifier que la sphère céleste tourne sans frottement.

III. Réglages de la sphère armillaire - exemples de prise en main

III.1. Réglage selon la position de l'observateur sur Terre

L'angle entre l'axe de la Terre et l'horizon est égal à la *latitude* du lieu ⁸ (FIG. 6 p. 5).



(a) Si l'observateur est au pôle Nord (latitude 90°), l'axe de la Terre est vertical. C'est la « sphère parallèle ».

(b) Si l'observateur est à l'équateur (latitude 0°), l'axe de la Terre est horizontal. C'est la « sphère droite ».

(c) Si l'observateur est à une autre latitude, l'axe de la Terre est oblique. C'est la « sphère oblique ».

FIG. 6 – La « sphère parallèle », la « sphère droite » et la « sphère oblique ».

Pour régler la sphère armillaire, il faut faire coulisser la couronne intérieure du *méridien local* sur laquelle est fixé l'axe de la Terre sur la couronne extérieure graduée. Puis le pôle Nord doit être amené au-dessus de l'horizon, côté nord, dans l'hémisphère Nord – ou le pôle Sud au-dessus de l'horizon, côté sud, dans l'hémisphère Sud – en face de la graduation de la latitude. (voir exemples § III.4 p. 6).

1^{er} réglage : en latitude

L'angle de l'axe de la Terre avec l'horizon indique la latitude du lieu.

De plus, on peut placer la sphère armillaire selon l'orientation du lieu :

- avec une boussole, on repère le nord puis le sud, l'est et l'ouest du lieu ;
- on place la sphère armillaire en conséquence avec les orientations N, S, E et O sur l'horizon. (voir § IV.4 p. 12 sur l'utilisation comme cadran solaire).

III.2. Placement du Soleil selon la date

L'*écliptique* est gradué selon le calendrier grégorien, selon le calendrier du zodiaque et selon la *longitude écliptique*. On repère la date sur l'écliptique et on place

⁸Démonstration simple à faire avec les élèves.

délicatement une pastille sur cette date. Cette pastille représente la position du Soleil sur la sphère céleste à la date choisie.

Voir le complément § V.1 p. 22 sur les calendriers.



FIG. 7 – Position du Soleil le 1^{er} mai.

2^e réglage : en date ou en longitude du Soleil sur l'écliptique

Quand les deux réglages (en latitude et en date) sont faits, la sphère armillaire est réglée pour fonctionner sans l'heure.

III.3. Réglage de la couronne intérieure de l'équateur pour lire l'heure

Sur la sphère armillaire, l'angle horaire (ou l'heure solaire) est donné par la couronne intérieure graduée et coulissante de l'équateur.

Réglage de la couronne intérieure de l'équateur

- régler la sphère armillaire selon la *latitude* et selon la date ;
- tourner la sphère céleste pour amener le « Soleil » ou la date sur l'écliptique en face du *méridien local* au-dessus de l'horizon ;
- faire coulisser la couronne intérieure graduée de l'équateur, pour placer sur le méridien local au-dessus de l'horizon :
 - le 12 de midi pour lire l'heure solaire ;
 - le 00 pour lire l'angle horaire du Soleil.

Dans ce livret, l'heure lue sur la sphère armillaire est l'heure solaire.

III.4. Prise en main : deux exemples

On veut simuler le mouvement diurne du Soleil en fonction de la *latitude* et de la date. Un exemple est proposé pour chaque hémisphère.

L'observateur est à Paris le 1^{er} mai. Latitude : $48^{\circ} 51' \text{ N}$ (arrondi à 49° N).

Voir FIG. 8 et FIG. 9

Sur la sphère
armillaire

Exemple 1
Hémisphère
Nord

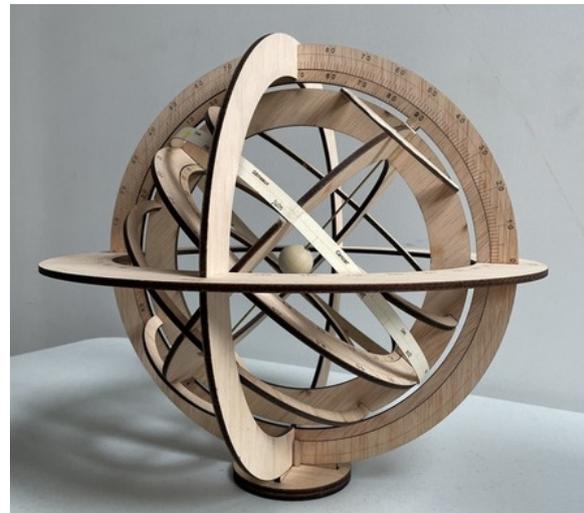
1. Placer le pôle Nord au-dessus de l'horizon, côté nord, sur la graduation 49°.
2. Placer la pastille du Soleil sur l'*écliptique* à la date du 1^{er} mai.
3. Faire coulisser la couronne intérieure de l'équateur pour la régler (voir § III.3 p. 6).

La sphère armillaire est réglée.

4. Faire tourner la sphère céleste dans le sens horaire quand on regarde le pôle Nord depuis l'extérieur de la sphère armillaire (vu de la Terre à l'intérieur de la sphère armillaire, c'est l'autre sens).

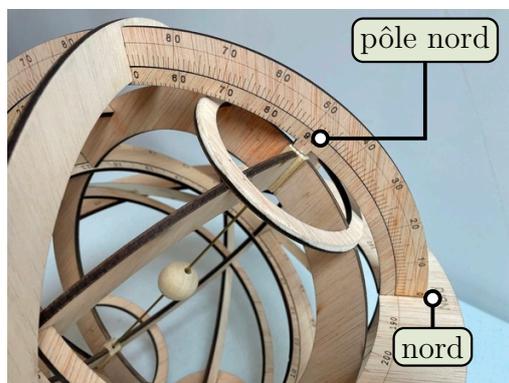


(a) Globe terrestre avec le personnage à Paris (latitude 49° N).



(b) La sphère armillaire à la latitude de Paris (49° N).

FIG. 8 – Réglages pour Paris (exemple 1).



(a) Latitude réglée pour Paris (49° N).



(b) Lever du Soleil à Paris (49° N).

FIG. 9 – Vues rapprochées des réglages pour Paris (exemple 1).

Exemple 2
Hémisphère
Sud

L'observateur est à Saint-Denis de La Réunion le 1^{er} mai. Latitude : $20^{\circ} 53' S$ (arrondi à $21^{\circ} S$).
Voir FIG. 10 et FIG. 11.

1. Placer le pôle Sud au-dessus de l'horizon, côté sud, sur la graduation 21° .
2. Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique à la date du 1^{er} mai.
3. Faire coulisser la couronne intérieure de l'équateur pour la régler (voir § III.3 p. 6).

La sphère armillaire est réglée.

4. Faire tourner la sphère céleste dans le sens antihoraire quand on regarde le pôle Sud (vu de la Terre à l'intérieur de la sphère armillaire, c'est l'autre sens).



(a) Globe terrestre avec le personnage à Saint-Denis de La Réunion (latitude $21^{\circ} S$).



(b) La sphère armillaire à la latitude de Saint-Denis de La Réunion ($21^{\circ} S$).

FIG. 10 – Réglages pour Saint-Denis (exemple 2).



(a) À Saint-Denis de La Réunion ($21^{\circ} S$).



(b) Coucher du Soleil à Saint-Denis de La Réunion ($21^{\circ} S$).

FIG. 11 – Vues rapprochées des réglages pour Saint-Denis (exemple 2).

IV. Activités

Pour les solutions des activités, voir § VI p. 27.

IV.1. Découverte de la sphère armillaire

— Retrouver et écrire le nom de toutes les lignes astronomiques (en rouge, les lignes *en mouvement* et en bleu les lignes *fixes*). Ces indications peuvent être reportées sur les FIG. 24 et 25 p. 31 et 32.

**Application
sur la sphère
armillaire**

- Qu'est-ce qui est fixe ?
- Qu'est ce qui est mobile ? Préciser les mouvements.

À propos de la Terre, la boule centrale a-t-elle un mouvement ?

— Donner la définition de chacune des lignes.

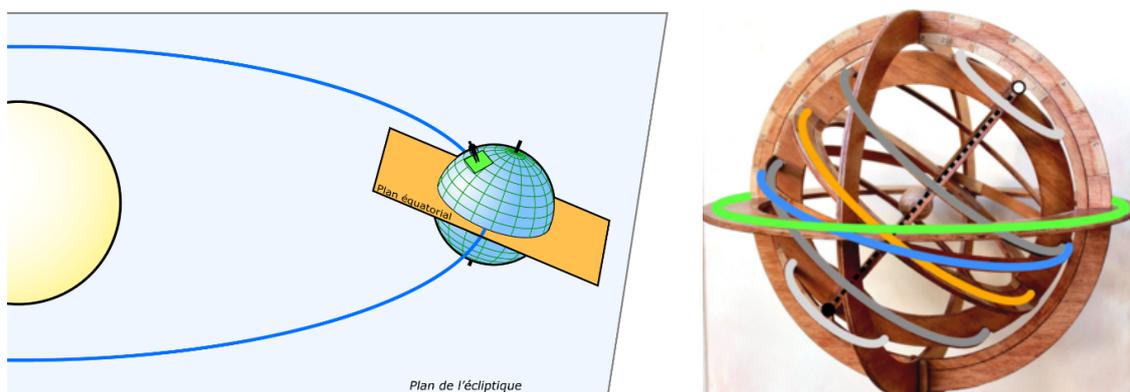
IV.2. Héliocentrisme - géocentrisme

Chez les Anciens, pour la quasi-totalité des astronomes grecs, la Terre est immobile au centre du monde et la voûte céleste des « fixes » tourne en 24 heures environ.

Avec son ouvrage *De Revolutionibus orbium coelestium*, publié en 1543, Copernic ébranle de manière irréversible la théorie du géocentrisme. Mais il faudra presque deux siècles pour que l'héliocentrisme soit reconnu par tous les savants.

Néanmoins, le point de vue de l'observateur qui décrit ce qu'il voit au-dessus de l'horizon et qui observe les mouvements des astres par rapport à lui-même reste une approche indispensable que la sphère armillaire permet.

Mais il n'est pas toujours facile de passer du point de vue de l'observateur au point de vue héliocentrique.



(a) Point de vue héliocentrique.

(b) Point de vue de l'observateur.

FIG. 12 – Les deux points de vue, en couleurs.

En vert : horizon ou plan de l'horizon.

En orange : équateur ou plan équatorial.

En blanc : cercles polaires.

En gris : tropiques.

En bleu : écliptique ou plan écliptique.

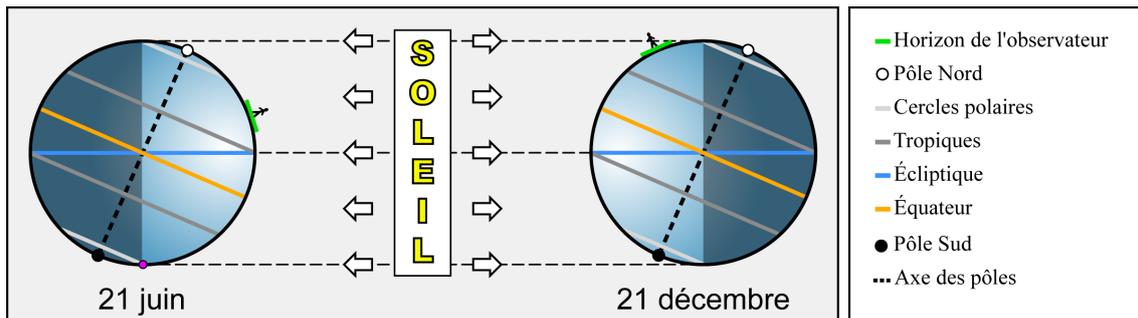
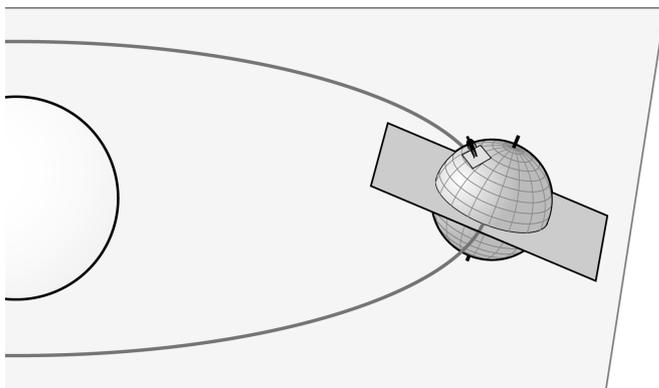


FIG. 13 – Lignes astronomiques (Il est midi pour l'observateur).

**Application
sur la sphère
armillaire**

1. Retrouver dans les deux schémas FIG. 14 p. 10 les différentes lignes astronomiques dans le point de vue héliocentrique et dans le point de vue de l'observateur.
2. Lire l'inclinaison de l'axe des pôles (angle entre l'équateur et l'écliptique), sur la sphère armillaire. La comparer avec l'inclinaison actuelle.

*Aide : actuellement l'inclinaison de la Terre est $23^{\circ} 26' 16''$. Elle diminue.
Sur les sphères armillaires, l'inclinaison est de $23,5^{\circ}$ environ.*



(a) Point de vue héliocentrique.



(b) Point de vue de l'observateur.

FIG. 14 – Identifier les lignes astronomiques sur ces schémas, en les coloriant.

Toutes les activités proposées avec le Soleil donnent des résultats aussi précis que possible. Pour la Lune et les planètes – qui ne sont pas exactement sur l'écliptique – les résultats peuvent être plus approximatifs.

Le système de coordonnées peut être centré sur le Soleil (coordonnées *héliocentriques*), sur la Terre (coordonnées *géocentriques*) ou sur l'observateur (coordonnées *topocentriques*). Le plan de référence peut être l'écliptique ou l'équateur, ou encore l'horizon pour des coordonnées topocentriques. Dans ce livret, nous travaillons avec les coordonnées géocentriques.

Voir complément § V.2 p. 23 et activité § IV.9 p. 20.

IV.3. Mouvements apparents du Soleil

IV.3.1. Mouvement diurne du Soleil et crépuscule

1. a) Choisir une latitude et une date.
 b) Régler la sphère armillaire en :
 Latitude = Date =
 c) Placer la pastille du Soleil sur l'*écliptique*.
 d) Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6)
2. Compléter le TAB. 1.

Application
sur la sphère
armillaire

AU LEVER ET AU COUCHER DU SOLEIL :	
Heure de lever :	Heure de coucher :
<i>Azimut</i> au lever :	<i>Azimut</i> au coucher :
<i>Amplitude ortive</i> :	<i>Amplitude occase</i> :
Durée du jour :	Durée de la nuit :
AU PASSAGE DU SOLEIL AU MÉRIDIEN :	
<i>Hauteur</i> du Soleil : (à vérifier par calcul ⁹)	

TAB. 1 – Mouvement diurne du Soleil.

3. Sur le crépuscule. ¹⁰

Le *crépuscule* est une période avant le lever ou après le coucher du Soleil. On définit 3 crépuscules, selon la hauteur du Soleil sous l'horizon :

- civil (entre 0° et -6°);
- nautique (entre -6° à -12°);
- astronomique (entre -12° et -18°).

On appelle *heure de début (resp. de fin) du crépuscule civil* l'heure solaire quand le Soleil est à 6° sous l'horizon le matin (resp. le soir).

De même, on définit les *heures de début et de fin du crépuscule nautique* quand le Soleil est à 12° sous l'horizon et les *heures de début et de fin du crépuscule astronomique* quand il est à 18° sous l'horizon.

Pendant le crépuscule civil, seules certaines planètes et les étoiles les plus brillantes sont visibles.

Jusqu'à 12° sous l'horizon, la ligne d'horizon est visible ; les marins peuvent mesurer la hauteur des astres à partir de cette ligne avec des instruments de hauteur.

À partir de 18° sous l'horizon, les conditions sont les plus propices à une observation des astres peu lumineux.

⁹À midi solaire : $h_S = 90^\circ - \varphi + \delta_S$, avec h_S la hauteur du Soleil, δ_S sa *déclinaison* et φ la latitude du lieu (cas particulier de la formule aux jours d'équinoxe. Voir § V p. 22).

¹⁰Avant le XIX^e s., il n'est fait mention que d'un seul crépuscule, période pendant laquelle le Soleil passe de 18° sous l'horizon à son passage à l'horizon.

- a) Compléter si possible :
- Heure de début du crépuscule civil :
le matin : le soir :
 - Heure de fin du crépuscule nautique :
le matin : le soir :
 - Heure de début du crépuscule astronomique :
le matin : le soir :
- b) Vérifier sur la sphère armillaire qu'au *solstice* de juin, à une latitude de 50° N, le Soleil ne descend pas en dessous de 18° sous l'horizon.

IV.3.2. Mouvement annuel du Soleil

Application
sur la sphère
armillaire

1. a) Choisir une latitude et une date.
b) Régler la sphère armillaire en :
Latitude = Date =
 - c) Placer la pastille du Soleil sur l'*écliptique*.
 2. Lire la *longitude écliptique* et la *déclinaison* du Soleil :
Longitude écliptique : λ_S : Déclinaison : δ_S :
Vérifier à l'aide du logiciel *Stellarium*¹¹.
- Voir complément § V.1 p. 22 sur les calendriers.
3. a) Repérer les dates des équinoxes et des solstices, débuts des quatre saisons en fonction de la position du Soleil sur l'écliptique ;
b) Remarquer, pour chaque saison, la position du Soleil par rapport à l'équateur.

IV.4. La sphère armillaire est un cadran solaire

Le cadran équatorial, constitué de l'armille méridien local sur laquelle sont fixés l'axe de la Terre et l'armille équateur graduée en heures solaires, est un des plus simples et des plus pédagogiques des cadrans solaires. S'il est posé sur un plan horizontal, bien orienté – méridien dans la direction nord-sud –, et bien réglé – l'axe de la Terre faisant un angle avec l'horizon égal à la *latitude* –, l'ombre de l'axe sur l'intérieur de la couronne de l'équateur donne l'heure solaire.

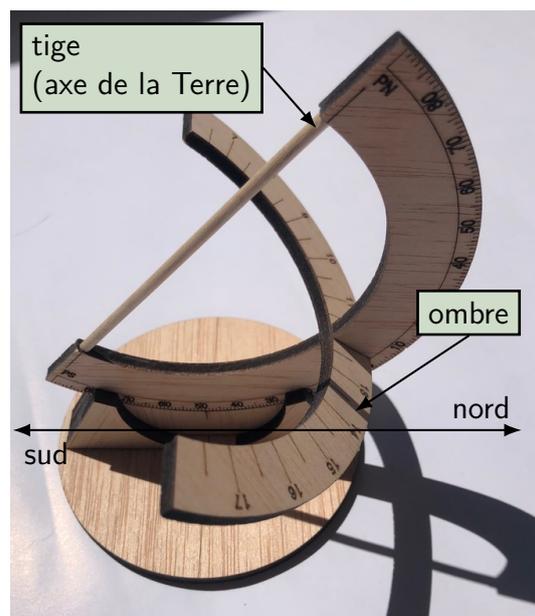
Le méridien et l'équateur du cadran équatorial de la **FIG. 15 p. 13** sont des demi-couronnes ou demi-armilles, pour permettre une lecture de l'heure toute l'année et à toute heure¹² avec un minimum d'ombres créées par l'instrument, ce qui n'est pas le cas de la sphère armillaire.

Voir le livret [Cadran solaire équatorial universel](#).

¹¹Un logiciel de planétarium gratuit et multi-plateforme : <https://stellarium.org/fr/>

¹²Sur ce cadran équatorial, la demi-couronne équatoriale ne permet pas la lecture d'heure avant 6 h du matin ou après 18 h au printemps et en été. On pourrait prolonger la demi-couronne pour y placer ces heures ; mais alors au moment des équinoxes, on ne pourrait pas, par manque d'ombre sur l'équateur, lire les heures entre 6 h et 8 h du matin et entre 16 h et 18 h.

FIG. 15 – Cadran solaire équatorial universel d’Alphonse Delavergne, réglé à la latitude 49° N et orienté nord-sud. L’heure solaire lue est 13h30, indiquée par l’ombre de l’axe de la Terre.



IV.4.1. La sphère armillaire est un cadran solaire par lecture indirecte

La sphère armillaire peut être utilisée avec le même principe que le cadran solaire équatorial décrit ci-dessus, quand l’ombre de l’axe de la Terre se trouve sur l’intérieur de l’équateur – ce qui n’est pas toujours le cas à cause d’ombres créées par les armilles de l’instrument.

Pour cette utilisation, prenons un exemple :

1. Régler la sphère armillaire à la latitude 49° N.
2. Tourner la sphère céleste pour amener le 0 h de la couronne extérieure de l’équateur sur le méridien local au-dessus de l’horizon **FIG. 16 p. 14**.
3. Placer la sphère armillaire sur un plan horizontal puis l’orienter à l’aide d’une boussole, en tenant compte de la déclinaison magnétique (déterminée à l’aide du site [magnetic-declination](https://www.magnetic-declination.com/)¹³ ou du logiciel [declimag](http://vtopo.free.fr/declimag.htm)¹⁴, par exemple) ou avec la boussole de votre smartphone.
4. Repérer l’ombre de l’axe des pôles sur l’intérieur de la couronne de l’équateur. Elle est sur la graduation 14.
5. Tourner la couronne intérieure de l’équateur pour amener la graduation 00 sur l’ombre.
6. Lire l’heure sur la couronne intérieure juste sous le méridien local.

L’heure solaire est 10 heures du matin.

¹³<https://www.magnetic-declination.com/>

¹⁴<http://vtopo.free.fr/declimag.htm>

**Application
sur la sphère
armillaire**

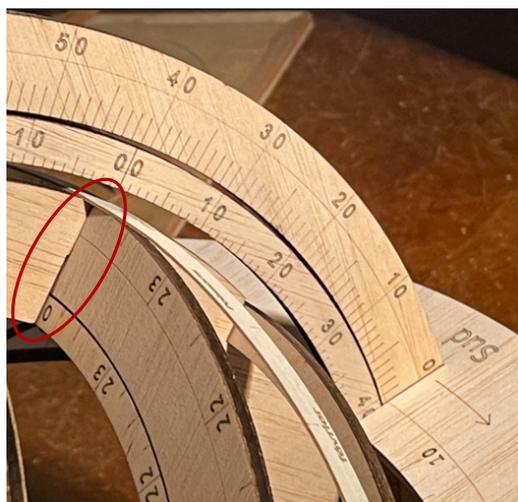


FIG. 16 – Point 2 de l'utilisation : la graduation 0 de la couronne extérieure de l'équateur est sous le méridien local.

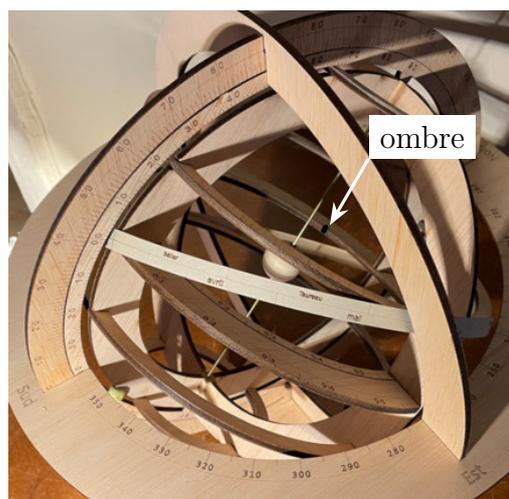


FIG. 17 – Ombre de l'axe de la Terre sur l'intérieur de la couronne de l'équateur.

Remarques :

- *L'écliptique n'a aucun rôle dans cette méthode.* Parfois son ombre gêne la lecture de la graduation sur l'équateur. Pour éviter cet inconvénient, on peut faire faire un demi-tour à l'équateur (mettre la graduation 12 heures de l'équateur sous le méridien local au-dessus de l'horizon) : la partie de l'écliptique qui était au-dessus de l'équateur le matin, va être en-dessous et celle qui était en-dessous de l'équateur l'après-midi, va être au-dessus. Il faut alors ajouter ou soustraire 12 heures à l'heure.
- La sphère armillaire ne fonctionne pas comme cadran solaire avec cette méthode quand le Soleil est proche de l'équateur ; l'ombre est alors l'arc de l'ombre de la boule Terre. En prenant le centre de cet arc, on peut estimer l'heure.

IV.4.2. La sphère armillaire est un cadran solaire par lecture directe

On peut obtenir l'heure solaire par lecture directe en plaçant une épingle *sur l'écliptique à la date de l'observation* et observer son ombre sur la boule Terre.

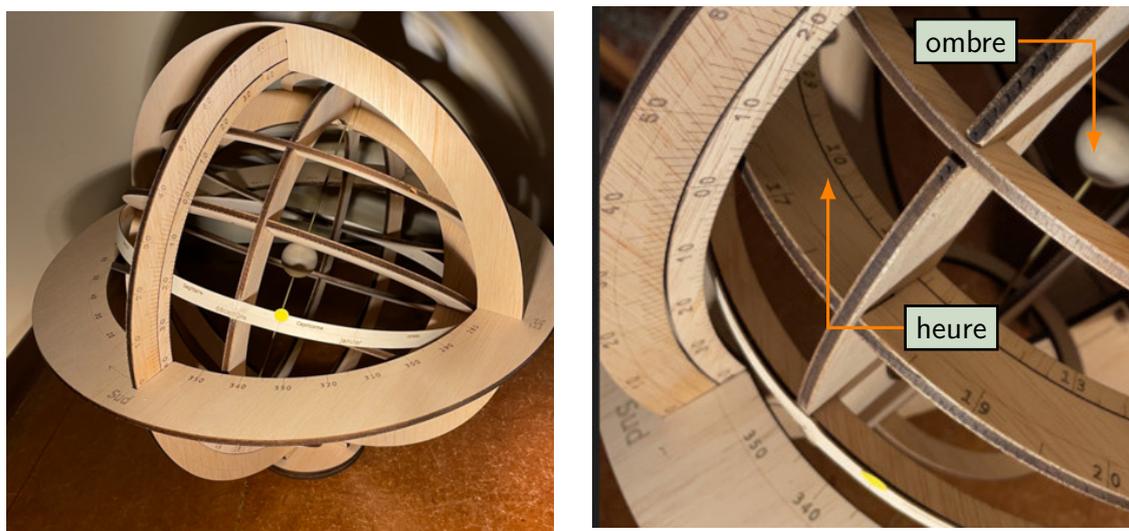
**Application
sur la sphère
armillaire**

Trouver l'heure solaire par lecture directe.

1. a) Choisir une latitude et une date.
 b) Régler la sphère armillaire en :
 Latitude = Date =
 c) Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique.
 d) Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6)
2. Placer une épingle sur la place du Soleil sur l'écliptique, dépassant légèrement et mise dans la direction du méridien perpendiculaire à l'équateur ;
3. Régler la couronne intérieure de l'équateur pour pouvoir lire l'heure solaire (voir § III.3 p. 6.) ;

4. Placer la sphère armillaire sur un plan horizontal puis l'orienter à l'aide d'une boussole en tenant compte de la déclinaison magnétique (déterminée à l'aide du site magnetic-declination¹⁵ ou du logiciel declimag¹⁶, par exemple) ou avec la boussole de votre smartphone ;
5. Tourner la sphère céleste jusqu'à ce que l'ombre de l'épingle soit sur la boule Terre. L'ombre de l'épingle représente une partie du méridien du Soleil. Ce méridien coupe le disque éclairé de la Terre en deux parties égales ;
6. Lire l'heure solaire sur la couronne intérieure de l'équateur au niveau du méridien local au-dessus de l'horizon.

On suppose que l'observateur est à la latitude 49° N, le 1^{er} janvier.



(a) L'ombre du repère coupe le disque éclairé de la Terre en deux.

(b) Il est 10 h du matin.

FIG. 18 – Cadran solaire par lecture directe.

Remarques :

- Avec cette méthode, il faut connaître la date.
- Le centre du Soleil – le point sur l'écliptique du 1^{er} janvier – l'épingle, l'ombre de l'épingle sur la Terre et l'axe de la Terre sont dans un même plan.

Voir complément § V.3 p. 26 sur l'heure légale et l'heure solaire.

IV.5. Les quatre variables et la sphère armillaire

La latitude de l'observateur, la hauteur du Soleil, la date et l'heure solaire sont quatre variables liées. Si on en connaît trois, on doit pouvoir trouver la quatrième à l'aide de la sphère armillaire (il peut y avoir deux solutions).

1. a) Choisir une latitude et une date.
- b) Régler la sphère armillaire en :

Latitude =

Date =

**Application
sur la sphère
armillaire**

¹⁵<https://www.magnetic-declination.com/>

¹⁶<http://vtopo.free.fr/declimag.htm>

- c) Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique.
- d) Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6)

2. Sachant que la hauteur du Soleil est 30° , lire l'heure solaire :

Heure solaire $H_S = \dots\dots\dots$

Il y a une ou deux solutions si la latitude est de $83,5^\circ S$ à $83,5^\circ N$. Sinon, le Soleil n'atteint pas cette hauteur.

Autres applications :

- On donne la date, la latitude et l'heure solaire ; on lit la hauteur du Soleil.
Plus difficile :
- On donne la latitude du lieu, la hauteur du Soleil et l'heure solaire ; on lit la date.
- On donne la date, la hauteur du Soleil et l'heure solaire ; on lit la latitude du lieu.

Complément : à la place de la hauteur du Soleil, on peut donner son *azimut* A_{zS} .

Exemple (avec la sphère armillaire) :

Le 21 août 2023 à Paris (latitude $49^\circ N$), l'azimut du Soleil est 90° . Quelle est l'heure solaire par lecture ?

Pour chaque application, on peut lire le résultat sur la sphère armillaire et le vérifier ensuite à l'aide du logiciel *Stellarium*, en veillant à la conversion entre l'heure solaire et l'heure légale, ou en travaillant avec l'angle horaire du Soleil.

Voir complément § V.3 p. 26 sur l'heure légale et l'heure solaire.

IV.6. La Lune et la sphère armillaire

On peut utiliser la sphère armillaire pour d'autres astres que le Soleil. Par exemple, la sphère armillaire permet d'expliquer la position de la Lune dans le ciel un jour donné, en fonction de son *âge*.

On ne peut pas faire de détermination précise car la *latitude écliptique* de la Lune est variable et peut approcher les 6° , alors qu'on la suppose toujours nulle, en plaçant la Lune sur l'*écliptique*. Cette approximation ne permet de faire que des estimations.

1. a) Choisir une latitude et une date.
b) Régler la sphère armillaire en :
Latitude = $\dots\dots\dots$ Date = $\dots\dots\dots$
c) Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique.
d) Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6).
2. Trouver l'âge de la Lune en observant la Lune (si elle est dans le ciel) pour la placer délicatement avec une pastille de couleur différente sur la sphère armillaire. Quelle est la déclinaison lue sur la sphère armillaire de la Lune $\delta_L = \dots\dots\dots$
3. Trouver :
Heure de lever de la Lune = $\dots\dots\dots$ Heure de coucher de la Lune = $\dots\dots\dots$
Heure de culmination de la Lune = $\dots\dots\dots$
Hauteur de la Lune = $\dots\dots\dots$ (à vérifier par le calcul)
On peut comparer ces résultats avec les indications sur *Stellarium*.

**Application
sur la sphère
armillaire**

4. On peut réfléchir sur les positions Terre/Lune/Soleil et les phases de la Lune sur la sphère armillaire.

- prendre une position du Soleil sur l'écliptique.
Longitude écliptique du Soleil =
- positionner alors la Lune sur l'écliptique, à la nouvelle lune (NL), au premier quartier (PQ), à la pleine lune (PL) et au dernier quartier (DQ), en considérant qu'à chaque phase, la Lune se déplace d'un quart de cercle.
Longitude écliptique de la Lune à NL =
Longitude écliptique de la Lune au PQ =
Longitude écliptique de la Lune à PL =
Longitude écliptique de la Lune au DQ =

Autres applications :

- Dans chaque situation, il est possible de simuler la trajectoire de la Lune dans le ciel à la date choisie, la comparer avec celle du Soleil, trouver l'heure de lever de la Lune, l'heure du passage au méridien et l'heure de son coucher.
- Il est intéressant de faire ces manipulations au moment des solstices.

On remarquera que les résultats peuvent être assez différents des résultats indiqués par *Stellarium*, à cause du parti pris de négliger la latitude de la Lune.

IV.7. Les planètes et la sphère armillaire

Les trajectoires des planètes sont plus ou moins proches de l'*écliptique*. Dans ce paragraphe, on suppose que la *latitude écliptique* de chaque planète est nulle, ce qui rend les résultats approchés.

Avec la sphère armillaire, on peut simuler les trajectoires de planètes, une nuit donnée, l'observateur étant à une latitude connue.

On peut aussi, par exemple, trouver la période la plus propice à l'observation de planètes comme Mercure.

Application 1.

1. a) Choisir une latitude et une date.
b) Régler la sphère armillaire en :
Latitude = Date =
- c) Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique ;
d) Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6).
2. Placer les planètes avec des pastilles de différentes couleurs, en fonction de leur *longitude écliptique* de la date, en vous aidant d'éphémérides du mois ou du logiciel *Stellarium* pour chacune d'entre elles ;
3. Estimer l'heure de lever et l'heure de coucher de chacune (TAB. 2 p. 18.) ;
4. Rechercher, s'il y en a, les astres en *opposition* ou en *conjonction* à l'aide d'éphémérides mais aussi à l'aide de la sphère armillaire.

**Applications
sur la sphère
armillaire**

Planète	heure de lever	heure de passage au méridien	heure de coucher
Mercure			
Vénus			
Mars			
Jupiter			
Saturne			
Uranus			
Neptune			

TAB. 2 – Mouvement apparent des planètes.

Application 2. Périodes propices à l'observation de Mercure.

Sachant que Mercure ne s'écarte jamais beaucoup du Soleil, trouver avec la sphère armillaire les périodes de l'année propices à l'observation de Mercure, si sa position le permet.

Réponse : les meilleures périodes pour observer Mercure sont le soir au printemps et le matin en automne, mais elle reste difficile à observer !

IV.8. Les étoiles et la sphère armillaire

La sphère armillaire n'est pas faite pour placer simplement des étoiles sauf celles situées sur une armille comme l'*écliptique*, l'*équateur céleste*, un tropique, un cercle polaire ou un *colure*. D'autres instruments sont utilisés pour les étoiles, comme l'astrolabe planisphérique ou l'astrolabe universel.

Néanmoins, on peut placer quelques étoiles près de ces lignes sur la sphère céleste (TAB. 3 p. 19).

Application sur la sphère armillaire1. Sur les étoiles *circumpolaires*.

- Placer une pastille à la place de Phecda de la Grande Ourse ;
- Régler la latitude à 50° N ;
- En tournant la sphère céleste, vérifier que Phecda est bien circumpolaire ;
- Déterminer la latitude minimale pour laquelle Phecda est circumpolaire.

Réponse : Phecda est circumpolaire pour les latitudes supérieures à 36° N environ.

2. On peut choisir comme latitude 50° S, prendre l'étoile δ Pav du Paon et répondre aux mêmes questions.

3. Lecture des heures de passage d'une étoile au-dessus de l'horizon.

- Réglage de la sphère armillaire.

étoile	magn. absolue	constellation	ascension droite	déclinaison	près de (à 1° ou 4 min près)
Mintaka (δ Ori)	2,4	Orion (ceinture)	5 h 33 min	0° 17' S	équateur
Heze (ζ Vir)	3,35	Vierge (genou)	13 h 36 min	0° 36' S	équateur
Adhafera (ζ Leo)	3,4	Lion (tête)	10 h 18 min	23° 18' N	tropique du Cancer
Phecda (γ UMa)	2,4	Grande Ourse	11 h 55 min	53° 34' N	colure des équinoxes
Bételgeuse (α Ori)	0,45	Orion	5 h 56 min	7° 24' N	colure des solstices
ι Ceph (32 Ceph)	3,5	Céphée	22 h 50 min	66° 20' N	cercle polaire arctique
δ Pav	3,55	Paon	20 h 11 min	66° 7' S	cercle polaire antarctique
Al Zara (o2 CMa, 24 CMa)	3,0	Grand Chien (reins)	7 h 04 min	23° 52' S	tropique du Capricorne
Caph (β Cas)	2,25	Cassiopée	0 h 10 min	59° 17' N	colure des équinoxes ^a
Alpheratz (α And)	5,15	Andromède	0 h 10 min	29° 13' N	colure des équinoxes ^a

TAB. 3 – Quelques étoiles à placer sur la sphère armillaire.

a. à 10 min près, soit 2,5°.

- i. Choisir une latitude et une date ;
 - ii. Régler la sphère armillaire en :
Latitude = Date =
 - iii. Placer la pastille du Soleil sur l'écliptique ;
 - iv. Régler la couronne intérieure de l'équateur (voir § III.3 p. 6).
- b)
- i. Choisir une étoile dans le TAB. 3.
 - ii. Placer la pastille de l'étoile sur la ligne astronomique.
- c) La trajectoire d'une étoile peut ne pas couper l'horizon ; d'autre part une étoile passe sur le méridien au-dessus de l'horizon une fois, deux fois ou pas du tout. Déterminer par lecture, le cas échéant :
- L'heure de lever de l'étoile : $H_L = \dots\dots\dots$
- L'heure de coucher de l'étoile : $H_C = \dots\dots\dots$
- L'heure du passage de l'étoile au méridien : $H_M = \dots\dots\dots$

Préciser alors sa hauteur : $h_E = \dots\dots\dots$

Vérifier la formule : $h_E = 90^\circ - \varphi + \delta_E$

h_E la hauteur de l'étoile, δ_E sa déclinaison et φ la latitude du lieu.

- d) Préciser si l'étoile est visible et à partir de quelle heure (on estime que l'étoile est visible au-dessus de l'horizon quand la hauteur du Soleil est à plus de 6° sous l'horizon).

.....

Voir Crépuscule p. 11.

4. Lecture des autres coordonnées de l'étoile choisie au point 3(b)i.

En s'aidant éventuellement d'un compas à pointes sèches.

- a) Tourner la sphère céleste pour que l'étoile soit au-dessus de l'horizon ;
- b) Lire les coordonnées horizontales :
 - hauteur de l'étoile :
 - *azimut* de l'étoile :
- c) Lire les coordonnées horaires :
 - *angle horaire* de l'étoile :
 - *déclinaison* de l'étoile :
- d) Lire les coordonnées équatoriales :
 - *ascension droite* de l'étoile :
 - *déclinaison* de l'étoile :
- e) Estimer la *longitude écliptique* de l'étoile (la *latitude écliptique* ne peut pas être lue précisément) : λ_E :
- f) Vérifier sur *Stellarium* les différentes coordonnées après avoir choisi l'étoile.

Remarque : il n'est pas nécessaire de connaître la date, ni l'heure pour lire les coordonnées équatoriales et la longitude écliptique de l'étoile.

5. Trouver l'heure solaire d'après une étoile à partir du point 4.

- a) Lire l'ascension droite du Soleil et l'ascension droite de l'étoile.
 α_S : α_E :
- b) En déduire l'écart en ascension droite entre les deux astres et l'écart en angle horaire.
 $\alpha_S - \alpha_E$: $AH_S - AH_E =$
- c) Sachant que l'angle horaire de l'étoile est $AH_E =$
 en déduire l'angle horaire du Soleil $AH_S =$
- d) Quelle est l'heure solaire ? Il est

IV.9. Sur les coordonnées

Plusieurs applications sur les coordonnées ont été présentées dans ce livret (§ IV.2 p. 9 et § IV.4 p. 12). Les définitions des coordonnées d'un astre sont rappelées dans le complément § V.2 p. 23 sur les coordonnées en astronomie.

Application 1 – Le Soleil et ses coordonnées.

1. a) Choisir une latitude, une date et une heure (le Soleil étant au-dessus de l’horizon).
 b) Régler la sphère armillaire en :
 Latitude = Date =
 c) Placer la pastille du Soleil sur l’écliptique.
 d) Régler la couronne intérieure de l’équateur (voir § III.3 p. 6)
 e) Tourner la sphère céleste pour mettre le Soleil à l’heure.
2. a) Lire la *longitude écliptique* du Soleil :
 $\lambda_S = \dots\dots\dots$ (la *latitude écliptique* est nulle).
 b) Lire ses coordonnées équatoriales :
 $\alpha_S = \dots\dots\dots \delta_S = \dots\dots\dots$
 c) Lire ses coordonnées horaires :
 $AH_S = \dots\dots\dots \delta_S = \dots\dots\dots$
 d) Lire ses coordonnées horizontales :
 $Az_S = \dots\dots\dots h_S = \dots\dots\dots$
On pourra s’aider d’un compas à pointes sèches.

Pour les heures de lever, de coucher ou de passage du Soleil au méridien, voir § IV.3.1 p. 11.

Application 2 – Calendriers et coordonnées.

Avec la sphère armillaire, on a la correspondance entre la déclinaison du Soleil, la longitude écliptique, le calendrier du zodiaque et le calendrier grégorien.

Compléter le TAB. 4.

déclinaison du Soleil δ_S	calendrier grégorien	calendrier zodiacal	longitude du Soleil λ_S
	1 ^{er} novembre		
		18° ♊ (Gémeaux) **	
			285°
20° N*			
20° N*			

TAB. 4 – Correspondance entre les calendriers, la longitude écliptique et la déclinaison du Soleil.

* Il y a deux solutions.

** Voir correspondance dans le complément § V.1 (TAB. 5 p. 23).

V. Compléments

V.1. Calendrier grégorien, calendrier du zodiaque

Dans ce paragraphe, les dates données sont celles du XXI^e s.

Chaque jour le Soleil se déplace dans le sens ouest \rightarrow est d'environ 1° sur l'**écliptique**, vu de la Terre. Le 19, 20 ou 21 mars du calendrier grégorien, au début du Bélier dans le calendrier zodiacal, le Soleil passe sur l'**équateur céleste**. C'est l'**équinoxe de mars**, début du printemps pour l'hémisphère Nord et début de l'automne pour l'hémisphère Sud.

Le Soleil se trouve alors sur le **colure** des équinoxes.

Sa **déclinaison** et sa **longitude écliptique** sont nulles : $\delta_S = 0^\circ$ et $\lambda_S = 0^\circ$.

Puis le Soleil continue à se déplacer sur l'écliptique et passe sur le tropique du Cancer le 20 ou 21 juin, au début du signe du Cancer. C'est le **solstice de juin**, début de l'été dans l'hémisphère Nord et début de l'hiver dans l'hémisphère Sud.

Le Soleil se trouve alors sur le colure des solstices.

Sa déclinaison est $\delta_S = 23^\circ 26' \text{ N}$ et sa longitude écliptique est $\lambda_S = 90^\circ$.

Environ trois mois plus tard, le Soleil passe à nouveau sur l'équateur le 21, 22 ou 23 septembre, au début du signe de la Balance. C'est l'**équinoxe de septembre**, début de l'automne pour l'hémisphère Nord et début du printemps pour l'hémisphère Sud.

Le Soleil est sur le colure des équinoxes.

Sa déclinaison est nulle $\delta_S = 0^\circ$ et sa longitude écliptique est $\lambda_S = 180^\circ$.

Enfin trois mois plus tard, le Soleil passe sur le tropique du Capricorne le 20, 21 ou 22 décembre, au début du signe du Capricorne. C'est le **solstice de décembre**, début de l'hiver dans l'hémisphère Nord et début de l'été dans l'hémisphère Sud.

Le Soleil se trouve sur le colure des solstices.

Sa déclinaison est $\delta_S = 23^\circ 26' \text{ S}$ et sa longitude écliptique est $\lambda_S = 270^\circ$; c'est le début du signe du Capricorne dans le calendrier du zodiaque.

Le calendrier du zodiaque a été utilisé pendant de nombreux siècles car il était plus facile à visualiser que la longitude écliptique donnée de 0° à 360° . Si on connaît les signes du zodiaque, il est plus simple de repérer 15° dans le Lion plutôt que 135° de longitude !

Les signes du zodiaque servent ici de calendrier et ne correspondent plus aux constellations du même nom. Ils n'ont donc plus de rapport avec elles.

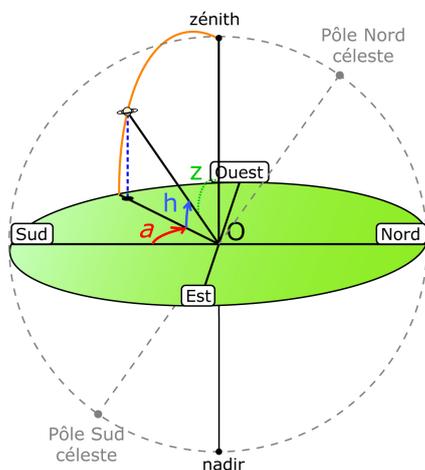
Saison	printemps			été		
Signe	Bélier	Taureau	Gémeaux	Cancer	Lion	Vierge
Symbole	♈	♉	♊	♋	♌	♍
Longitude en début de signe	0°	30°	60°	90°	120°	150°
Déclinaison	0	11° 28' N	20° 9' N	23° 26' N	20° 9' N	11° 28' N
Saison	automne			hiver		
Signe	Balance	Scorpion	Sagittaire	Capricorne	Verseau	Poissons
Symbole	♎	♏	♐	♑	♒	♓
Longitude en début de signe	180°	210°	240°	270°	300°	330°
Déclinaison	0	11° 28' S	20° 9' S	23° 26' S	20° 9' S	11° 28' S

TAB. 5 – Calendrier du zodiaque, longitude écliptique et déclinaison du Soleil (Voir activité § IV.9 p. 20).

V.2. Les coordonnées en astronomie

Il est intéressant de présenter les coordonnées célestes locales ou non sur la sphère armillaire pour leur donner du sens.

V.2.1. Coordonnées horizontales d'un astre (coordonnées célestes locales)



Définition. Les coordonnées horizontales d'un astre sont l'*azimut* Az et la *hauteur* de l'astre h en degrés : (Az, h) . Sur la sphère armillaire, l'origine du système de coordonnées est l'observateur, qui est au centre de l'*horizon* et qui est confondu avec le centre de la Terre.

Le plan de référence est le plan de l'horizon.

FIG. 19 – Coordonnées horizontales d'un astre.

L'origine de l'azimut n'est pas toujours la même : soit c'est le point nord sur l'horizon, soit c'est le point sud.

- Sur la sphère armillaire présentée, c'est le sud. Le cercle horizon est gradué dans le sens horaire : sud ($Az = 0^\circ$), ouest ($Az = 90^\circ$), nord ($Az = 180^\circ$), est ($Az = 270^\circ$).
- Sur *Stellarium*, c'est le nord par défaut, mais ce choix peut être modifié.

Sur la sphère armillaire :

- La grille de coordonnées horizontales est basée sur l'horizon pour l'azimut, de 0° à 360° et la couronne extérieure du méridien local pour la hauteur de l'astre, de 0° à 90° .

Les graduations sur l'horizon sont dans le sens horaire vu du **zénith**, à partir du sud.

- Le seul cercle de hauteur présent sur la sphère armillaire est l'horizon, de hauteur nulle, sauf dans le cas particulier où l'observateur est au pôle. Dans ce cas, armilles des tropiques et des cercles polaires sont des cercles de hauteur.
- Les cercles de hauteur sont aussi appelés les **almucantarats**.
- Les cercles d'azimut sont le **méridien local** (cercle d'azimut nord-sud) et le **premier vertical** (cercle d'azimut est-ouest).

Voir activités § IV.3.1 p. 11 et § IV.6 p. 16.

V.2.2. Coordonnées horaires d'un astre (coordonnées célestes locales)

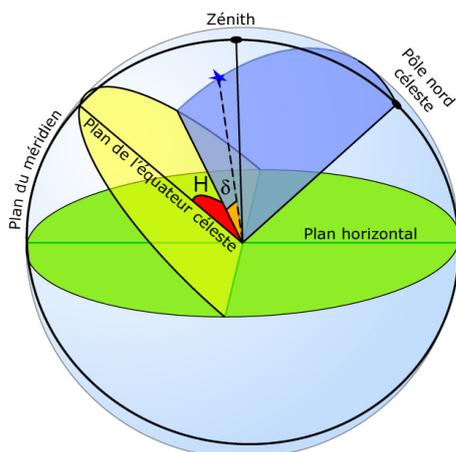


FIG. 20 – Coordonnées horaires d'un astre.

Définition. Les coordonnées horaires d'un astre sont l'**angle horaire** AH , en heures, et la **déclinaison** δ , en degrés : (AH, δ) .

Ce système de coordonnées horaires a également pour origine l'observateur. C'est un système de coordonnées célestes intermédiaire entre le système de coordonnées horizontales et le système de coordonnées équatoriales.

Le plan de référence est l'**équateur céleste**. L'origine de l'angle horaire est sur le **méridien local** (du côté du Soleil à midi).

Sur la sphère armillaire :

- La grille de coordonnées horaires est basée sur l'équateur céleste pour l'angle horaire de 0 à 24 h (mais la lecture n'est pas directe) et sur la couronne intérieure du méridien local pour la déclinaison de l'astre, de 0° à 90° .

Les graduations sur l'équateur sont dans le sens antihoraire (vu du pôle Nord). Pour lire l'angle horaire d'un astre, il faut :

1. Tourner la sphère céleste pour amener l'astre sous le méridien local (du côté du Soleil à midi) ;
2. Tourner la couronne intérieure de l'équateur pour amener la graduation « 00 » sous le méridien local ;
3. Placer l'astre selon sa hauteur ou son azimut ;
4. Lire l'angle horaire de l'astre sous le méridien local sur la couronne intérieure de l'équateur.

On pourra s'aider d'un compas à pointes sèches pour reporter les mesures des coordonnées d'un astre.

- Les cercles de déclinaison sont l'équateur, les tropiques et les cercles polaires.
- Les armilles qui sont des méridiens de même angle horaire (à 12 heures près) sont les deux colures et le méridien local.

Voir activités § IV.3.1 p. 11, § IV.6 p. 16 et § IV.9 p. 20.

V.2.3. Coordonnées équatoriales d'un astre (coordonnées célestes)

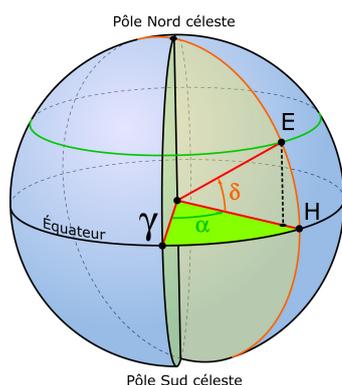


FIG. 21 – Coordonnées équatoriales d'un astre.

Définition. Les coordonnées équatoriales d'un astre sont l'*ascension droite* α , en heures, et la *déclinaison* δ , en degrés : (α, δ) .

Sur la sphère armillaire, ce système a pour origine l'observateur ou le centre de la Terre.

Le plan de référence est l'*équateur céleste*. L'origine de l'ascension droite est le *point vernal* γ .

Sur la sphère armillaire :

- La grille de coordonnées équatoriales est basée sur l'équateur céleste pour l'ascension droite de 0 à 24 h, et sur la couronne intérieure du méridien local pour la déclinaison de l'astre de 0° à 90° .
- Les graduations de l'ascension droite sur l'équateur sont dans le sens antihoraire (vu du nord) à partir de γ .

V.2.4. Coordonnées écliptiques d'un astre (coordonnées célestes)

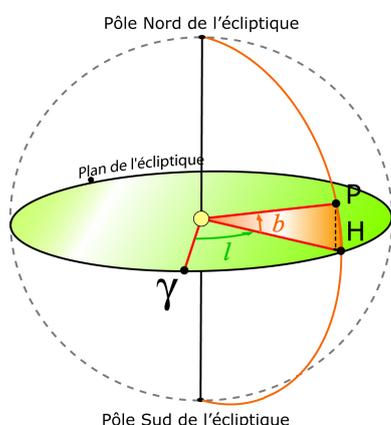


FIG. 22 – Coordonnées écliptiques d'un astre.

Définition. Les coordonnées écliptiques d'un astre sont la *longitude écliptique* λ en degrés, et la *latitude écliptique* β en degrés : (λ, β) .

Sur la sphère armillaire, ce système de coordonnées a pour origine le centre de la Terre. Le plan de référence est l'*équateur céleste*.

L'origine de la longitude est le *point vernal* γ .

Sur la sphère armillaire :

- La grille de coordonnées écliptiques est basée sur l'*écliptique* pour la longitude de 0° à 360°. On ne peut pas lire simplement la latitude écliptique. Seul le *colure* des *solstices* est un méridien non gradué de ce système de coordonnées.
- les graduations de la longitude sur l'écliptique sont dans le sens antihoraire (vu du pôle Nord) à partir de γ .
- la longitude écliptique est aussi donnée en signe et degrés du zodiaque. Pour le Soleil, on a la correspondance en jours du calendrier grégorien.
- Les planètes et la Lune se déplacent dans des plans proches du plan de l'écliptique (le plan de l'orbite terrestre). On pourra donc sans faire trop d'erreur placer la Lune et les planètes sur l'écliptique. Il suffit pour cela de connaître leur longitude écliptique, la latitude écliptique étant alors considérée comme nulle.

Voir activités § IV.3.1 p. 11, § IV.6 p. 16 et § IV.9 p. 20.

V.3. Heure légale et heure solaire

La sphère armillaire donne l'heure solaire ou l'*angle horaire*, qui sont les mêmes à 12 heures près ; en effet l'origine des angles horaires est prise à midi ; nous avons choisi minuit comme origine des heures solaires, conformément à l'usage le plus répandu. Pour passer de l'heure solaire H_S à l'heure légale H_L , il faut tenir compte de 3 corrections :

- L'équation du temps E (FIG. 23 p. 27) ;
- La *longitude* du lieu L en heures ;
- Le décalage d'heure du pays : en France métropolitaine, actuellement, l'« heure d'été » = + 2 heures et l'« heure d'hiver » = + 1 heure.

On applique la formule : $H_L = H_S + E + L + (1 \text{ h ou } 2 \text{ h})$

Application

1. Reprendre l'exemple choisi dans § IV.4 p. 12.
 Lieu : Latitude du lieu :
 Date : Heure solaire H_S :
2. Préciser le lieu et sa longitude avec son signe.
 Pour chaque degré de longitude, compter 4 minutes.
 Signe de la longitude : *positif* si on la prend à l'est de Greenwich et *négatif* si on la prend à l'ouest.
 Lieu :
 Longitude du lieu L :° = (en heures et minutes)
3. À l'aide de la FIG. 23 p. 27 ou d'un logiciel, donner l'équation du temps :
 Équation du temps =
 Sur *Stellarium*, le signe de l'équation du temps est inversé (notation anglo-saxonne).
4. En appliquant la formule, calculer l'heure légale H_L :
 Heure légale H_L =

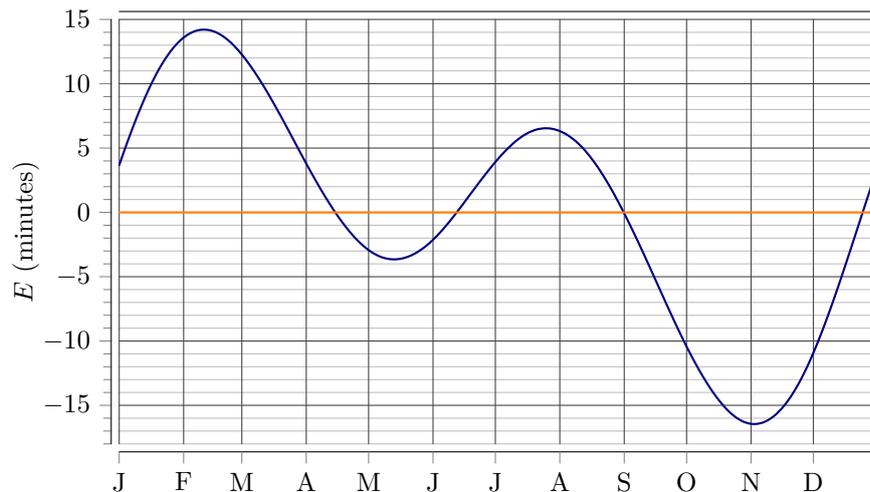


FIG. 23 – Courbe de l'équation du temps¹⁷.

VI. Solutions des activités

Toutes les situations proposées sur la sphère armillaire peuvent être simulées sur le logiciel *Stellarium*, qui donne tous les résultats souhaités.

Remarque : les heures sont arrondies à 5 min près.

Les angles lus sur l'horizon sont arrondis à 5 degrés près, ceux lus sur le méridien au degré près.

Questions
du § IV.1.

Lignes et points fixes

horizon, méridien local, premier vertical, zénith, nadir, axe de la Terre avec les pôles Nord et Sud.

Lignes et points mobiles

L'équateur, les 2 tropiques, les 2 cercles polaires sont des cercles invariants (par rotation, les images des points sont sur le même cercle).
L'écliptique et les colures se déplacent par rotation autour de l'axe de la Terre.

La Terre (boule centrale) est immobile. L'observateur est situé à l'extrémité haute du diamètre vertical de celle-ci.

¹⁷Cette courbe s'appuie sur les données de l'IMCCE pour 2022. Les calculs de visibilité des astres ont été réalisés par le service de calcul des éphémérides de l'IMCCE à travers son portail Système solaire (<https://ssp.imcce.fr>).

Questions
du § IV.3.1.

Pour le 1^{er} mai 2023 :

	Latitude 49° N	Latitude 21° S
heure de lever	4 h 45 min	6 h 25 min
heure de coucher	19 h 15 min	17 h 35 min
azimut au lever	245° à partir du sud	255° à partir du sud
azimut au coucher	115° à partir du sud	105° à partir du sud
amplitude ortive	25° de l'est vers le nord	15° de l'est vers le nord
amplitude occase	25° de l'ouest vers le nord	15° de l'ouest vers le nord
durée du jour	14 h 30 min	11 h 10 min
durée de la nuit	9 h 30 min	12 h 50 min
hauteur du Soleil à midi	$\delta = 15^\circ$ donc $h_S = 90^\circ - 49^\circ + 15^\circ = 56^\circ$	$\delta = 15^\circ$ donc $h_S = 90^\circ - 21^\circ - 15^\circ = 54^\circ$
heure de début de crépuscule civil le matin	4 h 05 min	6 h 00 min
heure de fin de crépuscule nautique le soir	20 h 40 min	18 h 30 min
heure de début de crépuscule astronomique le soir	2 h 30 min	5 h 05 min
entre le début du crépuscule astronomique et le lever du jour	2 h 15 min	1 h 20 min
3b.	au solstice de juin, le Soleil descend au maximum à 17,5° sous l'horizon.	au solstice de décembre, le Soleil descend à plus de 45° sous l'horizon.

À minuit : $h_S = \varphi - 90^\circ + \delta_S$

h_S la hauteur du Soleil, δ_S sa déclinaison, et φ la latitude du lieu.

$h_S = 49^\circ - 90^\circ + 23,4^\circ = -17,6^\circ$

Le Soleil descend au maximum à 17,6° sous l'horizon.

Questions
du § IV.3.2.

Coordonnées du Soleil le 1^{er} mai 2023 :

longitude éclipstique $\lambda_S = 41^\circ$.

Déclinaison $\delta_S = 15^\circ$ N.

Questions
du § IV.5.

Pour le 1^{er} mai 2023 :

	latitude 49° N	latitude 21° S
Si la hauteur du Soleil est 30° :	heure solaire : 7 h 55 min du matin ou 16 h 05 min de l'après-midi	heure solaire : 8 h 45 min du matin ou 15 h 15 min de l'après-midi

Complément. Le 21 août 2023, à la latitude 49° N, si l'azimut du Soleil est 90°, l'heure solaire est 17 h 15 min.

Pour le 1^{er} mai 2023 :

Âge de la Lune : 11 jours (Lune gibbeuse croissante)

Déclinaison de la Lune : $\delta_L = +6^\circ$ au lever à $+3^\circ$ au coucher.

La Lune	latitude 49° N	latitude 21° S
heure de lever	14 h 35 min	15 h 15 min
heure de coucher	3 h 35 min	3 h 15 min
heure de culmination	21 h 15 min	21 h 15 min
hauteur de la Lune	45°	64°

Application 1 – Le Soleil et ses coordonnées.

Le 1^{er} mai 2023 :

Longitude écliptique du Soleil : $\lambda_S = 41^\circ$.

Coordonnées équatoriales : $\alpha_S = 2$ h 30 min $\delta_S = +15^\circ$

à 15 h 00 min	latitude 49° N	latitude 21° S
coordonnées horaires	$AH_S = 3$ h 00 min $\delta_S = +15^\circ$	$AH_S = 3$ h 00 min $\delta_S = +15^\circ$
coordonnées horizontales	$Az_S = 65^\circ$ $h_S = 40^\circ$	$Az_S = 125^\circ$ $h_S = 33^\circ$

Application 2 – Calendrier et coordonnées.

déclinaison du Soleil	calendrier grégorien 2023	calendrier zodiacal	longitude du Soleil
-14°	1 ^{er} novembre	9° Scorpion	219°
+23°	9 juin	18° Gémeaux	78°
-23°	5 janvier	15° Capricorne	285°
+20°	21 mai	début Gémeaux	60°
+20°	24 juillet	début Lion	120°

VII. Quiz

À faire en s'aidant de la sphère armillaire.

Il peut y avoir plusieurs bonnes réponses.

1. Généralités.

- a) Les astres sur l'équateur ont une déclinaison nulle. VRAI FAUX
- b) Les points ou astres célestes qui ont une déclinaison de 90° sont :
- Le pôle Nord céleste
 - L'étoile Polaire
 - Les point du cercle arctique
- c) Les points sur l'écliptique qui ont une déclinaison nulle sont :
- Le début du signe du Bélier
 - Le début du signe du Cancer
 - Le début du signe de la Balance
 - Le début du signe du Capricorne

VIII. Photos à légènder

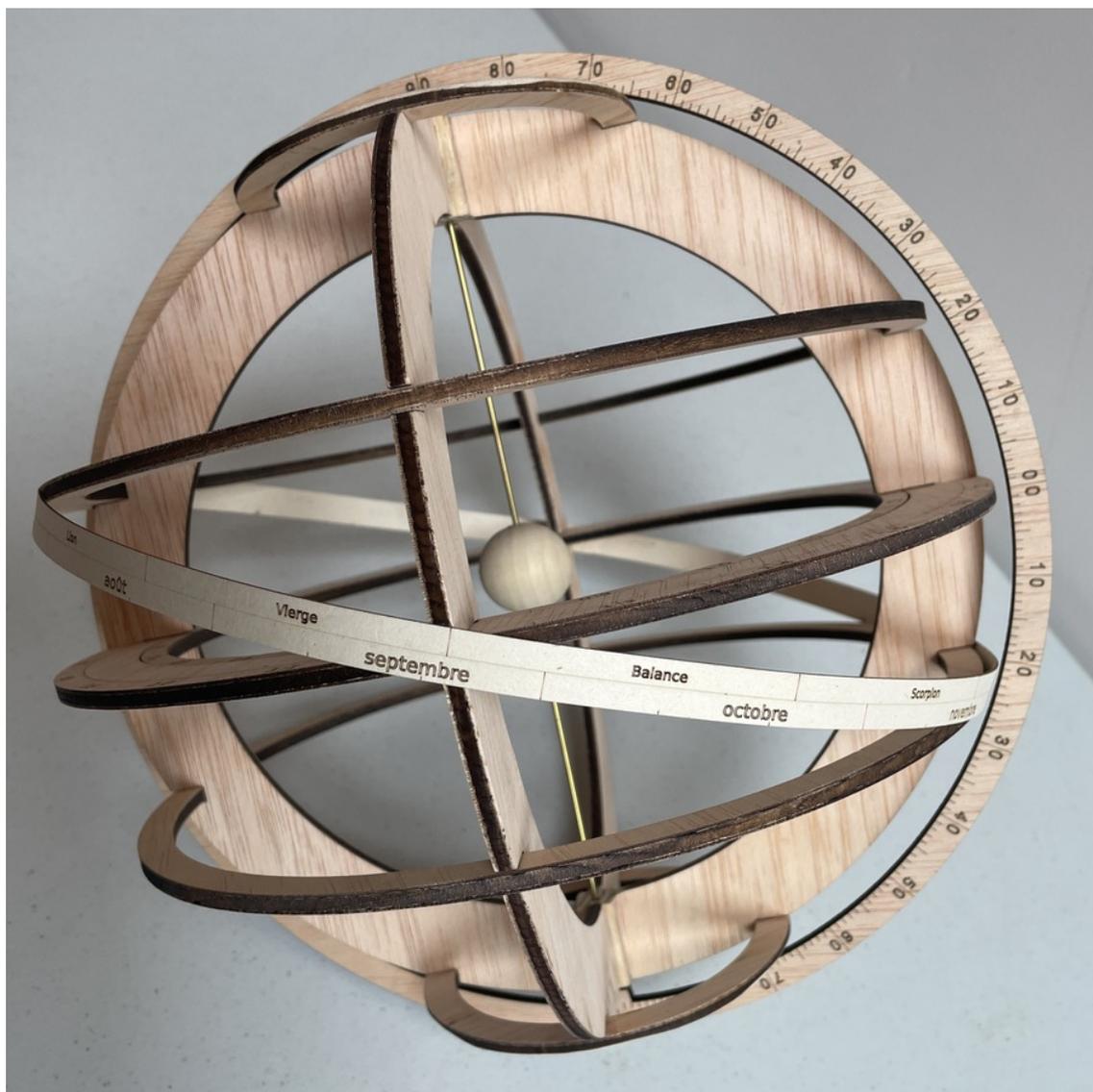


FIG. 24 – La sphère céleste à légènder (§ IV.1).

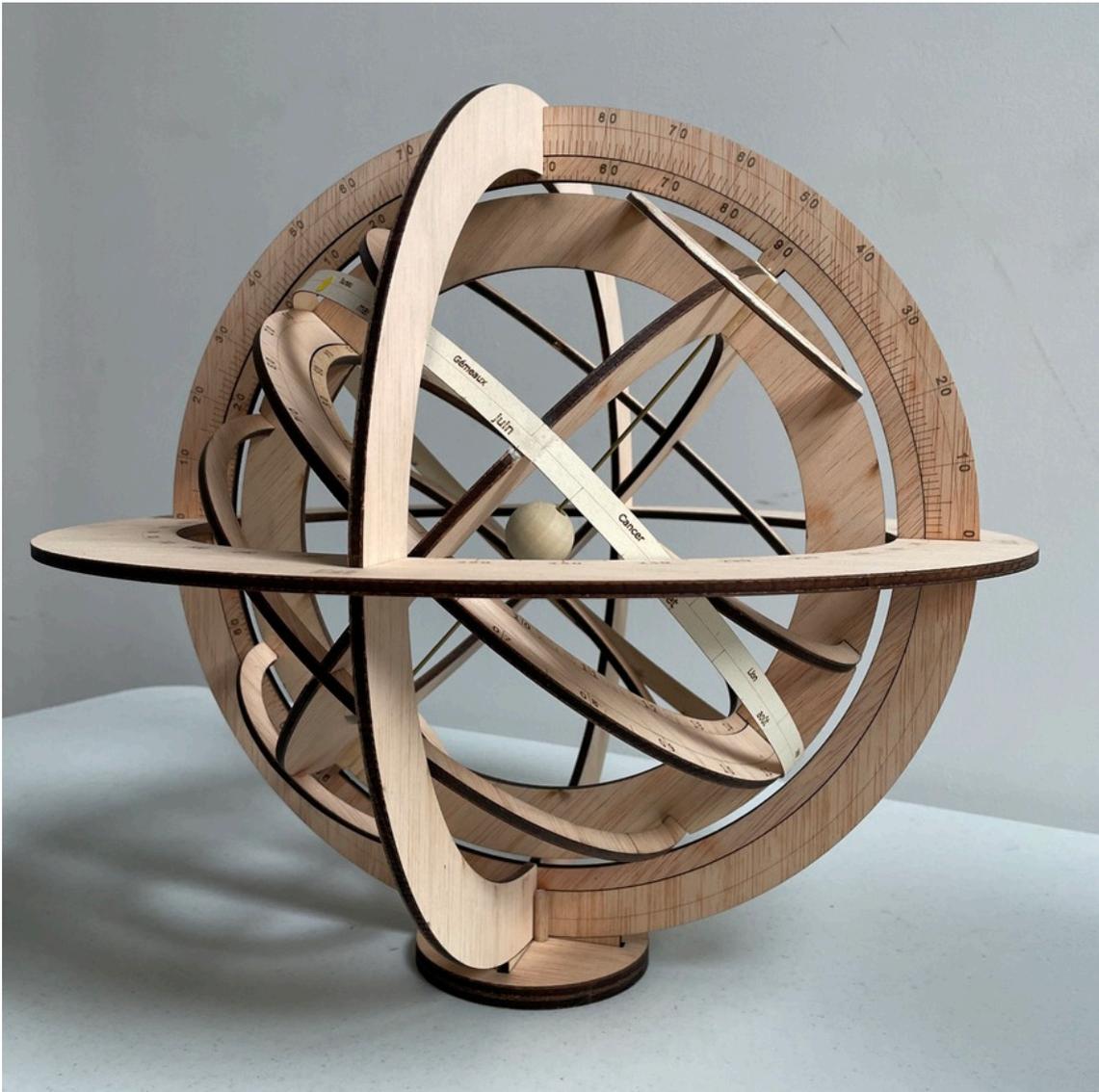


FIG. 25 – La sphère armillaire complète à légender (§ IV.1).

Glossaire du livret

Pour toutes les définitions d'angles qui suivent, le sommet de l'angle est le centre de la Terre.

- âge** de la Lune : nombre de jours écoulés depuis la précédente nouvelle lune..... 16
- almucantarats** cercle de la voûte céleste, parallèle à l'*horizon*, aussi appelé cercle de hauteur..... 24
- amplitude occase** du Soleil : arc de l'horizon entre l'ouest et le point où le Soleil se couche..... 11
- amplitude ortive** du Soleil : arc de l'horizon entre l'est et le point où le Soleil se lève..... 11
- angle horaire** d'un astre : angle, en heures, entre le *méridien local* et le *méridien* de l'astre de 0 h à 24 h dans le sens rétrograde 20, 24, 26
- ascension droite** d'un astre : angle sur l'*équateur céleste*, entre le *point vernal* et la projection de l'astre sur l'*équateur céleste*, gradué en heures de 0 à 24 heures, dans le sens antihoraire vu du pôle Nord 20, 25
- azimut** angle dans le plan horizontal entre le *vertical* de l'astre et un point de référence (le nord ou le sud), de 0° à 360°, dans le sens rétrograde, vu du pôle Nord. 11, 16, 20, 23
- circumpolaire** se dit d'une étoile ou d'une constellation qui est toujours au-dessus de l'*horizon*. Par exemple : la Grande Ourse, en France métropolitaine..... 18
- colure** grand cercle passant par les pôles et coupant l'*écliptique* au *point vernal* et au point antivernal, pour le colure des équinoxes, et aux points solsticiaux pour celui des *solstices*..... 18, 22, 26
- conjonction** deux astres sont observés en conjonction depuis la Terre lorsqu'ils sont vus dans la même direction..... 17
- crépuscule** voir page..... 11
- déclinaison** d'un astre : angle entre l'*équateur céleste* et la direction de l'astre..... 11, 12, 20, 22, 24, 25
- écliptique** grand cercle, dans la voûte céleste, qui est la trajectoire apparente du Soleil sur une année 5, 7, 11, 12, 16–18, 22, 25, 26
- équateur céleste** grand cercle de la sphère céleste perpendiculaire à l'*axe polaire*..... 18, 22, 24, 25
- équinoxe de mars** moment où, par rapport à la Terre, le Soleil est sur le *point vernal* avant de se déplacer vers le nord.
Ce moment revient, en moyenne, tous les 365,2422 jours. C'est le début du printemps dans l'hémisphère Nord, et de l'automne dans l'hémisphère Sud..... 22
- équinoxe de septembre** moment où, par rapport à la Terre, le Soleil est sur le point diamétralement opposé au *point vernal*, autre point d'intersection de l'équateur et de l'*écliptique*.
Ce point est actuellement dans la constellation de la Vierge. C'est le début de l'automne dans l'hémisphère Nord, et du printemps dans l'hémisphère Sud..... 22
- hauteur** d'un astre : angle entre le plan horizontal et la direction de l'astre..... 11, 23
- horizon** grand cercle perpendiculaire à la verticale du lieu..... 23

- latitude** angle, en degrés, entre la verticale du lieu et le plan de l'équateur..... 5, 6, 12
- latitude écliptique** d'un astre : angle entre le plan de l'*écliptique* et la direction de l'astre... 16, 17, 20, 21, 25
- longitude** angle, en degrés, entre le méridien de Greenwich et le *méridien local* 26
- longitude écliptique** d'un astre : angle entre le *point vernal* et la projection de l'astre sur le plan de l'*écliptique*.. 5, 12, 17, 20–22, 25
- méridien local** *méridien* qui passe par l'observateur. Sur la sphère armillaire, il passe par le *zénith*, le *nadir*, le sud et le nord. 5, 6, 24
- opposition** deux astres sont observés en opposition depuis la Terre lorsqu'ils sont vus dans des directions diamétralement opposées 17
- point vernal** ou point gamma (γ). Point d'intersection de l'*équateur céleste* et de l'*écliptique* où se situe le Soleil avant de se déplacer vers le nord.
Le point vernal est actuellement dans la constellation des Poissons
25
- points cardinaux** Les 4 points cardinaux sont nord, sud, est et ouest. Ce sont des points sur l'horizon aux *azimuts* respectifs : 0°, 180°, 90° et 270° 2
- premier vertical** grand cercle passant par le *zénith* et par les points est et ouest de l'*horizon* 24
- solstice** moment où le Soleil est au plus haut (ou au plus bas) sur l'*écliptique* par rapport à l'équateur..... 12, 22, 26
- zénith** point d'intersection de la sphère céleste et de la verticale du lieu, vers le ciel..... 24

