

Modèle universel de l'horizon

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia (Barcelona, Spain), CLEA (Nice, France)

Résumé

Ce document de travail présente une méthode simple pour visualiser et expliquer les mouvements apparents des étoiles, du Soleil et de la Lune à partir de différents endroits de la Terre. La procédure consiste à construire un modèle simple qui nous permet de montrer comment ces mouvements sont observés à partir de différentes latitudes.

Objectifs

- Comprendre les mouvements apparents des étoiles à partir de différentes latitudes.
- Comprendre les mouvements apparents du Soleil à partir de différentes latitudes
- Comprendre le mouvement et l'aspect de la Lune sous différentes latitudes

L'idée derrière le modèle universel de l'horizon

Il n'est facile d'expliquer comment les mouvements apparents du Soleil, de la Lune ou des étoiles sont observés depuis la Terre. Les élèves savent que le Soleil se lève et se couche tous les jours, mais ils sont surpris d'apprendre que le Soleil se lève et se couche d'un jour à l'autre de différents points au dessus de l'horizon et que les trajectoires du soleil dans le ciel peuvent varier selon la latitude du lieu. Le modèle universel de l'horizon simplifie et explique le phénomène du soleil de minuit et du passage du soleil au zénith. En particulier, les modèles universels de l'horizon peuvent être très utiles pour comprendre et justifier certaines différences liées à la latitude.

On se souvient facilement de la forme des constellations à travers les légendes et par les règles géométriques pour les retrouver. Cependant, cela n'est possible qu'à partir d'un point bien déterminé sur Terre. En raison du mouvement de la sphère céleste, un observateur au pôle Nord peut observer toutes les étoiles de l'hémisphère nord et celui au pôle sud peut observer toutes les étoiles de l'hémisphère sud. Mais qu'observent ceux qui vivent sous différentes latitudes?

Le modèle universel de l'horizon: pourquoi il y a de étoiles invisible ?

Tout se complique lorsque l'observateur n'est pas dans l'un des deux pôles. Dans ce cas, les étoiles tombent dans trois catégories différentes en fonction de leurs mouvements observés (pour chaque latitude): les étoiles circumpolaires, les étoiles qui se lèvent et se couchent et les étoiles invisibles (figure 1). Nous avons tous eu la surprise de découvrir que l'on peut observer quelques étoiles de l'hémisphère sud tout en vivant dans l'hémisphère nord. C'est la même surprise lorsqu'on découvre le phénomène du soleil de minuit.

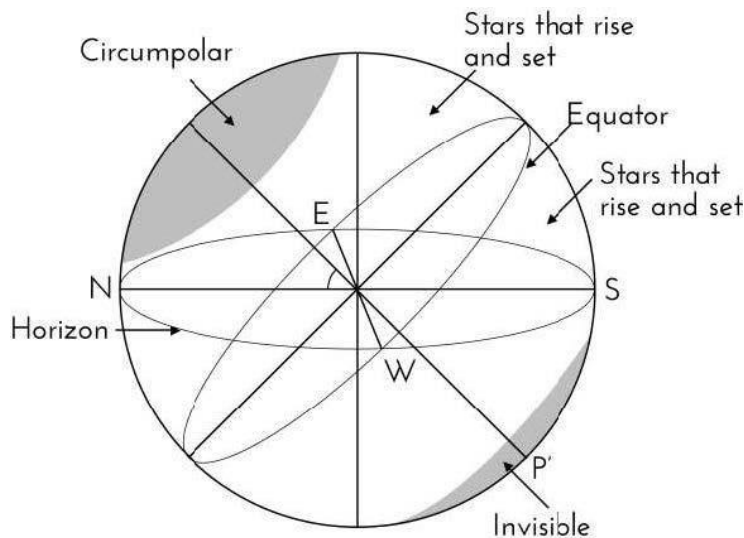


Fig 1: trois types d'étoiles (vue depuis une latitude bien déterminer): étoiles circumpolaires, étoiles se lèvent et se couchant, étoiles invisibles.

L'objectif principal du modèle stellaire de l'horizon

L'objectif principal est de découvrir quelles sont les constellations circumpolaires, quelles sont les constellations qui se lèvent et se couchent quelles et celles qui sont invisibles à des différentes latitudes. Si nous observons les étoiles à une latitude d'environ 45° N, il est clair que nous pouvons voir beaucoup d'étoiles visibles de l'hémisphère sud qui se lèvent et se couchent tous les soirs (figure 1).

Dans notre cas, le modèle stellaire de l'horizon devrait inclure des constellations avec des déclinaisons variables (les ascensions droites ne sont pas aussi importantes dans ce cas). Il est important de se servir des constellations les plus connues. Ceux-ci peuvent avoir différentes ascensions droites de sorte qu'elles soient visibles pendant différents mois de l'année (fig 2).

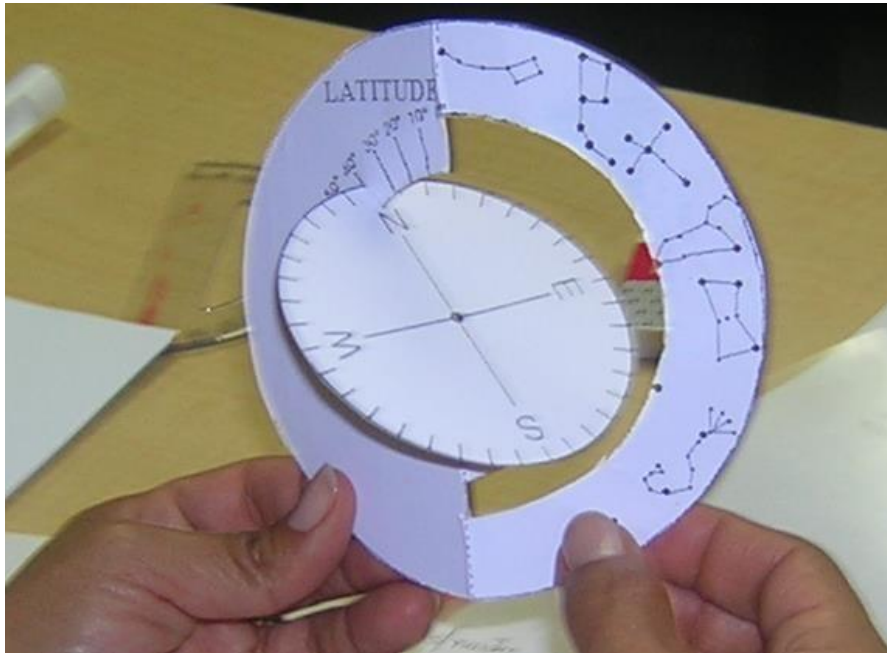


Fig 2: Utilisation du modèle: ce modèle servira pour l'hémisphère voir les constellation dans le tableau 1.

Lors de la sélection de la constellation à dessiner, seules les étoiles brillantes doivent être utilisées pour que sa forme soit facilement identifiable. Il est préférable de ne pas utiliser les constellations qui sont sur le même méridien, mais plutôt de se concentrer sur le choix des constellations qui seraient bien connues chez les élèves (Tableau 1). Si vous êtes intéressé à faire un modèle pour chaque saison, vous pouvez faire quatre modèles différents, un pour chaque saison. Vous devez se servir des constellations qui ont différentes déclinaisons, mais qui ont une ascension droite entre 21h et 3h pour l'automne et le printemps, entre 3h et 9h pour l'hiver et l'été, entre 9h et 14h pour l'hiver pour le printemps (automne), et entre 14h et 21h pour l'été (hiver) dans l'hémisphère Nord (Sud) pour le ciel du soir.

<i>Constellation</i>	<i>Déclinaison maximale</i>	<i>Déclinaison minimale</i>
La Petite Ourse	+90°	+70°
La Grande Ourse	+60°	+50°
Le Cygne	+50°	+30°
Le Lion	+30°	+10°
Orion et Sirius	+10°	-10°
Le Scorpion	-20°	-50°
La Croix du Sud	-50°	-70°

Tableau 1: les constellations sur le modèle stellaire de l'horizon

Si nous décidons de sélectionner des constellations pour une seule saison, il est difficile de sélectionner une constellation entre, par exemple, 90°N et 60°N, une autre entre 60°N et 40°N, une autre entre 40°N et 20°N, et une autre entre 20°N et 20°S, etc. , sans se chevaucher et

atteindre 90°S . Si nous voulons également sélectionner des constellations bien connues pour les élèves, avec un petit nombre d'étoiles brillantes et suffisamment grandes pour couvrir la totalité du méridien, il est difficile d'atteindre notre objectif. Étant donné que les grandes constellations lumineuses qui sont bien connues ne couvrent pas tout le ciel tout au long de l'année, il est plus facile de faire un seul démonstrateur pour l'année entière.

Il y a aussi un autre argument pour faire un démonstrateur unique. La différence concernant les saisons n'a lieu qu'à certaines latitudes des deux hémisphères.

Pour obtenir un modèle robuste (figures 3a et 3b), il est conseillé de coller les deux morceaux sur un papier cartonné avant de les couper (figures 4 et 5). C'est aussi une bonne idée de construire un autre modèle, deux fois plus grand, pour l'enseignant.

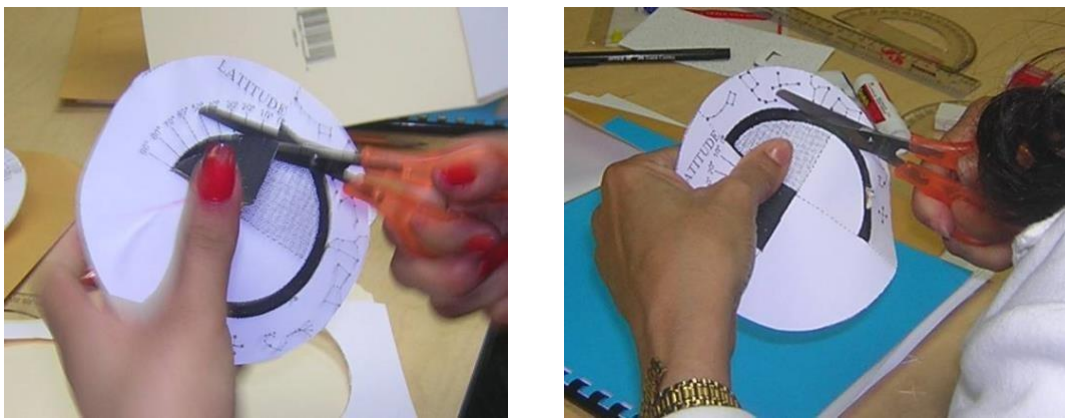


Fig. 3a et 3b: construction du modèle stellaire de l'horizon
Ci-dessous Les étapes pour construire le modèle stellaire de l'horizon.

Modèle stellaire de l'horizon pour l'hémisphère nord

- Faire une photocopie sur un papier cartonné des figures 4 et 5.
- Couper les deux cercles (figures 4 et 5).
- enlever les zones noires de la pièce principale (figure 4).
- Plier la pièce principale (figure 4) tout au long de la ligne pointillée droite. Faire cela plusieurs fois pour rendre le modèle facile à utiliser.
- Couper une petite fente au-dessus du "N" sur le disque l'horizon (figure 5). La fente doit être assez grande pour que le carton puisse le traverser.
- Coller le quadrant nord-est du disque de l'horizon (figure 5) sur le quadrant gris de la pièce principale (figure 4). Il est très important d'avoir la ligne droite nord-sud suivant la double ligne de la pièce principale. De plus, le "W" sur le disque d'horizon doit correspondre à la latitude 90° .
- Lorsque vous placez le disque d'horizon dans la pièce principale, assurez-vous que les deux restent perpendiculaires.
- Il est très important de coller soigneusement les différentes pièces pour obtenir la précision maximale.

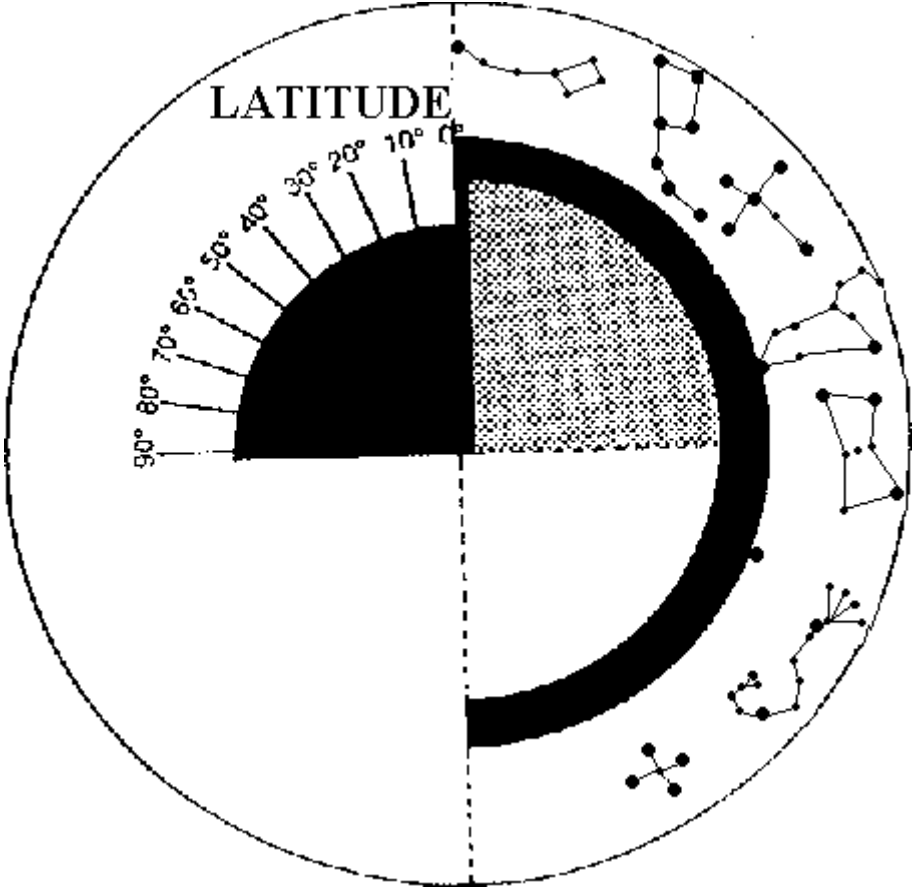


Fig.4: la partie principale du modèle pour l'Hémisphère Nord

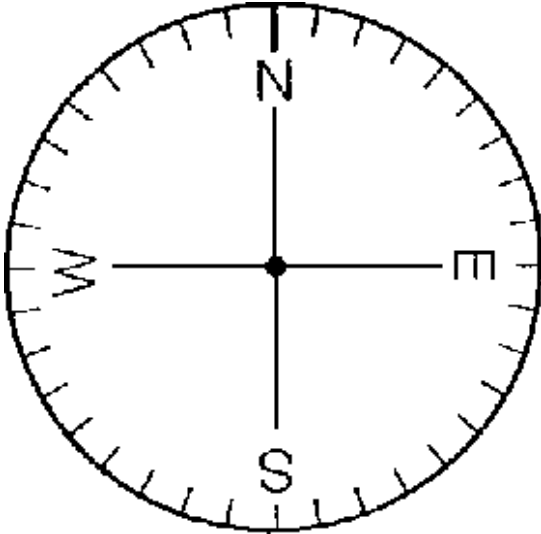


Fig. 5: le disque de l'horizon

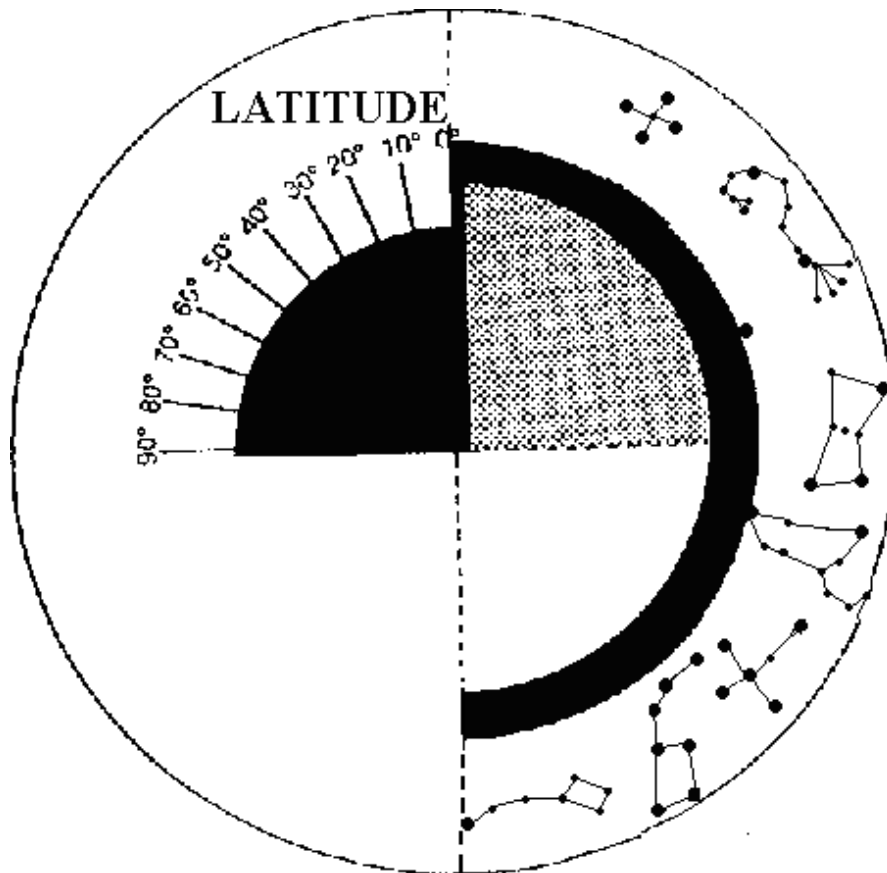


Fig.6: la partie principale du modèle stellaire de l'horizon pour l'Hémisphère Sud

Modèle stellaire de l'horizon pour l'hémisphère sud

- Faire une photocopie sur un papier cartonné des figures 5 et 6.
- Couper les deux cercle (figures 5 et 6).
- enlever les zones noires de la pièce principale (figure 6).
- Plier la pièce principale (figure 6) tout au long de la ligne pointillée droite. Faire cela plusieurs fois pour rendre le modèle facile à utiliser.
- Couper une petite fente sur le "S" du disque d'horizon (figure 5). Il devrait être assez grand pour que le carton puisse le traverser.
- Coller le quadrant sud-ouest du disque d'horizon (figure 5) sur le quadrant gris de la pièce principale (figure 6). Il est très important d'avoir la ligne droite nord-sud suivant la double ligne de la pièce principale. De plus, le "E" sur le disque d'horizon doit correspondre à la latitude 90°.
- Lorsque vous placez le disque d'horizon dans la pièce principale, assurez-vous que les deux restent perpendiculaires.
- Il est très important de coller soigneusement les différentes pièces pour obtenir la précision maximale.

Choisissez le démonstrateur stellaire que vous voulez construire en fonction de votre lieu de latitude. Vous pouvez également construire un modèle en choisissant vos propres constellations selon différents critères.

Par exemple, vous pouvez inclure les constellations visibles uniquement pour une saison, ou bien les constellations visibles uniquement pendant un mois, etc. Pour cela, vous ne devez considérer que les constellations avec des ascensions droites entre deux valeurs spécifiques. Dessinez ensuite les constellations avec leurs valeurs de déclinaison sur la figure 7. Noter que chaque secteur correspond à 10° .

Applications par le modèle

Pour commencer à utiliser le modèle, vous devez sélectionner la latitude de votre lieu d'observation. Nous pouvons voyager faire d'un voyage imaginaire sur la Terre en utilisant le modèle.

Utilisez votre main gauche pour tenir sous le quadrant de la latitude de la pièce principale du modèle (figure 4 ou 6). Sélectionnez la latitude et déplacez le disque d'horizon jusqu'à ce qu'il affiche la latitude choisie. Par la main droite, déplacez le disque avec les constellations de droite à gauche plusieurs fois.

Vous pouvez observer quelles constellations sont toujours à l'horizon (circumpolaires), quelles constellations s'élèvent et se fixent, et lesquelles d'entre elles sont toujours au-dessous de l'horizon (invisible).

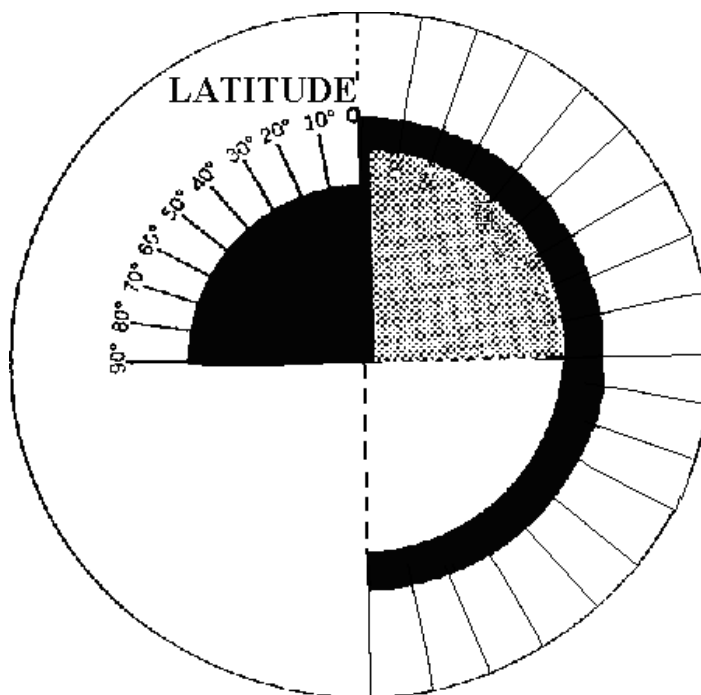


Fig.7: la partie principale du modèle stellaire de l'horizon pour les deux hémisphères

Inclinaison de la trajectoire des étoiles selon la latitude

A l'aide du modèle, il est très facile d'observer comment l'angle de la trajectoire de l'étoile par rapport à l'horizon change en fonction de la latitude du lieu (figures 8, 9 et 10).

Si le lieu d'observation se trouve à l'équateur (latitude 0°), l'angle observé est de 90° . Par contre, si l'observateur se trouve est au pôle Nord ou au pôle Sud (latitude 90° N ou 90° S), la trajectoire de l'étoile est parallèle à l'horizon. En général, si l'observateur se trouve dans une ville à la latitude L , l'inclinaison de la trajectoire de l'étoile par rapport à l'horizon est de : 90° moins L chaque jour.

Nous pouvons le vérifier en regardant les figures 8, 9 et 10. La photo de la figure 8a a été prise en Laponie (Finlande), celle de la figure 9a à Montseny (près de Barcelone, Espagne) et la figure 10a à San Luis Potosi (Mexique). . La Laponie est à une latitude plus élevée que Barcelone et San Luis Potosi, de sorte que l'inclinaison de la trajectoire d'étoile est plus petite.

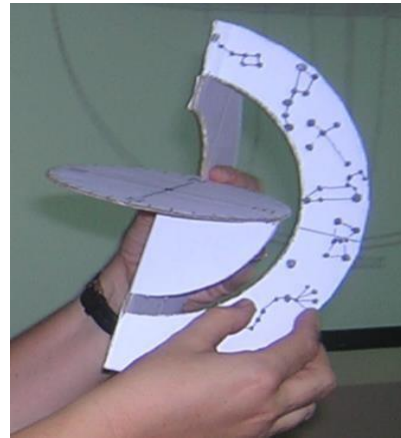


Fig. 8a et 8b: Étoiles à Enontekiö en Laponie 68° N (Finlande). L'angle de la trajectoire de l'étoile par rapport à l'horizon est de 90° moins la latitude. Notez que les trajectoires des étoiles sont plus courtes que sur la photo suivante, car les aurores boréales forcent un temps d'exposition plus faible (Photo: Irma Hannula, Finlande).

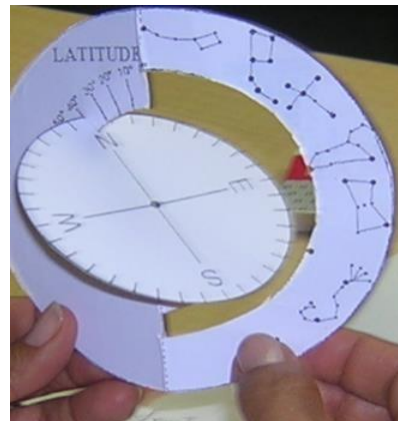


Fig. 9a et 9b: leverv des étoiles à Montseny 41° N (près de Barcelone, Espagne). L'angle de l'étoile par rapport à l'horizon est de 90° moins la latitude (Photo: Rosa M. Ros, Espagne).



Fig 10a et 10b. trainé des étoiles à Matehuala (Mexique) 23°N, l'angle des trajectoires des étoiles à l'horizon est de 90 moins la latitudes (la colatitude). (Photo: Luis J de la Cruz, Mexique).

En utilisant le modèle de cette manière, les étudiants peuvent essayer les différentes activités ci-dessous.

- 1) Si nous choisissons la latitude 90°N, l'observateur est au pôle Nord. Nous pouvons réaliser que toutes les constellations de l'hémisphère nord sont circumpolaires. Tous celles de l'hémisphère sud sont invisibles et il n'y a pas de constellations qui se lèvent et se couchent.
- 2) Si la latitude est 0°, l'observateur est à l'équateur, et nous pouvons réaliser que toutes les constellations montent et se fixent (perpendiculairement à l'horizon). Aucune n'est circumpolaire ou invisible.
- 3) Si la latitude est de 20° (N ou S), il y a moins de constellations circumpolaires que si la latitude est de 40° (respectivement N ou S). Mais il y a beaucoup plus d'étoiles qui se lèvent et se couchent si la latitude est de 20° au lieu de 40°.
- 4) Si la latitude est de 60° (N ou S), il y a beaucoup de constellations circumpolaires ainsi que de constellations invisibles, mais le nombre de constellations qui se lèvent et se couchent est réduit par rapport à la latitude 40° (respectivement N ou S).

Le modèle universel de l'horizon : pourquoi le soleil ne se lève pas de la même point tous les jours

Il est facile à expliquer le mouvement apparent du soleil depuis la Terre. Les élèves savent que le soleil se lève et se couche tous les jours, mais ils seront surpris quand ils découvrent que le soleil se lève et se couche à des endroits différents d'un jour à l'autre. Il est également intéressant de considérer les différentes trajectoires du soleil en fonction de la latitude locale. Il est peut être difficile d'expliquer le phénomène du soleil de minuit ou le passage du soleil au zénith. En particulier, le modèle universel de l'horizon est très utile pour comprendre le mouvement de translation et justifier certaines différences du mouvement du soleil en fonction de la latitude.

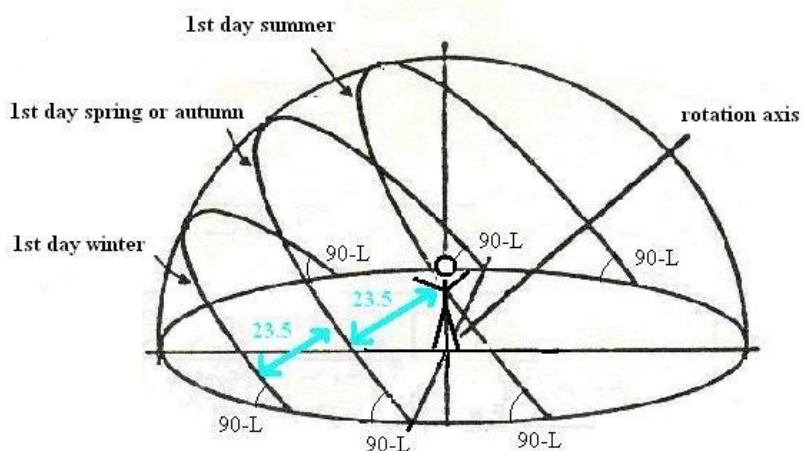


Fig. 11: Trois trajectoires différentes (1er jour de printemps ou d'automne, 1er jour d'été et 1er jour d'hiver).

Construction du modèle universel de l'horizon

Pour construire le modèle universel de l'horizon, il faut prendre en considération la déclinaison du soleil, qui change quotidiennement. Ensuite, nous devons avoir la possibilité de changer la position du soleil en fonction des saisons. Pour le premier jour du printemps et de l'automne, la déclinaison du soleil est de 0° , et le soleil se déplace tout au long de l'équateur. Le premier jour de l'été (hiver dans l'hémisphère sud), la déclinaison du soleil est de $+23,5^\circ$ et le premier jour de l'hiver (été dans l'hémisphère sud) de $-23,5^\circ$ (figure 11). Nous devons pouvoir modifier ces valeurs dans le modèle si nous voulons étudier la trajectoire du Soleil.

Pour obtenir un modèle robuste (figures 12a et 12b), il est conseillé de coller deux morceaux de carton avant de les couper. Vous pouvez également faire en sorte que l'un des modèles soit deux fois plus grand, pour les explications professeur.

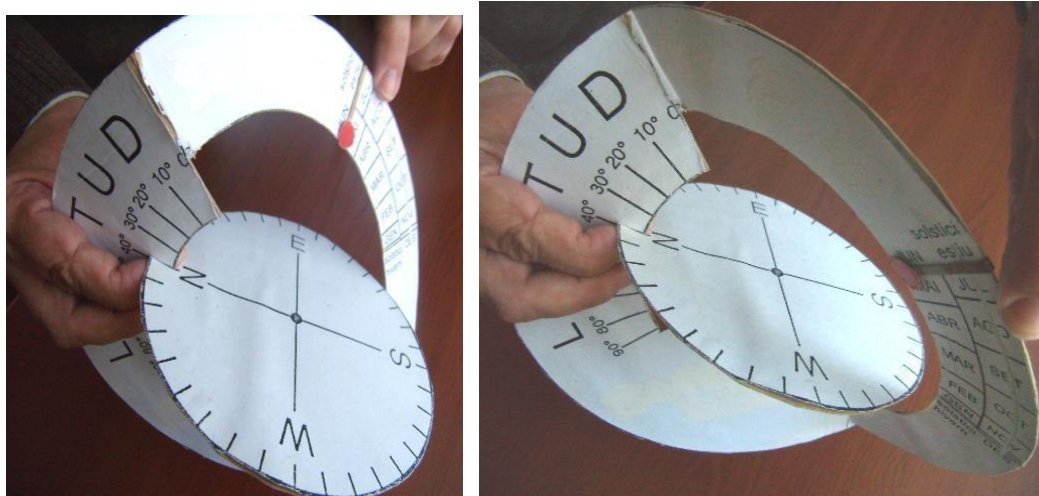


Fig. 12a et 12b: construction d'un modèle universel de l'horizon pour l'hémisphère nord à la latitude $+40^\circ$

Les étapes pour la construction d'un modèle universel de l'horizon

Modèle pour l'hémisphère nord

- Faire une photocopie des figures 13 et 14 sur un papier carton.
- Couper les deux cercles tout au long de la ligne continue (figures 13 et 14).
- enlever les zones noires de la pièce principale (figure 14).
- Plier la pièce principale (figure 14) selon la ligne pointillée droite. Faire cela plusieurs fois pour rendre le modèle plus facile à utiliser.
- faire une petite fente au-dessus du "N" sur le disque d'horizon (figure 14). La fente doit être suffisamment grande pour que le carton puisse la traverser.
- Coller le quadrant nord-est du disque d'horizon (figure 14) sur le quadrant gris de la pièce principale (figure 13). Il est très important d'avoir la ligne droite nord-sud suivant la double ligne de la pièce principale. De plus, le "W" sur le disque d'horizon doit correspondre à la latitude 90° .
- Lorsque vous placez le disque de l'horizon (figure 14) dans la pièce principale, assurez-vous que les deux restent perpendiculaires.

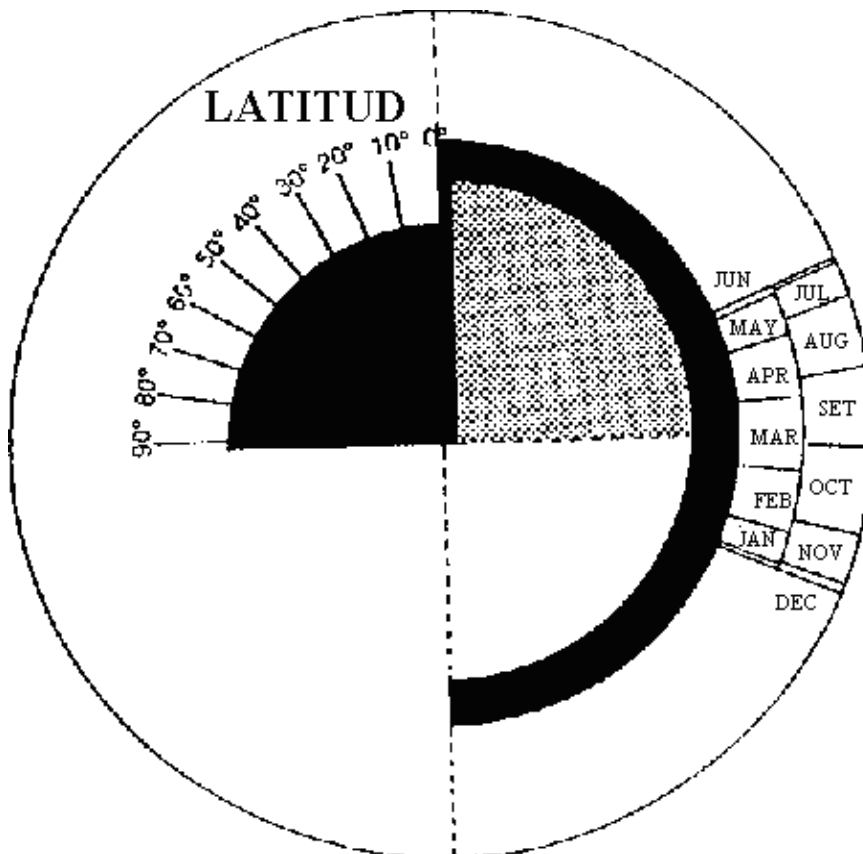


Fig. 13: Partie principale du modèle pour l'hémisphère nord

- Il est très important de coller soigneusement les différentes pièces pour obtenir une précision maximale.

i) Pour placer le soleil dans le modèle, peignez un cercle en rouge sur une feuille de papier. Découpez-le et placez-le entre deux bandes de ruban adhésif. Placez cette bande transparente avec le cercle rouge sur la zone de déclinaison de la figure 13. L'idée est qu'il devrait être facile à déplacer cette bande vers le haut et le bas afin de situer le point rouge sur le mois de votre choix. (Ou simplement utiliser un trombone coloré qui va jouer le rôle du soleil).

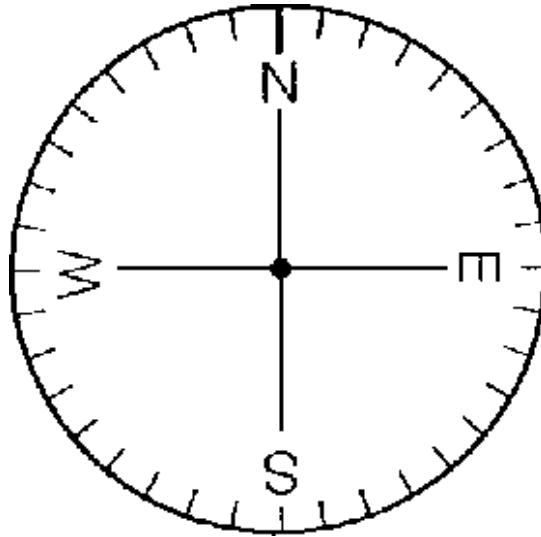


Fig. 14: Le disque de d'horizon.

Pour construire le modèle universel de l'horizon pour l'hémisphère sud, vous pouvez suivre des étapes similaires, mais remplacez la figure 13 par la figure 15.

Modèle universel de l'horizon pour l'hémisphère sud

- a) Faire une photocopie des figures 14 et 15 sur un papier cartonné.
- b) Couper les deux cercles tout au long de la ligne continue (figures 14 et 15).
- c) enlever les zones noires de la pièce principale (figure 15).
- d) Plier la pièce principale (figure 15) tout au long de la ligne pointillée droite. Faire cela à quelques reprises pour rendre le modèle facile à utiliser.
- e) Coupez une petite encoche au-dessus du "S" sur le disque d'horizon (figure 14). L'encoche doit être assez grande pour que le carton puisse le traverser.
- f) Coller le quadrant sud-ouest du disque d'horizon (figure 14) sur le quadrant gris de la pièce principale (figure 15). Il est très important d'avoir la ligne droite nord-sud suivant la double ligne de la pièce principale. De plus, le "E" sur le disque d'horizon doit correspondre à la latitude 90°.
- g) Lorsque vous placez le disque d'horizon (figure 14) dans la pièce principale, assurez-vous que les deux restent perpendiculaires.
- h) Il est très important de coller soigneusement les différentes pièces pour obtenir la précision maximale.
- i) Pour placer le soleil dans le démonstrateur, peignez un cercle en rouge sur une feuille de papier. Découpez-le et placez-le entre deux bandes de ruban adhésif. Placez cette bande de bande transparente avec le cercle rouge sur la zone de déclinaison de la figure 15. L'idée est

qu'il devrait être facile à déplacer cette bande vers le haut et le bas afin de situer le point rouge sur le mois de votre choix. (Ou simplement utiliser un trombone coloré qui va jouer le rôle du soleil).

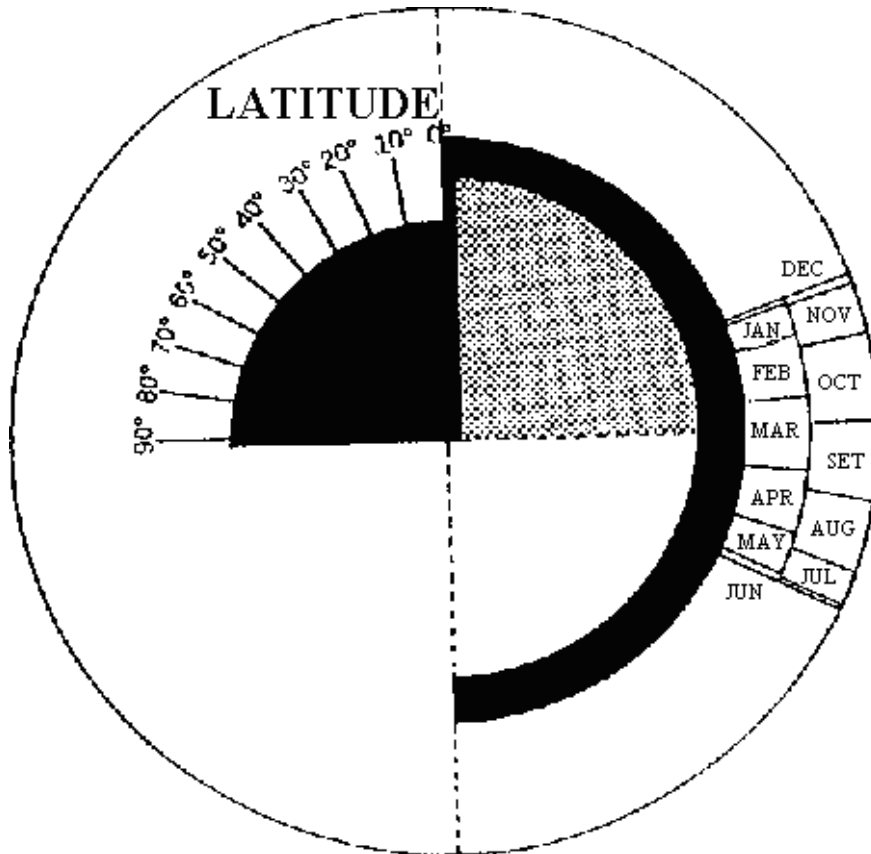


Fig.15: Partie principale du modèle pour l'hémisphère nord

L'utilisation du modèle

Pour utiliser le modèle, vous devez sélectionner votre latitude. Encore une fois, nous pouvons voyager sur Terre selon d'un voyage imaginaire à l'aide du modèle universel de l'horizon.

Nous allons considérer trois sites sur la Terre:

1. Lieu situé dans une zone intermédiaire entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud
2. Lieu dans les zones polaires
3. Lieu dans les zones équatoriales

1. - Lieux situés dans les zones intermédiaires (entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud) : les saisons

- **Angle de la trajectoire du soleil par rapport à l'horizon**

En utilisant le modèle, il est très facile de réaliser que l'angle de la trajectoire du Soleil par rapport à l'horizon dépend de la latitude. Si l'observateur se trouve l'équateur (latitude 0°), cet

angle est de 90° . Si l'observateur est au pôle Nord ou Sud (latitude 90° N ou 90° S), la trajectoire du Soleil est parallèle à l'horizon. En général, si l'observateur est dans une ville à la latitude L , l'inclinaison du trajet du Soleil par rapport à l'horizon est de 90 moins L chaque jour. Nous pouvons le vérifier en regardant les figures 16a et 16b. La photo de la figure 16a a été prise en Laponie (Finlande) et celle de la figure 17a à Gandia (Espagne). La Laponie est à une latitude supérieure à celle de Gandia, l'inclinaison du chemin du Soleil est donc plus faible. La photographie de la figure 18a a été réalisée à Ladrilleros (Colombie) avec une latitude de 4° et, par conséquent, l'inclinaison de la trajectoire du soleil est proche de la perpendicularité, soit 86° .



Fig. 16a et 16b: lever du soleil à Enontekio in Lapland (Finland). L'angle de la trajectoire du soleil par rapport à l'horizon est la colatitude (90 -la latitude) (photo : Sakari Ekko, Finland)

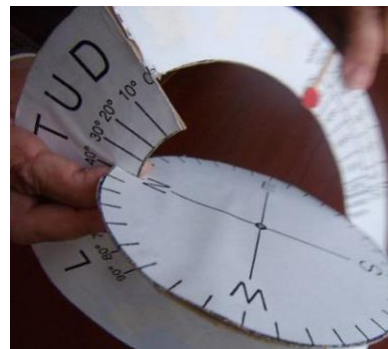
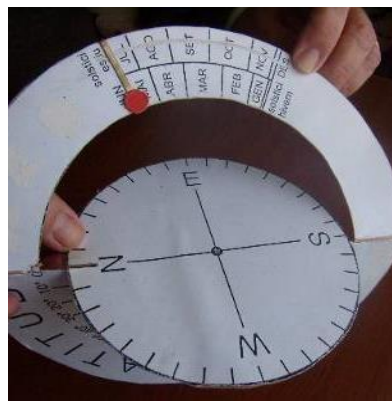


Fig. 17a et 17b: coucher du soleil à Grenade (Espagne) 41° N. l'angle de la trajectoire du soleil avec l'horizon est 90 - la latitude (Photo, Rosa M. Rose, Spain).



Fiig.18a et 18b, lever du soleil à Ladrilleros (Colombia), l'angle de la trajectoire du soleil par rapport à l'horizon est la colatitude (90° - $4^\circ = 86^\circ$)

- ***La hauteur de la trajectoire maximale du soleil dépend des saisons***

En utilisant le modèle universel de l'horizon de votre ville (sélectionnez la latitude de votre ville), il est facile de vérifier que l'altitude (hauteur) du Soleil au-dessus de l'horizon change en fonction de la saison. Par exemple, le premier jour du printemps, la déclinaison du soleil est de 0° . Nous pouvons mettre le soleil (trombone par exemple) le 21 mars. Ensuite, nous pouvons faire le mouvement du soleil long de l'équateur de l'est vers l'ouest. Nous pouvons voir que la trajectoire du Soleil est à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon.

À la même latitude, nous répétons l'expérience pour différents jours. Lorsque nous plaçons le Soleil le long de l'équateur le 1er jour de l'été, le 21 juin (déclinaison solaire $+23^\circ 5'$), nous observons que la trajectoire du Soleil est plus élevée que lorsque le soleil est au 1er jour du printemps. Enfin, nous répétons l'expérience pour le 1er jour d'hiver, le 21 décembre (déclinaison solaire $-23^\circ 5'$). Nous pouvons voir que dans ce cas, la hauteur maximale du soleil est plus basse par rapport à l'horizon. Le 1er jour de l'automne, la déclinaison est de 0° et la trajectoire du Soleil suit l'équateur de la même manière qu'au 1er jour du printemps.

Bien sûr, si nous modifions la latitude, la hauteur maximale du Soleil change, mais la plus haute correspond toujours au premier jour de l'été et la plus basse au premier jour de l'hiver (figures 19a et 19b).



Fig. 19a et 19b: la trajectoire du soleil en été et en hiver en Norvège. Il est clair que le soleil est beaucoup plus élevé par rapport à l'horizon en été qu'en hiver. C'est pourquoi il y a beaucoup plus d'heures d'ensoleillement en été.

1b) l'hémisphère sud

En utilisant le modèle universel de l'horizon de votre ville (sélectionnez la latitude de votre ville), il est facile de vérifier que l'altitude (la hauteur) du Soleil au-dessus de l'horizon change en fonction des saisons. Par exemple, le premier jour du printemps, la déclinaison du soleil est 0° . Nous pouvons mettre le soleil à la date 23 septembre. Ensuite, nous pouvons faire le déplacement du soleil le long de l'équateur de l'est vers l'ouest. Nous pouvons voir que la trajectoire du Soleil est à une certaine hauteur au-dessus de l'horizon.

À la même latitude, nous pouvons répéter l'expérience pour différentes dates. Le 1er jour de l'été, le 21 décembre (déclinaison solaire $-23^\circ.5$), lorsque nous déplaçons le soleil tout au long de l'équateur, nous observons que la trajectoire du soleil est plus élevée que le 1er jour du printemps. Enfin, nous pouvons répéter l'expérience à la même latitude pour le 1er jour d'hiver, le 21 juin (déclinaison solaire $+ 23^\circ.5$). Nous pouvons voir que dans ce cas, la trajectoire du soleil est plus basse par rapport à l'horizon. Le 1er jour de l'automne, la déclinaison est de 0° et la trajectoire du Soleil suit l'équateur de la même manière que le 1er jour du printemps.

Bien sûr, si nous modifions la latitude, la hauteur de la trajectoire du soleil change, mais même dans ce cas, la trajectoire la plus haute par rapport à l'horizon est toujours le premier jour de l'été, la plus basse est le premier jour de l'hiver.

Remarque:

En été, lorsque le soleil est plus haut, la lumière du soleil frappe la Terre selon un angle plus perpendiculaire à l'horizon. De ce fait, le rayonnement est concentré dans une zone plus petite et la température s'élève. Toujours en été, le nombre d'heures d'ensoleillement est plus important qu'en hiver. Ce sont les facteurs astronomiques qui augmentent également les températures en été.

• Le soleil se lève et se couche chaque jour dans un endroit différent

Dans les expériences précédentes, si nous avons concentré notre attention sur le lieu où le Soleil se lève et se couche, nous aurions observé que ce n'était pas le même endroit tous les jours. En particulier, la distance à l'horizon entre le lever du soleil (ou le coucher du soleil) au premier jour de deux saisons consécutives augmente avec la latitude croissante (figures 20a, 20b et 20c).



Fig. 20a, 20b et 20c: couchers de soleil à Riga 57° (Lettonie), Barcelone 41° (Espagne) et Popayán 2° (Colombie) le premier jour de chaque saison (gauche / hiver, centre / printemps ou automne, droite / été). Les couchers de soleil centraux sur les deux photos sont sur la même ligne. Il est facile d'observer que les couchers de soleil d'été et d'hiver à Riga (latitude plus élevée) sont beaucoup plus séparés qu'à Barcelone et plus que Popayán (Photos: Ilgonis Vilks, Lettonie, Rosa M. Ros, Espagne et Juan Carlos Martínez, Colombie).



Fig. 21a: Levers de soleil le 1er jour du printemps ou de l'automne, Fig. 21b: Lever de soleil le premier jour d'été, Fig. 21c: Lever de soleil le premier jour d'hiver

C'est très simple à simuler en utilisant le modèle universel de l'horizon. Marquez simplement la position du soleil à chaque saison pour deux latitudes différentes, par exemple 60°, 40° et 0° (figures 21a, 21b et 21c).

Les illustrations des figures 20a, 20b et 20c concernent l'hémisphère nord, mais les mêmes concepts valent pour l'hémisphère sud (figures 22a, 22b et 22c). La seule différence est le calendrier des saisons.



Fig. 22a, 22b et 22c: couchers de soleil à Popayán 2° (Colombie), La Paz -19° (Bolivie) et Esquel -43° (Argentine) le premier jour de chaque saison (gauche / été, centre / printemps et automne, droite / hiver). Les couchers de soleil centraux sur les deux photos sont sur la même ligne, il est facile d'observer que les couchers de soleil d'été et d'hiver à Esquel (latitude plus élevée) sont beaucoup plus séparés qu'à La Paz. (Photos: Juan Carlos Martínez, Colombie, Gonzalo Pereira et Nestor Camino, Argentine).

Remarques:

Le soleil ne se lève pas exactement à l'est et ne se couche pas exactement à l'ouest. Bien que ce soit une idée généralement acceptée, ce n'est pas vraiment vrai. Il ne se produit que deux jours par an: le 1er jour du printemps et le 1er jour de l'automne à toutes les latitudes.

Un autre fait intéressant est que le Soleil traverse le méridien (la ligne imaginaire qui relie le pôle Nord, le zénith et le pôle Sud) à midi à toutes les latitudes (à l'heure solaire). Cela peut se servir pour l'orientation.

2. - Régions polaires: SOLEIL DE MINUIT

- été polaire et hiver polaire

Si on introduit la latitude polaire dans le modèle universel de l'horizon (90° N ou 90° S selon le pôle considéré), il y a trois possibilités. Si la déclinaison du soleil est de 0°, le soleil se déplace le long de l'horizon, qui est également l'équateur.

Si la déclinaison coïncide avec le 1er jour de l'été, le Soleil se déplace parallèlement à l'horizon. En fait, le Soleil se déplace toujours parallèlement à l'horizon du deuxième jour du printemps jusqu'au dernier jour de l'été. Cela signifie 6 mois du soleil

Le 1er jour de l'automne, le soleil se déplace à nouveau sur l'horizon. Mais à partir du deuxième jour de l'automne jusqu'au dernier jour de l'hiver, le soleil se déplace parallèlement à l'horizon mais en dessous. Cela signifie 6 mois de nuit.

Bien sûr, l'exemple ci-dessus est la situation la plus extrême. Il y a des latitudes septentrionales où le chemin du soleil n'est pas parallèle à l'horizon. A ces latitudes, il n'y a toujours pas de lever ou de coucher de soleil car la latitude locale est trop élevée. Dans ces cas, nous pouvons observer ce que l'on appelle le "soleil de minuit".

• **Soleil de Minuit**

Si l'on choisit sur le démonstrateur la latitude 70° N (ou 70° S selon l'hémisphère considéré), on peut simuler le concept du soleil de minuit. Si nous plaçons le Soleil le premier jour de l'été, le 21 juin, dans l'hémisphère nord (ou le 21 décembre dans l'hémisphère sud), nous pouvons voir que le soleil ne se lève pas et ne se couche pas ce jour-là. La trajectoire du Soleil est tangente à l'horizon, mais jamais en dessous. Ce phénomène est connu sous le nom de soleil de minuit, car le soleil est déjà au-dessus de l'horizon à minuit (figures 22a et 22b).



Fig. 23a et 23b: la trajectoire du soleil de minuit en Laponie (Finlande). Le soleil s'approche de l'horizon mais ne se couche pas. Au contraire, il recommence à grimper (Photo: Sakari Ekko).

Aux pôles (90° N ou 90° S), le Soleil apparaît à l'horizon pendant six mois et demi au-dessous de l'horizon. Il est très facile d'illustrer cette situation en utilisant modèle universel de l'horizon (figures 24a et 24b).

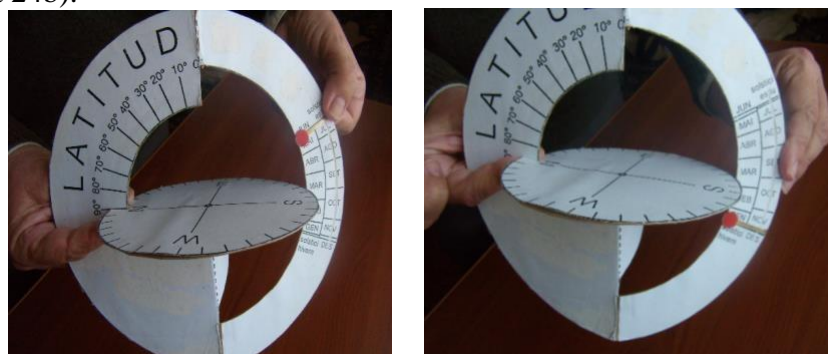


Fig. 24a et 24b: une simulation par modèle universel de l'horizon montre le soleil à l'horizon pendant six mois et demi au-dessous de l'horizon

3. - Les zones équatoriales: LE SOLEIL AU ZENITH

• Le soleil au zénith

Dans les zones équatoriales, les quatre saisons ne sont pas très distinctes. Le chemin du Soleil est pratiquement perpendiculaire à l'horizon et la hauteur solaire est pratiquement la même toute l'année. La durée des jours est également très similaire (figures 25a, 25b et 25c).



Fig. 25a, 25b et 25c: Le lever du soleil le premier jour de chaque saison: gauche - 1er jour d'été, centre - 1er jour de printemps ou d'automne et droite - 1er jour d'hiver (dans l'hémisphère nord). Sur l'équateur, le chemin du soleil est perpendiculaire à l'horizon. Le soleil se lève presque au même point chaque saison. Les distances angulaires entre les levers de soleil ne sont que de $23,5^\circ$ (l'obliquité éclipstique). Dans les latitudes plus extrêmes, le trajet du soleil est plus incliné et les distances entre les trois points de lever du soleil augmentent (figures 20a, 20b, 20c, 22a, 22b et 22c).

De plus, dans les pays tropicaux, il y a des journées spéciales: les jours où le soleil passe au zénith. Ces jours-ci, la lumière du soleil frappe la surface de la Terre à l'équateur perpendiculairement. De ce fait, la température est plus élevée et les ombres des gens disparaissent sous leurs chaussures (figure 26a). Dans certaines cultures anciennes, ces jours étaient considérés comme très spéciaux car le phénomène était très facile à observer. C'est toujours le cas aujourd'hui. En fait, il y a deux jours par an lorsque le Soleil est au zénith pour ceux qui habitent entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne. Nous pouvons illustrer ce phénomène en utilisant le démonstrateur. Il est également possible de calculer approximativement les dates, qui dépendent de la latitude (figure 26b).

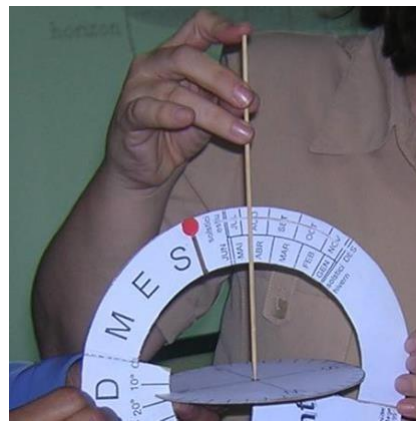


Fig. 26a: Ombre courte (le soleil est presque au zénith dans un endroit proche de l'équateur). Fig. 26b: Simuler le Soleil au Zénith du Honduras (latitude 15° N).

Par exemple (figure 26b), si nous choisissons une latitude de 15° N, en utilisant le modèle universel de l'horizon, nous pouvons calculer approximativement les jours où le soleil est au zénith à midi. Il suffit de tenir un bâton perpendiculaire au disque d'horizon dans la figura 26b et on voit que ces jours sont fin avril et mi-août.

XXL modèle universel de l'horizon

Naturellement, le modèle universel peut être réalisé avec d'autres matériaux, par exemple du bois (figure 27a). Dans ce cas, on peut se servir d'une source de lumière pour montrer la position du soleil. Avec une caméra utilisant un temps de pose long, il est possible de visualiser le trajet du soleil (figure 27b).



Fig. 27a: Modèle universel de l'horizon en bois XXL. Fig. 27b: modèle stellaire de l'horizon en bois . Fig. 27c: Avec une caméra, il est possible de photographier la trajectoire solaire en utilisant un temps de pose important. (Photos: Sakari Ekko).

Démonstrateur pour montrer la terre parallèle.

Il est possible d'introduire une balle de ping-pong dans le démonstrateur et ainsi pouvoir donner des explications simples du mouvement annuel du Soleil comme cela est fait avec le modèle de la Terre parallèle. Pour ce faire, nous utiliserons une balle semblable à celles de ping-pong à la place du cercle d'horizon et nous modifierons la pièce principale en introduisant deux supports pour maintenir tendu un élastique qui retient la balle centrée (figure 28).

Nous percerons la balle de ping-pong, ou similaire, diamétralement comme l'axe de rotation et nous la fixerons à la pièce principale comme vous pouvez le voir sur la figure 30.

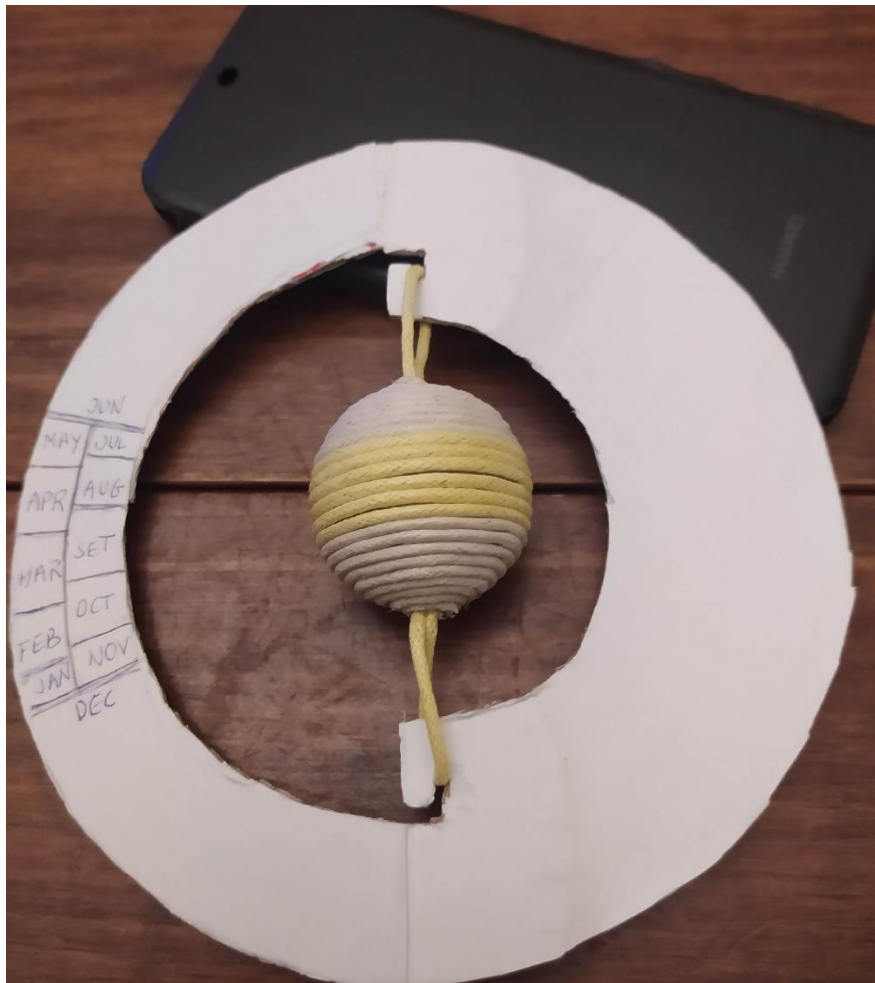


Fig. 28 : Démonstrateur avec une balle pour simuler une terre parallèle.

En même temps, le cercle des latitudes est supprimé car il manque d'intérêt à cette occasion puisque toute la sphère terrestre simulée est utilisée avec la balle de ping-pong (figure 29). On placera ensuite une lampe de poche ou la lampe de poche d'un mobile dans le mois correspondant à la situation du Soleil (où la déclinaison du Soleil est indiquée). Lorsque nous travaillons dans l'hémisphère Sud, cette pièce est analogue avec les mois disposés à l'envers (figure 30).

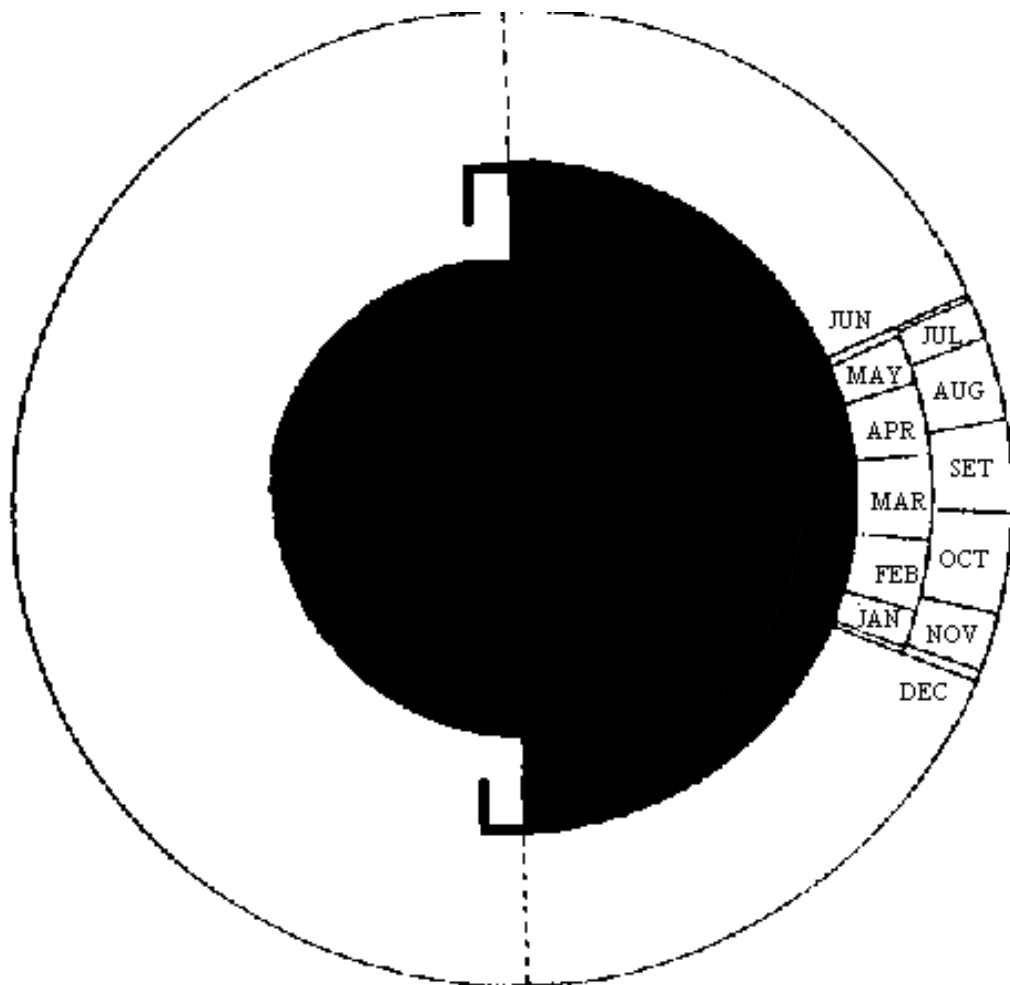


Fig. 29 : Pièce unique du démonstrateur où est fixée la balle de ping-pong, pour l'hémisphère Nord. Il est nécessaire de coller cette photocopie sur un carton légèrement épais pour avoir la force de tenir la balle.

En plaçant une lanterne à la position de l'équinoxe d'été, il a été possible d'observer que la zone du pôle nord est éclairée et que celle du pôle sud ne l'est pas (figure 31). En plaçant la lanterne aux équinoxes, la ligne lumière/ombre passe exactement par les pôles nord et sud (figure 32). Enfin, en plaçant la lanterne au solstice d'hiver, on observe la zone éclairée du pôle sud et la zone sombre du pôle nord (figure 33).

En fait, ce petit simulateur vous permet de dessiner les cercles polaires de l'Arctique et de l'Antarctique comme des cercles générés par les bords des zones d'ombre et de lumière.

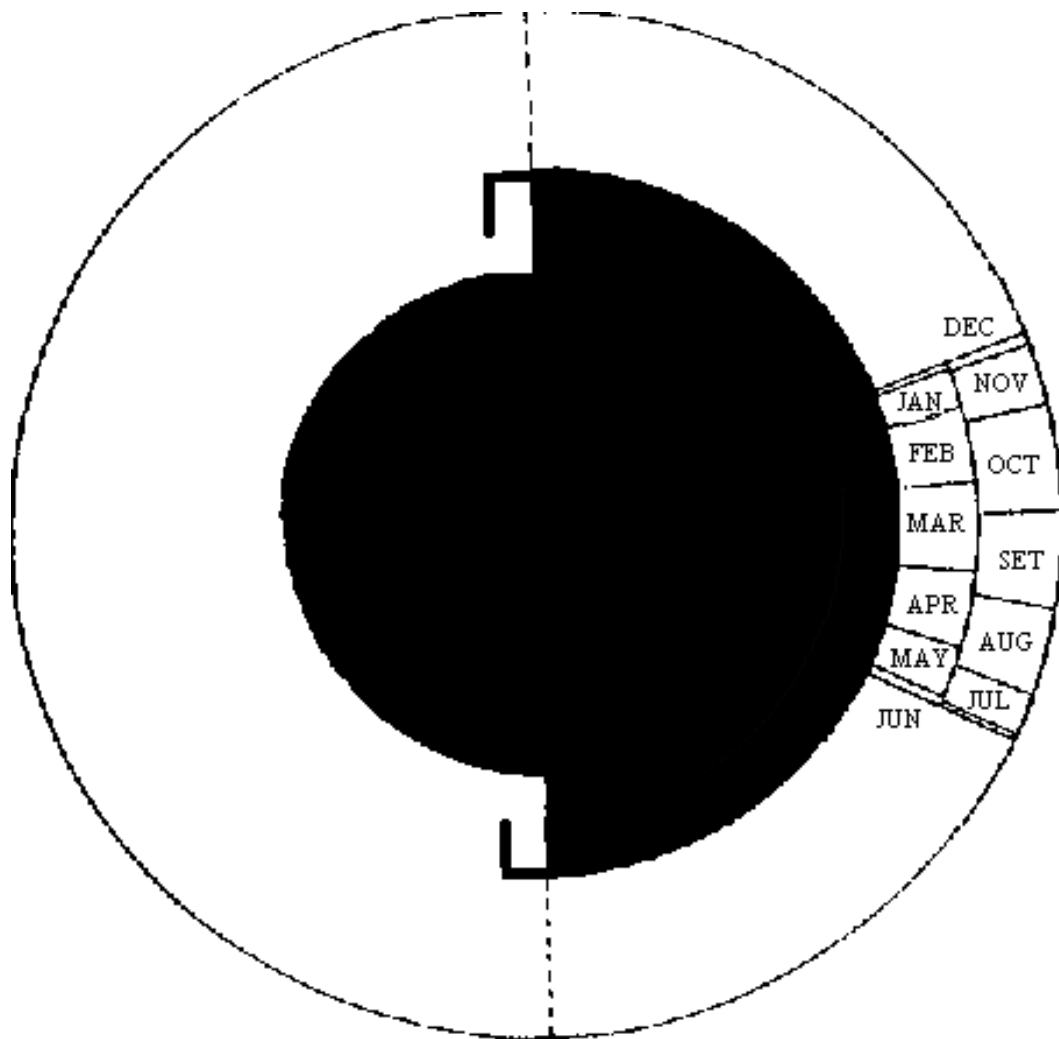


Fig. 30 : Pièce unique du simulateur où est fixée la balle de ping-pong, pour l'hémisphère sud. Il est nécessaire de coller cette photocopie sur un carton un peu épais pour avoir la force de maintenir la balle.

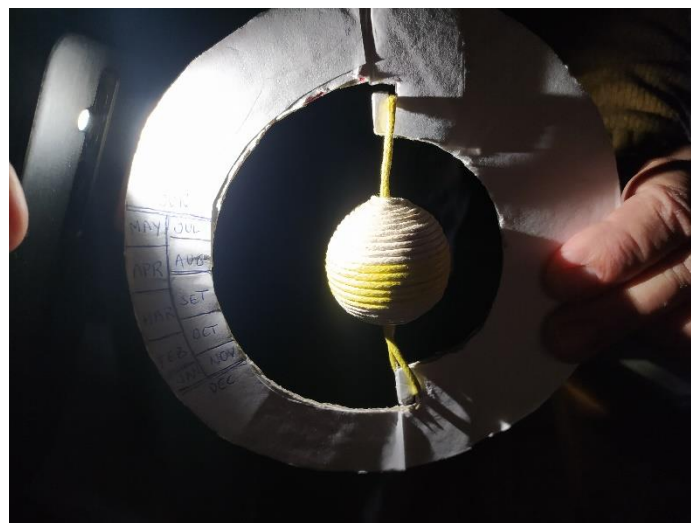


Fig. 31 : L'été dans l'hémisphère nord et l'hiver dans l'hémisphère sud.

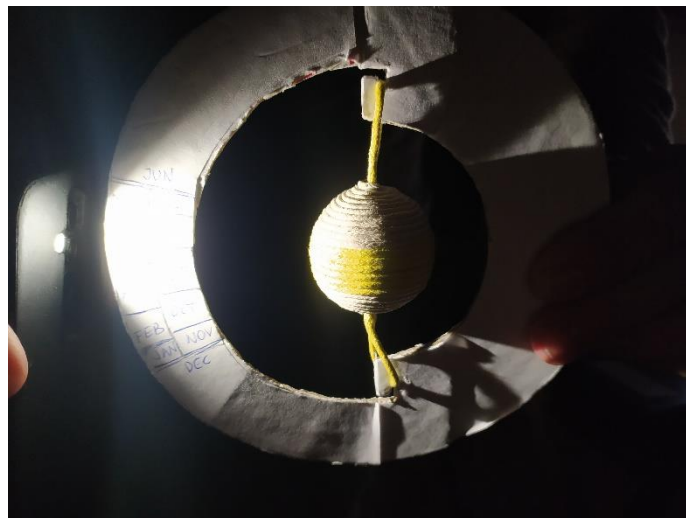


Fig. 32: Les équinoxes dans les deux hémisphères

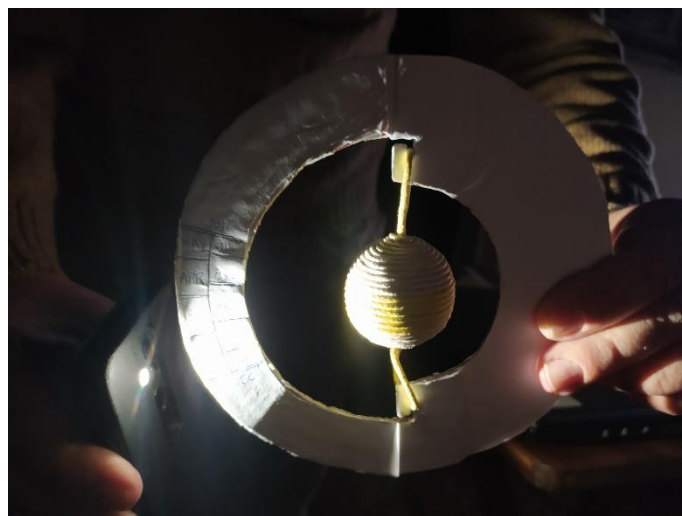


Fig. 33: L'hiver dans l'hémisphère nord et l'été dans l'hémisphère sud.

Modèle Universel de l'Horizon lunaire: pourquoi la Lune sourit à certains endroits?

En enseignant aux élèves la Lune, nous aimerions qu'ils comprennent pourquoi la lune a des phases. En outre, les élèves doivent comprendre comment et pourquoi les éclipses se produisent. Les phases de la lune sont très spectaculaires et il est facile de les expliquer à l'aide d'une balle et une source de lumière.

Des modèles tels que ceux de la figure 34 donnent une image de la lune en croissant et des changements séquentiels. Il y a une règle de base qui dit que le croissant de lune est un "C" et qu'il décline en "D". Cela est vrai pour les habitants de l'hémisphère sud, mais il est inutile dans l'hémisphère nord où l'on dit que Lune est un "menteur".

Notre modèle simulera les phases de la Lune (figure 34) et montrera pourquoi la lune ressemble à un "C" ou à un "D" selon la phase. Plusieurs fois, la Lune est observée à l'horizon, comme le montre la figure 29. Cependant, selon les pays, il est possible d'observer la Lune comme un "C" incliné, un "D" incliné (figure 30a) ou dans d'autres cas. Comme un "U" (appelé une "lune souriante"; figure 36b). Comment pouvons-nous expliquer cela? Nous utiliserons le modèle de l'horizon lunaire pour comprendre l'apparence variable du quartier de la Lune à différentes latitudes.



Fig.34: les phases de la Lune



Fig 35. Les phases de la Lune observées depuis l'horizon

En étudiant les mouvements de la Lune, on doit tenir compte de sa position par rapport au Soleil (qui est la cause de ses phases) et sa déclinaison (car elle change également chaque jour et plus rapidement que le Soleil). Pour cela, on construit un modèle qui permette aux élèves de changer facilement la position de la lune par rapport au soleil et à une déclinaison qui varie considérablement en un mois. En effet, vue de la Terre par rapport aux étoiles, la Lune décrit une trajectoire en un mois assez proche de l'écliptique, (l'orbite de la lune est inclinée de 5° par rapport à l'écliptique).

La Lune est dans la direction du Soleil lorsqu'il y a une "Nouvelle Lune". Quand il y a une "pleine lune", elle se trouve à un point opposé à l'écliptique et sa déclinaison est opposée à celle du soleil (à moins de 5 degrés nord ou sud). Par exemple, au solstice de juin, la "pleine lune" se trouve à la position du soleil au solstice de décembre; sa déclinaison est négative (entre -18° et -29°). Le mouvement diurne de la pleine lune en juin est similaire à celui du Soleil en décembre.

Si l'on considère le "D" en forme de croissant dans l'hémisphère nord (et "C" dans le Sud), on sait que la Lune est à 90° par rapport au Soleil. Cependant, il est "loin" du soleil sur la trajectoire de l'écliptique (environ trois mois de différence). En juin, le croissant de lune aura une déclinaison proche de la déclinaison du soleil en septembre (0°). Au mois de septembre, il aura une déclinaison proche de celle du Soleil en décembre ($-23,5^\circ$), etc ...

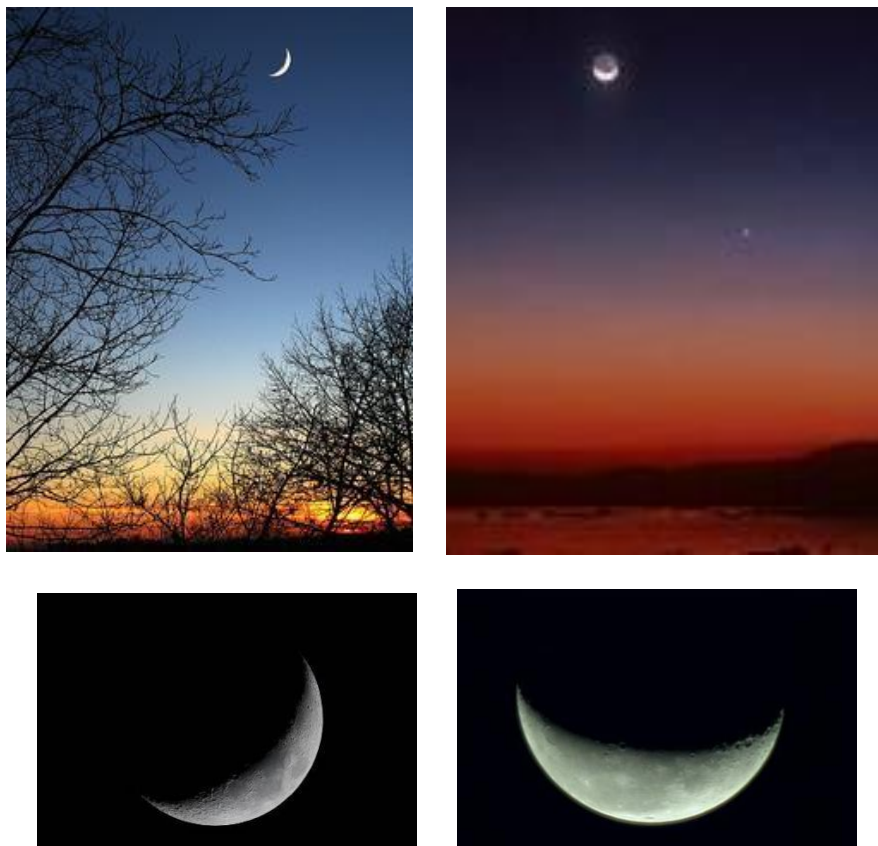


Fig.36a: croissant de la lune oblique, fig. 36b : la lune souriante forme U

Le modèle de l'horizon lunaire est construit de la même manière que celui du Soleil. Comme précédemment, nous avons besoin d'un modèle pour simuler les observations de l'hémisphère nord et un autre pour l'hémisphère sud (figures 13 et 14 pour l'hémisphère nord et 14 et 15 pour l'hémisphère sud). C'est aussi une bonne idée de construire un modèle deux fois plus grand pour les explications de l'enseignant.

Pour placer la Lune dans le modèle, découpez la figure 37b (quart de lune) et collez deux morceaux de ruban adhésif sur et sous la coupe de la Lune (demi-point bleu). Placez cette bande transparente sur la zone des mois (figures 13 ou 15 selon l'hémisphère afin de faciliter le déplacement de cette bande de haut en bas dans cette zone et de la situer sur le mois de son choix.



Fig.37a: utilisation du modèle

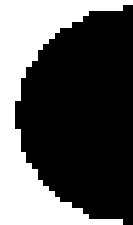


Fig.37b : la lune en quartier

Utilisation du modèle de l'horizon lunaire

En sélectionnant la latitude, nous effectuons un voyage imaginaire sur la surface de la Terre.

À l'aide de votre main gauche, tenez la pièce principale du modèle (figures 38a et 38b) à côté de la zone vierge (sous le quadrant de latitude). Sélectionnez la latitude et déplacez le disque d'horizon jusqu'à ce qu'il affiche la latitude choisie. Choisissez le jour pour lequel vous souhaitez simuler le mouvement d'une lune décroissante. Ajoutez trois mois à cette valeur et mettez la lune dans la quatrième phase (figure 37b). Le mois auquel la lune fait face est l'endroit où le soleil sera dans trois mois. Utilisez votre main droite pour déplacer le disque qui contient la lune d'est en ouest.

Avec le simulateur pour l'hémisphère nord, vous pouvez voir l'apparence du quatrième quart de lune qui change avec la latitude et la période de l'année. Du point de vue de la poupée, la lune décroissante du quatrième quart peut apparaître comme un "C" ou un "U" à l'horizon.

- Si nous choisissons la latitude autour de 70° N ou 70° S, nous pouvons voir le quart de lune comme un «C» se déplaçant d'est en ouest. La période de l'année n'a pas d'importance. Pour toutes les saisons, la Lune ressemble à un "C" (figure 38a).

- Si la latitude est de 20° N ou 20° S, l'observateur est proche des tropiques et on peut voir le quartier de la Lune souriant comme un «U». La Lune se déplace suivant une ligne plus perpendiculaire à l'horizon que dans l'exemple précédent (figure 38b). La forme "U" ne change pas avec le mois. Cela est valable pour toute l'année.
- Si la latitude est 90° N ou 90° S, l'observateur se trouve aux pôles et, selon le jour considéré:
 - Nous pouvons voir le quart de lune comme un "C" se déplaçant sur un chemin parallèle à l'horizon.
 - Nous ne pouvons pas le voir, car sa trajectoire est en dessous de l'horizon.
- Si la latitude est de 0° , l'observateur est sur l'équateur et nous pouvons voir le quart de lune souriant comme un «U». La Lune se lève et se couche perpendiculairement à l'horizon. Il se cachera (à midi) en forme de "U" et reviendra comme ceci: "∩"

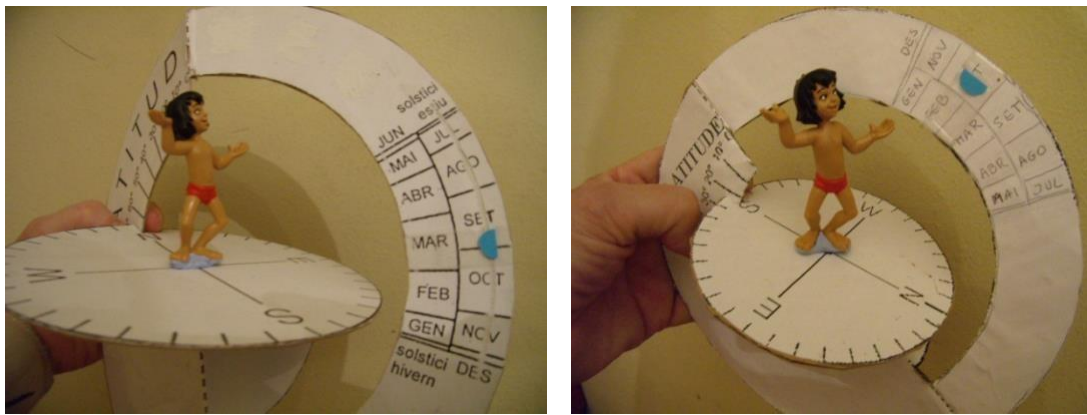


Fig.38a: modèle pour la latitude 70° N, Fig.38b: la latitude 20° S.

“Acknowledgement: The authors wish to thank Joseph Snider for his solar device produced in 1992 which inspired her to produce other demonstrators.”

Pour les autres observateurs qui vivent à des latitudes intermédiaires, le quart de lune se lève et se couche plus ou moins incliné et présente une forme intermédiaire entre un "C" et un "U".

Les commentaires ci-dessus s'appliquent de la même manière pour la lune en forme de "D". Encore une fois, nous devons nous rappeler de corriger le jour (dans ce cas, nous devons décaler trois mois) lorsque nous mettrons la position du soleil.

- Si nous introduisons une latitude de -70° (ou 70° sud), nous pouvons voir la lune décroissante comme un "D" qui se déplace d'est en ouest. Cela ne dépend pas de la période de l'année. En toutes saisons, la lune apparaît comme un "D" (figure 38a).
- Si la latitude est de -20° (figure 38b), l'observateur se trouve sous les tropiques et voit la Lune souriante comme un "U", peut-être légèrement inclinée. La Lune se déplace dans une trajectoire perpendiculaire à l'horizon, contrairement à l'exemple précédent (figure 38b). La forme de "U" ne change pas en fonction du mois.

- Si la latitude est de -90° , l'observateur est au pôle Sud et pourra, selon la date:
 - Voir la lune comme un "D" qui se déplace dans un chemin parallèle à l'horizon.
 - Ne pas voir la Lune, car son chemin est sous l'horizon.
- À 0° de latitude, comme dans le simulateur de l'hémisphère nord, l'observateur se trouve à l'équateur et nous pouvons voir le sourire de la lune comme un «U». La lune se lève perpendiculairement à l'horizon et se cache (vers midi) dans un "U" et réapparaît comme "∩".

Pour les autres observateurs qui vivent dans les latitudes moyennes, la phase de la Lune se lève et se couche dans une position intermédiaire entre un «D» et un «U» et est plus ou moins inclinée selon la latitude du lieu.

Ces commentaires peuvent être appliqués de la même manière que lorsque la Lune apparaît comme un "C", soustrayant à nouveau trois mois de la position du Soleil.

"Remerciements: les auteurs souhaitent remercier Joseph Snider pour son dispositif solaire produit en 1992 qui l'a inspirée à produire d'autres démonstrateurs."

Bibliographie

- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5. Orsay, France, 2001.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., *Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere*, Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.
- Snider, J.L., *The Universe at Your Fingertips*, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Warland, W., *Solving Problems with Solar Motion Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.