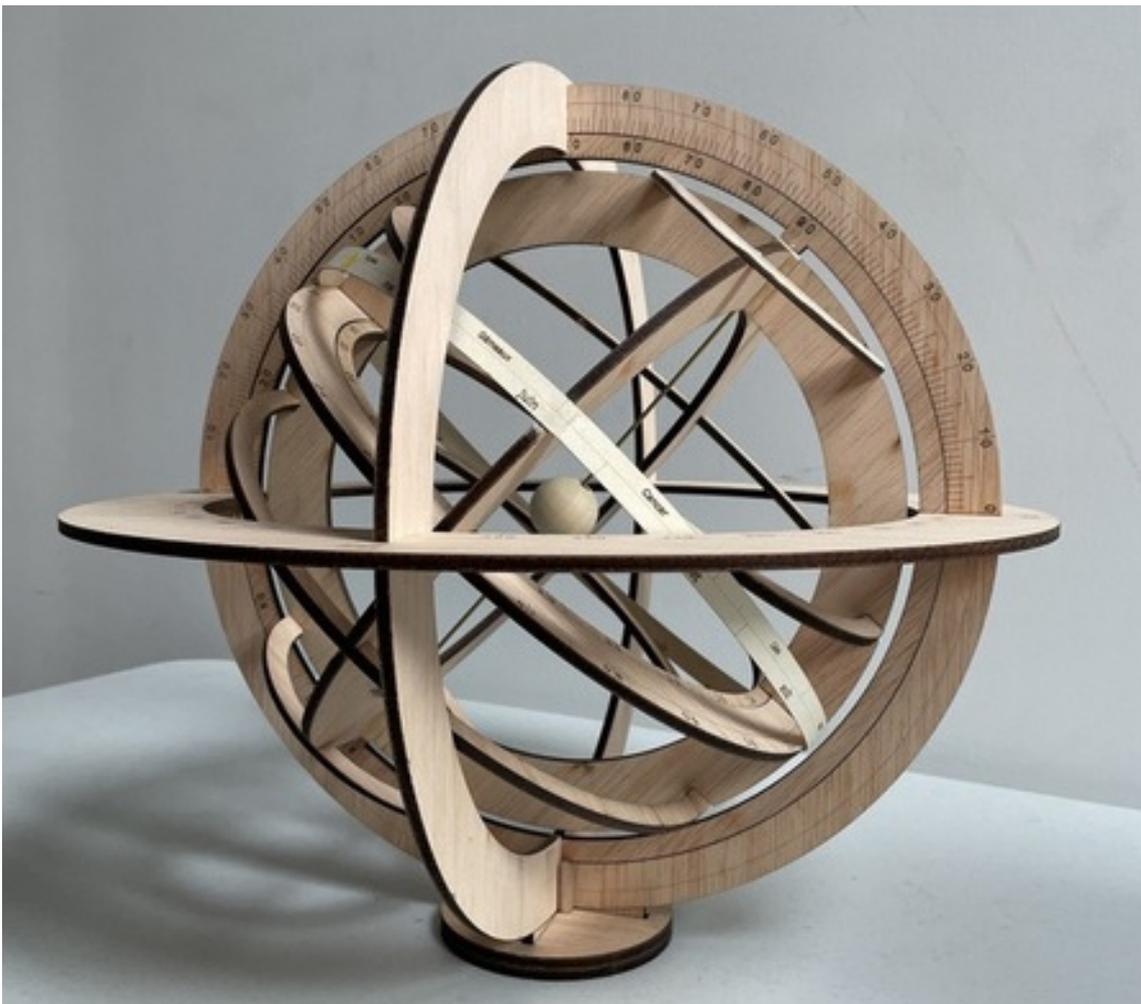


La sphère armillaire

Livret de fabrication



Ce document, le [livret de découverte et d'utilisation](#), 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>

Ce livret a été revu et corrigé en 2024.

Avec nos remerciements :

- à Jean-Luc Ponty
- à Dominique Charlet
- aux utilisateurs, pour leurs retours et leurs photos

En souvenir d'Alphonse Delavergne.

Table des matières

I. Matériaux et conseils	1
II. Description des planches et de la feuille de carton-bois	1
II.1 Planche P1	2
II.1.1. Premier vertical	2
II.1.2. Colure	2
II.2 Planche P2	2
II.2.1. Méridien local et couronne coulissante	2
II.2.2. Colure	3
II.3 Planche P3	4
II.3.1. Horizon	5
II.3.2. Équateur et couronne coulissante	5
II.4 Planche P4	6
II.5 Feuille de carton-bois	6
III. Gravure et découpe de la planche P2	6
IV. Consignes pour un montage réussi	7
V. Assemblage de la sphère céleste	8
VI. Montage de la sphère armillaire	11
VII. Montage du pied de la sphère armillaire	13



La sphère armillaire est un instrument scientifique fait d'armilles, couronnes ou anneaux de différents rayons, dont certains tournent. Ainsi on peut effectuer des réglages et simuler les mouvements d'astres sur la voûte céleste. Il est important de prendre du temps pour la construire et de respecter l'ordre de montage des différentes pièces.

Votre travail vous fera découvrir tout ce que la sphère armillaire permet de comprendre quand on observe le ciel, l'observateur étant au centre et la voûte étoilée assimilée à une sphère. De multiples applications vous sont proposées dans le [livret de découverte et d'utilisation](#) de la sphère armillaire.

I. Matériaux et conseils

Pour fabriquer la sphère armillaire proposée et découpée au laser, il faut :

- quatre planches de contreplaqué d'épaisseur 5 mm (voir TAB. 1 pour les dimensions) ;
- une feuille de carton-bois d'épaisseur 0,75 mm et de dimensions 80×60 cm ;
- une tige métallique de longueur 29 cm et de diamètre 2 mm (laiton ou acier)¹ ;
- deux tasseaux en bois de section carrée de 13 mm de côté et de longueur 30 mm, de préférence en hêtre (bois homogène) ;
- une perle en bois de 3 cm de diamètre, percée à 2 mm² ;

Conseil 1. Les planches de contreplaqué doivent être aussi planes que possible (ce n'est pas toujours le cas dans des grands magasins de bricolage).

Conseil 2. Pour le matériau constituant l'écliptique, on peut opter pour le carton-bois ou le bioply (feuille de placage), qui sont assez souples pour être enroulés autour de la sphère céleste, et qui peuvent être gravés à la découpeuse laser.

II. Description des planches et de la feuille de carton-bois

Le TAB. 1 permet d'associer rapidement les planches aux différents éléments qu'elles comportent.

planche	lignes astronomiques	dimensions
P1	le premier vertical et un colure	40×40 cm
P2	le méridien local et un colure	45×42 cm
P3	l'horizon et l'équateur	41×41 cm
P4	les cercles polaires et les tropiques	56×28 cm

TAB. 1 – Les 4 planches de contreplaqué d'épaisseur 5 mm.

1. On peut notamment en trouver dans des magasins de modélisme.

2. À défaut, si la perle en bois est percée d'un trou plus gros, on peut utiliser un tourillon ou une cheville en bois au diamètre du trou de la perle, de longueur 3 cm, au maximum, et percé dans sa longueur à 2 mm.

Les dimensions données pour les planches sont indicatives. Elles tiennent compte d'une marge d'environ 1 cm avec le bord des plus grandes pièces, et peuvent être ajustées.

La planche P2 est un peu plus longue que ne l'exigent les dimensions des pièces ; la longueur supplémentaire sert à disposer des pinces pour maintenir la planche, dans la découpeuse, pendant le retournement (voir § III.)

Certaines armilles ou couronnes sont pourvues d'encoches pour l'ajustement d'autres pièces de la sphère armillaire.

La feuille de carton-bois d'épaisseur 0,75 mm mesure 80 × 60 cm.

II.1. Planche P1

Sa dimension est 40 × 40 cm. Le diamètre maximal des pièces est 35,2 cm (largeur maximale 37 cm).

Cette planche fournit le premier vertical et un colure (voir FIG. 1 p. 3).

II.1.1. Premier vertical

La couronne extérieure est le premier vertical qui passe par les points est et ouest sur l'horizon, le zénith et le nadir sur la voûte céleste.

L'encoche e_2 coupe le premier vertical dans toute sa largeur.

II.1.2. Colure

La couronne intérieure définit un colure, constitué de deux arcs de cercles séparés par des encoches e_3 sur toute la largeur. (La planche P2 fournit deux autres pièces identiques pour l'autre colure.)

Les 2 encoches intérieures e_4 sont destinées à accueillir la couronne de l'équateur.

Enfin, les 8 encoches e_5 servent à placer les deux tropiques et les deux cercles polaires.

II.2. Planche P2

La couronne extérieure est le méridien local avec une couronne coulissante. La couronne intérieure est un colure.

La dimension de la planche P2 est 45 × 42 cm. Le diamètre maximal des pièces est de 37 cm. Pour les particularités concernant la découpe et la gravure de cette planche, se reporter à § III p. 6.

II.2.1. Méridien local et couronne coulissante

Le méridien local passe par les points nord et sud sur l'horizon, le zénith et le nadir sur la voûte céleste. En fait, il est formé de deux couronnes :

- le méridien local, gradué symétriquement par rapport à l'encoche extérieure e_6 , correspondant à 90° au zénith, de -18° sur l'horizon à 90° , ce qui permet de lire la hauteur des astres.

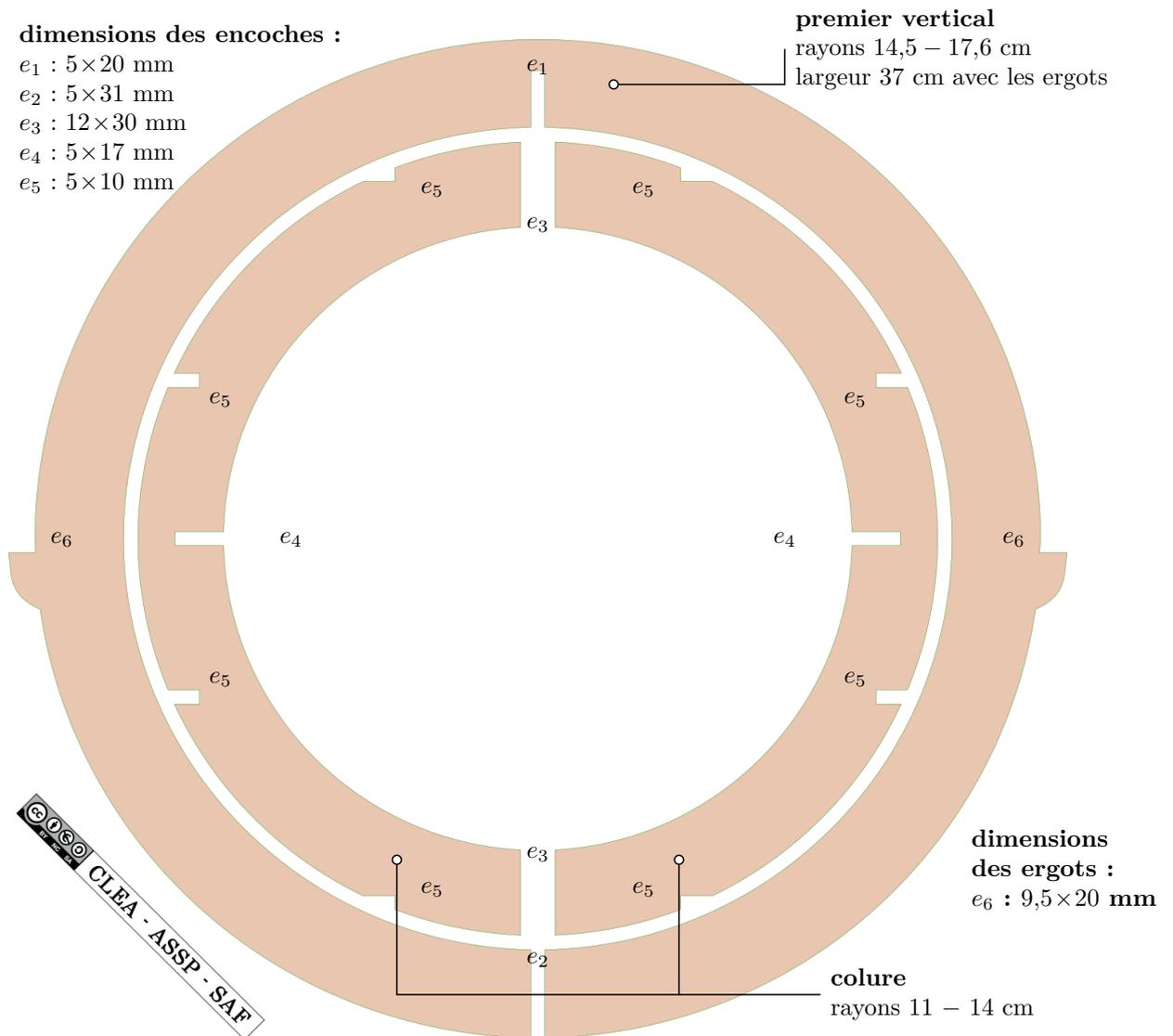


FIG. 1 – La planche P1.

- une couronne coulissante – la couronne intérieure du méridien local – munie de deux ergots intérieurs en forme de trapèzes (e_7). Elle est graduée sur un des demi-cercles entre les deux trapèzes de 0° à 90° , deux fois, 90° étant noté PN pour pôle nord et PS pour pôle sud au centre des trapèzes. Ces trapèzes servent à maintenir la tige métallique de l'axe des pôles.

Ces deux couronnes sont graduées sur les deux faces (voir § III p. 6 Gravure et découpe de la planche P2).

II.2.2. Colure

(Voir description au § II.1.2 p. 2.)

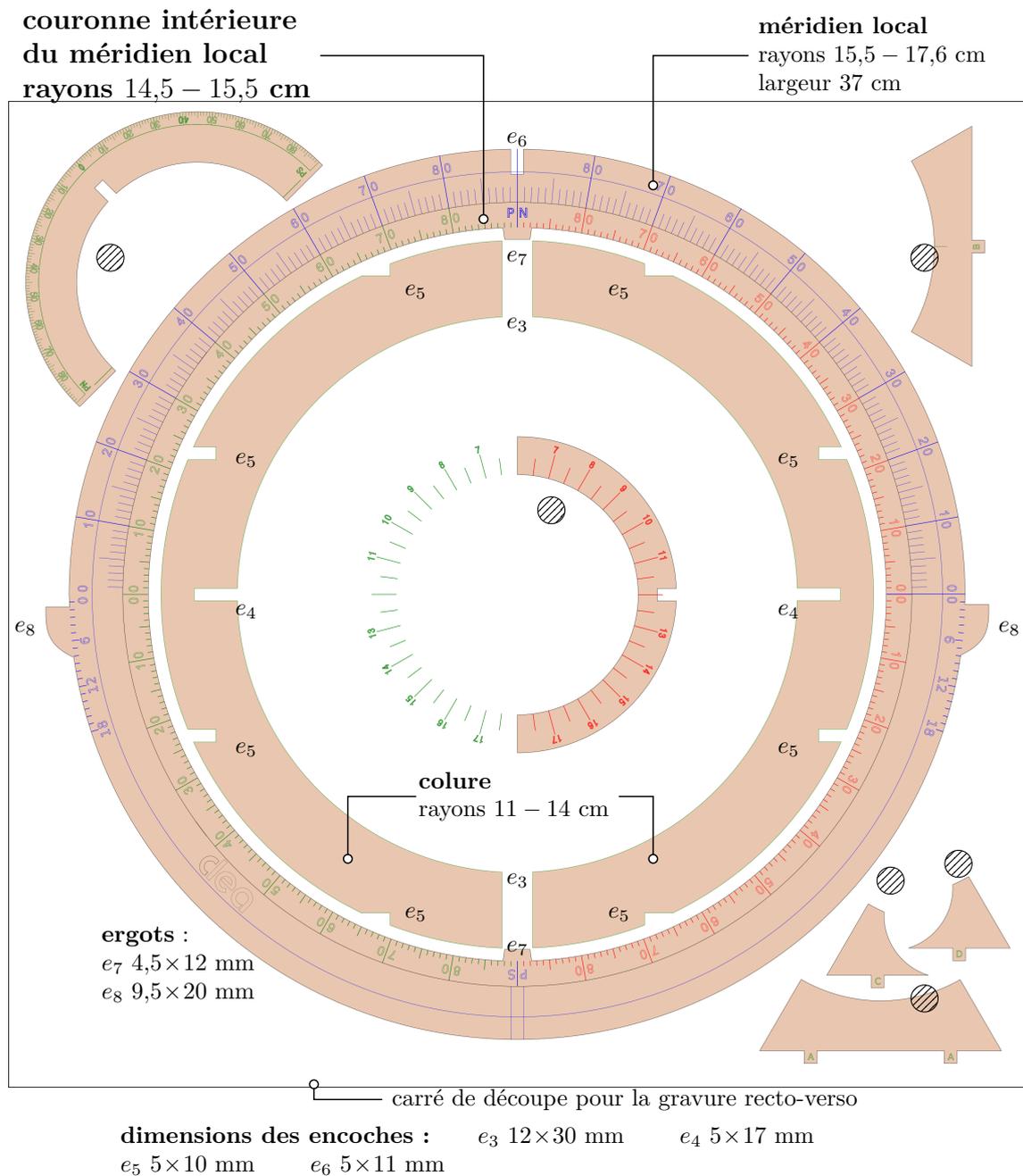


FIG. 2 – La planche P2. Les petites pièces marquées d'un cercle hachuré appartiennent au cadran solaire joint avec la sphère armillaire.

II.3. Planche P3

La dimension de la planche P3 est 41 × 41 cm. Le diamètre maximal des pièces est de 39 cm.

Cette planche P3 fournit l'horizon et l'équateur avec sa couronne coulissante. Le disque central percé de 4 trous sert de socle pour le cadran solaire joint à la sphère armillaire.

II.3.1. Horizon

La plus grande couronne est l'horizon. Elle est graduée, dans le sens horaire, en azimut de 0 au sud à 360° et comporte 4 encoches e_8 à 0°, 90°, 180° et 270°.

II.3.2. Équateur et couronne coulissante

La couronne intérieure est l'équateur céleste. En fait, elle est formée de deux couronnes :

- l'équateur, gradué en ascension droite de 0 à 24 h dans le sens antihoraire. Il comporte 4 encoches extérieures e_9 à 0 h, 6 h, 12 h et 18 h.
- une couronne coulissante intérieure, graduée de 0 à 24 heures dans le même sens.

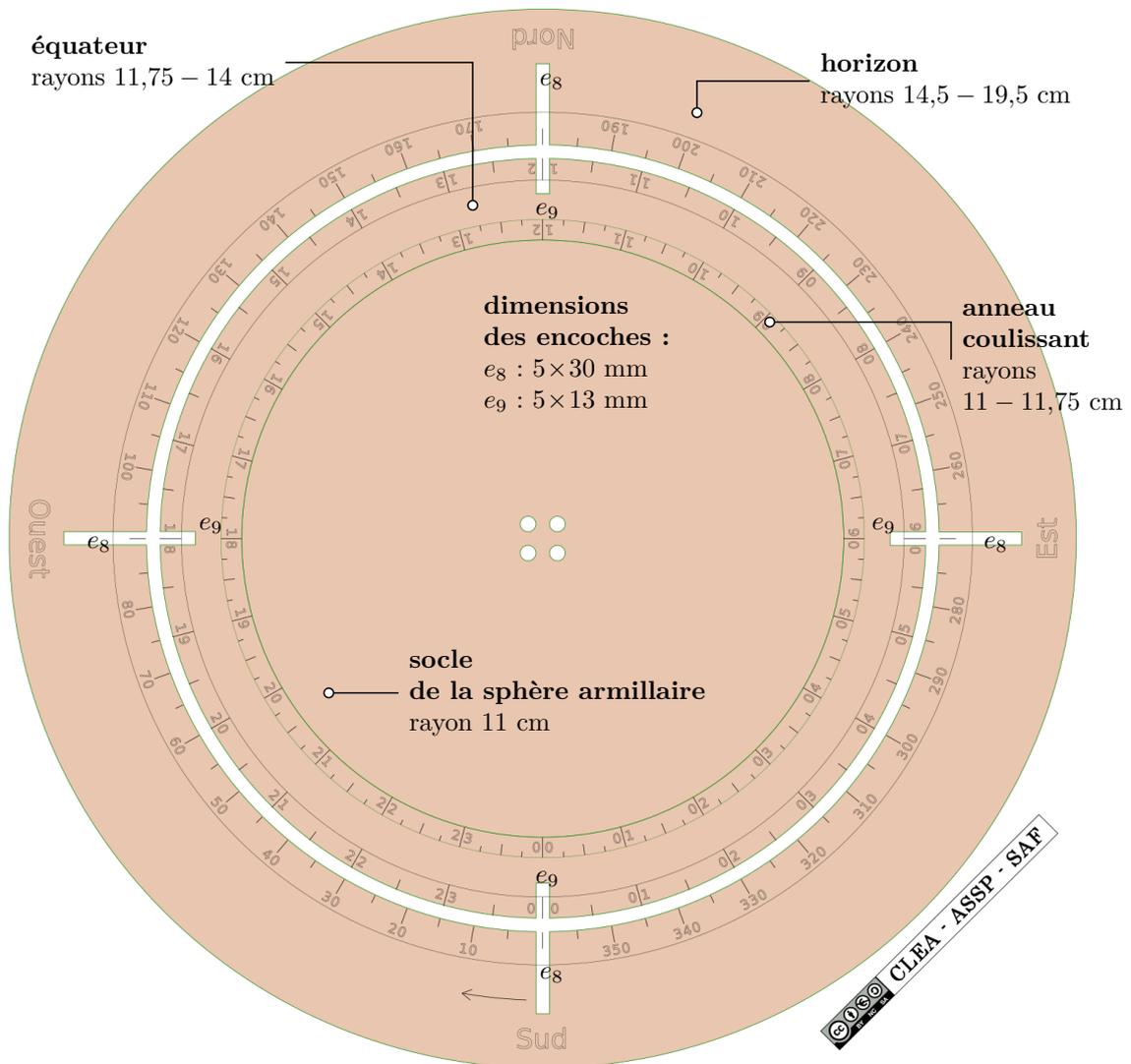


FIG. 3 – La planche P3.

II.4. Planche P4

La dimension de la planche P4 est 56×28 cm. Cette planche fournit les deux cercles polaires, les deux tropiques, ainsi que le pied de la sphère armillaire.

II.5. Feuille de carton-bois

L'écliptique peut être découpé dans la diagonale d'une feuille de longueur 80 cm. La dimension de l'écliptique est $89 \times 1,2$ cm.

III. Gravure et découpe de la planche P2

Problème : trois pièces de la planche P2 sont à graver sur les deux faces :

- le méridien local à graduations symétriques ;
- la couronne coulissante du méridien ;
- l'équateur du cadran solaire équatorial.

La graduation en hauteur du méridien local est symétrique par rapport à l'axe des trapèzes. Elle est identiques sur les deux faces.

La graduation de la couronne de déclinaison n'est pas symétrique par rapport à l'axe des trapèzes.

Solution appliquée :

- Dans le fichier de la planche P2 se trouve un grand rectangle qui englobe tout le plan. **Il est parfaitement centré par rapport au reste du tracé** contenu dans ce rectangle.

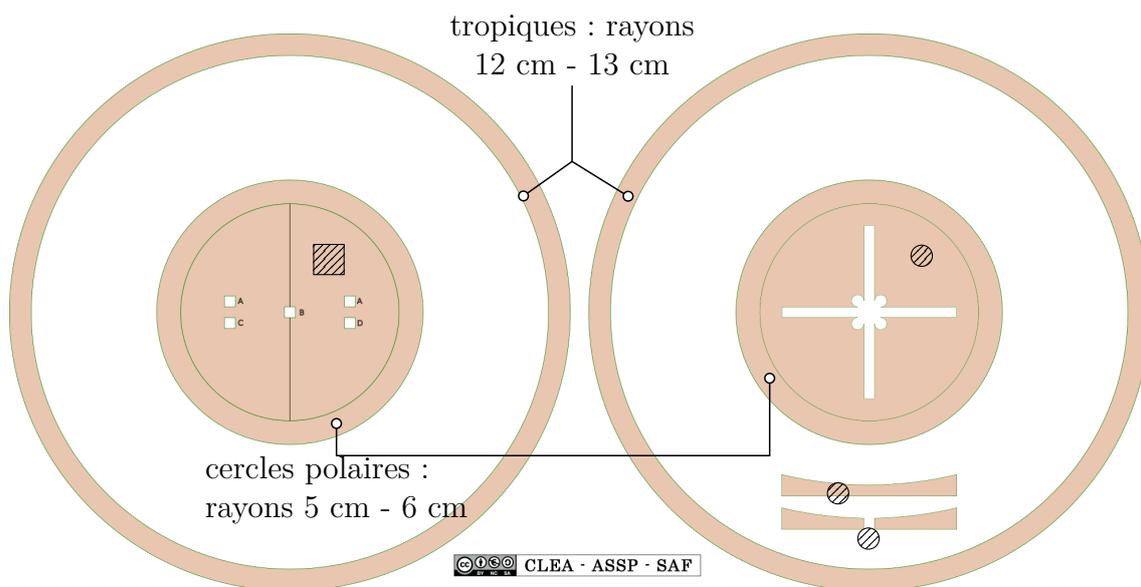


FIG. 4 – La planche P4. Les pièces formant le pied de la sphère armillaire sont repérées par les cercle hachurés. Le carré hachuré désigne une pièce du socle du cadran solaire.

- D'autre part, le fichier dispose de deux séries de graduations de la couronne intérieure du méridien local, avec des **couleurs différentes**. Pour chaque face, il faudra sélectionner la ou les séries de graduations à activer au passage du laser. Dans le logiciel gérant la découpeuse, on peut en effet modifier les réglages des gravures par couleur.

La procédure par étape :

1. Fixer la planche dans la machine avec des pinces. **Veiller à laisser le champ libre pour le passage du bras du laser.**
2. Sur le recto, graver :
 - a) toutes les graduations et chiffres du méridien (**en bleu FIG. 2**) ;
 - b) uniquement les graduations et chiffres du demi-cercle de gauche pour la couronne intérieure du méridien local (**en vert FIG. 2**). Il faut **désactiver** la gravure pour le demi-cercle de graduations de droite (**en rouge FIG. 2**) ;
3. Découper le grand rectangle ;
4. Retirer précautionneusement la pièce rectangulaire, *sans déplacer le reste de la planche*, la retourner (sens droite-gauche) et la replacer dans la planche ;
5. Graver sur le verso :
 - a) les graduations et chiffres du méridien (les mêmes que pour le recto, **en bleu**) ;
 - b) les graduations et chiffres du demi-cercle de droite de la couronne de déclinaison (**en rouge**). Il faut veiller à **désactiver** la gravure pour le demi-cercle de gauche (**en vert**).
6. Terminer par la découpe des pièces.

IV. Consignes pour un montage réussi

Consigne 1. Les traces noires laissées par les grilles de la machine sur les faces des pièces peuvent être poncées. Pour les taches sur des zones gravées, frotter avec un chiffon légèrement humide.

Avec du papier de verre grain fin, poncer les chants de toutes les pièces, pour supprimer la suie laissée par le laser. Cette dernière risquerait de tacher les pièces lors de l'assemblage. Poncer également l'intérieur des encoches.

Consigne 2. Limer le bord extérieur des deux cercles polaires, sur l'une des faces. Il faut donner à ces pièces un profil en biseau suffisant pour que, une fois insérées dans la sphère céleste, elles épousent la courbure des colures sans les toucher en tournant.

vue de profil des cercles polaires limés



Consigne 3. Pratiquer un trou de 4 à 5 mm de profondeur environ, dans chaque ergot en forme de trapèze de la couronne intérieure du méridien local. Ces trous sont destinés à accueillir les extrémités de la tige métallique (axe des pôles), et doivent être pratiqués dans l'épaisseur (chant) des trapèzes ; ces deux trous

doivent se faire face. Pour cela, **utiliser un foret ou un petit tournevis de 2 mm** après avoir centré le trou avec une épingle. **Pour éviter que le bois n'éclate**, il faut maintenir les côtés du trapèze avec un serre-joint en protégeant le bois. Faire un essai préalable sur une chute.

- Consigne 4.** Couper la tige en métal de diamètre 2 mm et de longueur 29 mm. La longueur sera ajustée au moment de l'installation (V. **Étape 7.**).
- Consigne 5.** Percer les deux tasseaux en bois de section carrée de 13 mm de côté et de longueur 30 mm dans leur axe de longueur, de part en part (diamètre du trou : 2 mm).
- Consigne 6.** Si la perle en bois a un trou supérieur à 2 mm, mettre un tourillon ou une cheville en bois au diamètre du trou de la perle en bois et de longueur 30 mm. Le percer de part en part le long de son grand axe (diamètre du trou : 2 mm). Ce tourillon est placé dans la perle en bois.

V. Assemblage de la sphère céleste

Toutes les étapes de l'assemblage de la sphère céleste sont à réaliser en se reportant régulièrement à la **FIG. 5** de la sphère céleste pour contrôler l'emplacement des pièces.

Il est conseillé de commencer par rassembler l'outillage nécessaire pour fabriquer la sphère armillaire dans de bonnes conditions :

- un support de découpe ;
- un clou de diamètre 2 mm ;
- un foret de 2 mm ;
- un marteau ;
- de la colle universelle type Tesa ou colle à bois à prise rapide ;
- du papier de verre grain fin ;
- de la cire ou du vernis (facultatif).

Étape 1. Placer la couronne coulissante intérieure (planche P3) dans l'équateur (les deux pièces s'ajustent et coulisent librement). Les faces gravées doivent être du même côté.

Étape 2. Placer les quatre demi-colures autour de l'équateur, sur les encoches situées aux graduations 0 h, 6 h, 12 h et 18 h. À ce stade, l'ensemble ne tient pas fermement.

Étape 3. Étape délicate !

Ajouter par le haut l'un des cercles des tropiques (diamètre extérieur 26 cm). Il faut l'engager dans les encoches extérieures des colures (les plus profondes). On y arrive en inclinant tour à tour les extrémités des colures vers le centre.

Étape 4. Étape délicate !

Répéter l'étape précédente avec l'autre cercle de tropique (toujours avec précaution!).

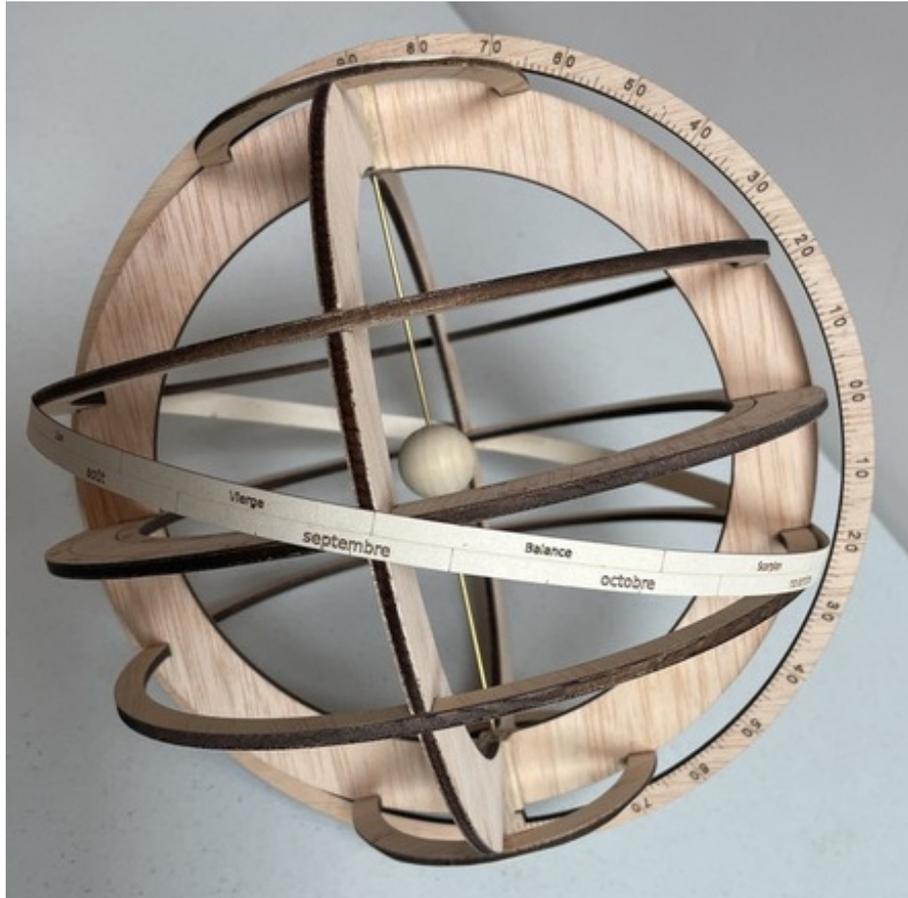


FIG. 5 – La sphère céleste.

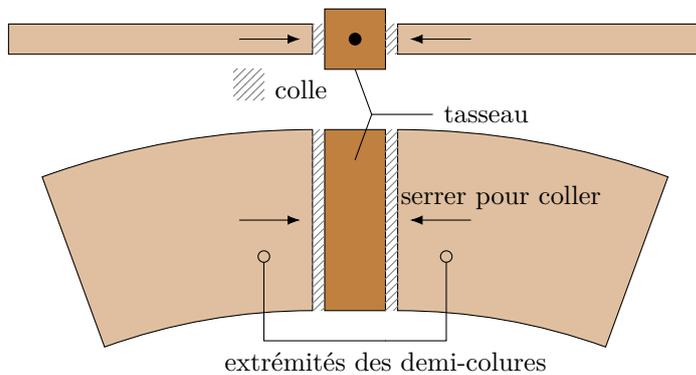


FIG. 6 – Placement d'un colure et d'un tasseau (vue de dessus et vue de face). La colle est facultative.

Étape 5. Procéder au collage des colures sur les tasseaux (voir FIG. 6).

Conseils :

- a) Appliquer de la colle à bois sur deux faces opposées d'un tasseau, dans le sens de la longueur. La zone encollée doit mesurer environ 5 mm de large, au centre de ces faces.
- b) Insérer le tasseau entre deux demi-colures opposés, et coller ces derniers sur le tasseau. Maintenir quelques instants, en faisant attention à ce que le tasseau ne dépasse pas des colures sur la courbure extérieure. Appuyer

fermement pendant quelques instants. Essuyer le surplus de colle.

- c) Après séchage, répéter l'opération en collant les 2 autres faces du tasseau avec les deux autres extrémités des demi-colures. Serrer quelques instants.
- d) Répéter l'opération avec le second tasseau, à l'autre bout des colures.
- e) Après séchage, l'ensemble est maintenant solidaire.

Étape 6. Encoller les encoches restantes des colures, et y coller les deux petits cercles polaires, en appuyant quelques instants. Les parties en biseau des cercles doivent être dirigées vers l'extérieur de la sphère.

Étape 7. Insérer la tige métallique dans les deux trapèzes de la couronne intérieure du méridien local. Vérifier que les deux couronnes du méridien coulissent bien l'une dans l'autre et que le diamètre extérieur de la couronne intérieure est toujours de 31 cm au niveau de la tige. Ajuster éventuellement la profondeur des trous.

Étape 8. Enfiler la tige métallique dans le trou d'un des tasseaux, enfiler ensuite la boule jusqu'au milieu de la tige, puis passer la tige dans le trou de l'autre tasseau.

Étape 9. Insérer les extrémités de la tige métallique dans les trapèzes de la couronne intérieure du méridien local, et vérifier que la sphère céleste peut tourner dans la couronne.

Étape 10. Sortir la sphère de la couronne pour l'étape suivante.

La sphère céleste sans écliptique est terminée.

Étape 11. Étape délicate !

Coller le ruban de l'écliptique sur les colures, autour de la sphère céleste, en faisant bien correspondre les dates aux colures correspondants (TAB. 2).

Conseils :

1. Pour le repérage.

Il faut repérer les quatre points où sera collé l'écliptique sur la sphère :

- à l'intersection de l'équateur et du colure des équinoxes, au niveau de la graduation 0 h de l'équateur ;
- à l'intersection du tropique du Cancer et du colure des solstices, côté pôle Nord ;

20 mars (0°)	début du Bélier	graduation « 0° » au niveau de l'équateur à 0 h.
21 juin (90°)	début du Cancer	tropique du Cancer (23,5° N) au-dessus de la graduation 6 h de l'équateur.
22 septembre (180°)	début de la Balance	graduation « 180° » au niveau de l'équateur à 12 h.
21 décembre (270°)	début du Capricorne	tropique du Capricorne (23,5° S) sous la graduation 18 h de l'équateur.

TAB. 2 – Correspondance des dates avec l'ascension droite, pour la mise en place de l'écliptique.

- à l'intersection de l'équateur et du colure des équinoxes (graduation 12 h de l'équateur) ;
- à l'intersection du tropique du Capricorne et du colure des solstices.

Ces points de collage doivent correspondre aux graduations respectives de 0° , 90° , 180° , 270° sur l'écliptique. C'est la ligne centrale de l'écliptique qui doit passer par les valeurs de déclinaisons indiquées ci-dessus.

2. Pour le collage.

- i. Commencer par appliquer un peu de colle au premier point de collage sur la tranche de l'équateur, et y coller l'extrémité « Bélier » de l'écliptique. Veiller à orienter l'écliptique en direction du point de collage suivant. Laisser sécher quelques minutes.
- ii. Procéder de la même façon avec les points suivants, en vérifiant que la ligne centrale de l'écliptique passe en face des valeurs 0° ; $23,5^\circ$; 0° et $-23,5^\circ$ de la couronne de déclinaison.
- iii. Terminer en appliquant encore un peu de colle au point de départ, afin de joindre les deux extrémités de l'écliptique.

Le montage de la partie non démontable de la sphère armillaire est terminé, avec la sphère céleste et la couronne intérieure du méridien local sur laquelle est fixée l'axe des pôles.

VI. Montage 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 (**FIG. 5 p. 9**) ;
- 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. 7 p. 12**.

Suivre les étapes en se reportant à la **FIG. 8 p. 12**.

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.

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

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

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 !



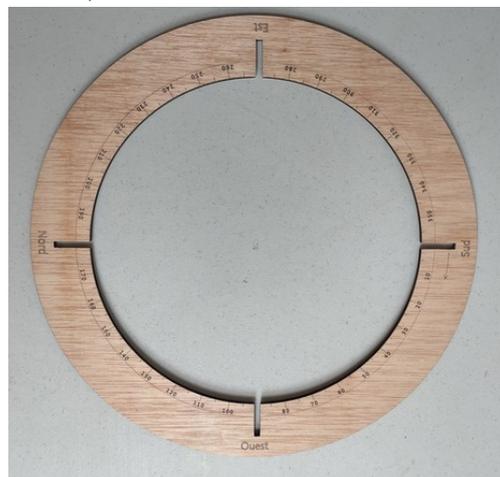
(a) sphère céleste avec méridien gradué (couronne intérieure).



(b) méridien local gradué (couronne extérieure).



(c) premier vertical ouvert en bas.



(d) horizon.

FIG. 7 – 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. 8 – Les trois étapes du montage.

Étape 3. Tout en maintenant le méridien et le premier vertical, enfile 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. Le PN de la sphère céleste coulisse du côté nord de l'horizon (le PS coulisse du côté sud de l'horizon).

VII. 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. 9 p. 13) :

- 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 les deux parties de la dernière pièce dans les rainures restantes.



FIG. 9 – 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.



FIG. 10 – La sphère armillaire installée sur son pied. Pour améliorer la stabilité, il est possible de coller sous le disque inférieur un disque de plus grand diamètre, provenant d'une chute.