

Le modèle de l'horizon local et les cadrans solaires

Rosa M. Ros

Union Astronomique Internationale, Université Polytechnique de Catalogne
(Barcelone, Espagne)

Résumé

L'étude de l'horizon est cruciale pour faciliter les premières observations pour les élèves. **C'est un** modèle simple qui permet de faciliter l'étude et la compréhension des notions de base de l'astronomie. Le modèle peut servir également comme un modèle simple d'une Horloge équatoriale.

Objectifs

- Comprendre le mouvement diurne
- Comprendre le mouvement de la voûte céleste
- Comprendre la construction d'un modèle simple d'un cadran solaire

Les mouvements de la Terre

Il est connu aujourd'hui que la terre tourne sur elle-même autour de son axe ce qui engendre le jour et la nuit. L'axe de la rotation de la terre est connu par les anciens astronomes comme l'axe de la Terre, le ciel semble aussi tourner aussi sur l'axe de la terre, ce mouvement engendre aussi le ciel du jour et le ciel nocturne. La terre tourne autour du soleil selon une orbite elliptique, dont le soleil occupe l'un des deux foyers de l'ellipse.

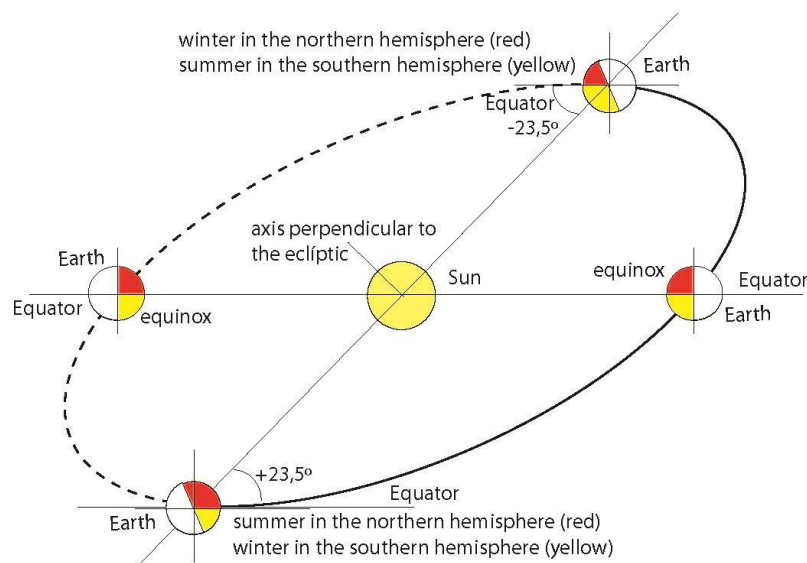


Fig.1: schéma de l'orbite de la terre autour du soleil, l'angle entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique est 23.5°. L'angle entre l'axe de la rotation de la terre et vertical est aussi 23.5°

La Terre prend une année pour faire un tour complet autour du soleil dans un plan qu'on appelle l'écliptique, le plan de l'écliptique n'est pas perpendiculaire à l'axe de la rotation de la Terre. L'angle entre l'axe de la rotation de la terre et la verticale (l'axe perpendiculaire au plan de l'écliptique) est 23.5° . En fait c'est le même angle qui existe entre le plan de l'équateur et le plan de l'écliptique (figure 1). Cette inclinaison est l'origine des saisons. Pour observer ce phénomène on va construire un petit modèle (figure 2)

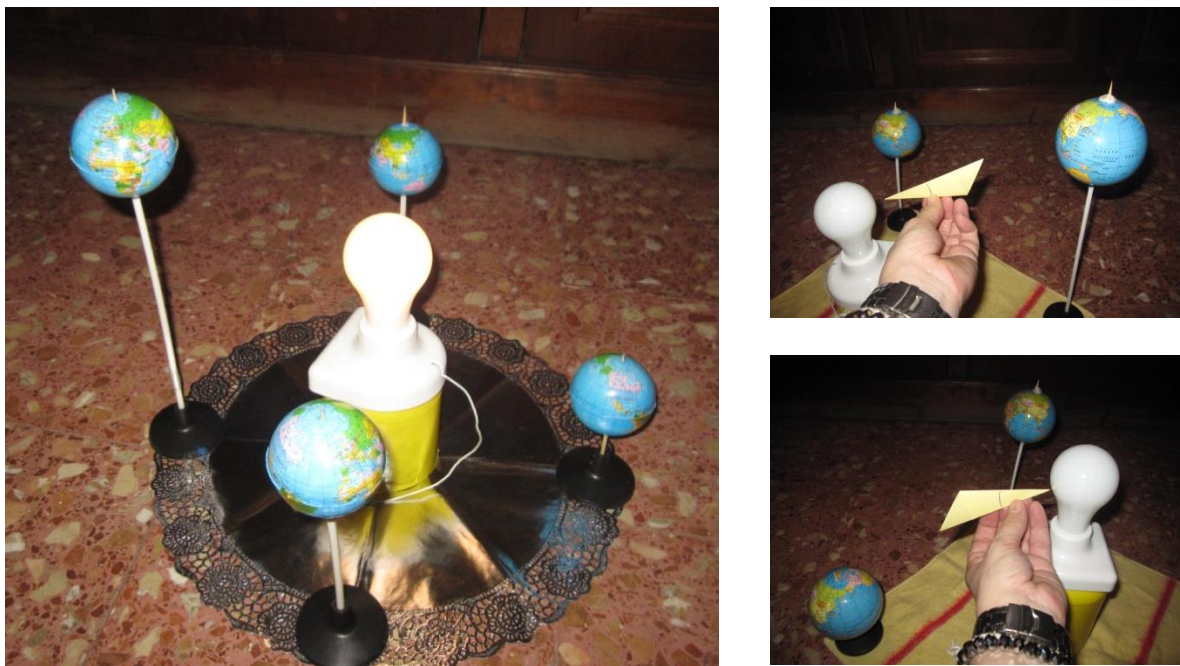


Fig.2a, 2b et 2c: distribution de 4 positions du globe terrestre autour d'une lampe qui représente le soleil, l'angle entre la ligne qui joint la terre et le centre du soleil, et le plan de l'équateur, est 23° .

Il est nécessaire de réaliser l'expérience dans une salle obscure (il est important de prendre en considération les différentes hauteurs de la lampe et les modèles du globe terrestre).

Il est évident que l'hémisphère nord reçoit plus de lumière lorsque la terre se trouve en position A que lorsque elle est en position C (figure 3). Tandis que la zone éclairée dans l'hémisphère sud est plus importante en position C qu'en A.

Aux points B et D, les deux hémisphères sont éclairés de la même façon, ils correspondent à l'équinoxe du printemps et l'équinoxe de l'automne.

Si à la fois on a une grande surface du globe est éclairée et une autre moins éclairée on dit que c'est l'été quand la surface éclairée est grande et c'est l'hiver quand la surface éclairée est petite.

Quand la terre est à la position C, c'est l'hiver dans l'hémisphère nord et l'été dans l'hémisphère sud.



Fig. 3: modèle qui explique le phénomène des saisons. En A c'est l'été dans l'hémisphère nord et l'hiver dans l'hémisphère Sud. Quand la terre est à la position C, c'est l'hiver dans l'hémisphère nord et l'été dans l'hémisphère sud.

Ce modèle permet aux élèves d'imaginer que la hauteur du soleil change en fonction des saisons. Par exemple dans l'hémisphère nord, si on est à la position A, une personne observe le soleil au-dessus de l'équateur céleste de 23.5° (figure 4a).

Par contre si on est dans l'hémisphère nord et à la position C, on observe le soleil au-dessous de l'équateur céleste de -23.5° (figure 4b). À la position B et D on observe exactement le soleil à l'équateur céleste.



Fig. 4a. à la position A c'est l'été dans l'hémisphère Nord, le soleil est à 23.5° au-dessus de l'équateur, par contre dans c'est l'hiver dans l'hémisphère sud..



Fig. 4b. à la position C, c'est l'hiver dans l'hémisphère nord et l'été dans l'hémisphère sud, par contre c'est l'été dans l'hémisphère sud.

La Terre parallèle

Observer la terre depuis l'espace n'est pas accessible que pour les astronautes depuis un vaisseau spatial. Pour voir la terre depuis l'espace on peut faire une simulation à l'aide d'un globe éclairé de la même manière que la terre c'est-à-dire le soleil est la source de lumière.

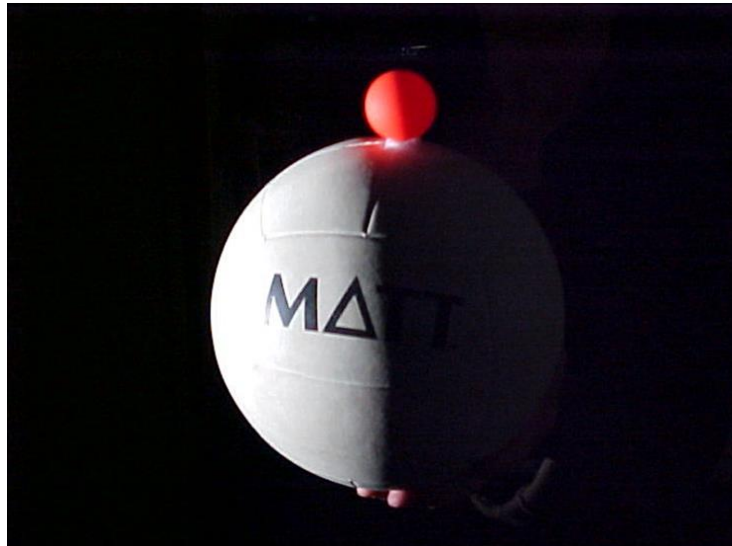


Fig. 5: un projecteur éclaire deux sphères de la même façon, les deux sphères présentent les mêmes zones éclairées et les mêmes zones d'ombre

Si un projecteur éclaire deux sphères de tailles différentes, les zones éclairées et les zones d'ombres des deux sphères sont les mêmes. Si on oriente correctement le globe on aura le même angle de vue c'est comme un astronaute qui observe la terre depuis l'ISS.

À l'aide d'un modèle de globe terrestre posé sur un verre vide de telle façon que l'axe du globe de la maquette est parallèle à l'axe de la rotation de la Terre tel que l'on peut la déduire de la boussole. Par ailleurs, la ville où l'on habite doit être visible en haut du globe et l'on peut facilement déduire que quel que soit notre déplacement sur le globe on reste toujours en position horizontale, c'est à dire au sommet du globe.

À l'aide d'une boussole on peut déterminer la direction du nord pour positionner l'axe du globe et positionner notre place sur le globe (figure 6a). Pour simplifier les choses on peut illustrer notre position à l'aide d'un modèle d'un personnage (figure 6b).

À l'aide de cure-dents et de la pâte à modeler on peut simuler l'évolution de l'ombre d'un gnomon tout au long de la journée et observer l'effet de la rotation de la Terre sur elle-même

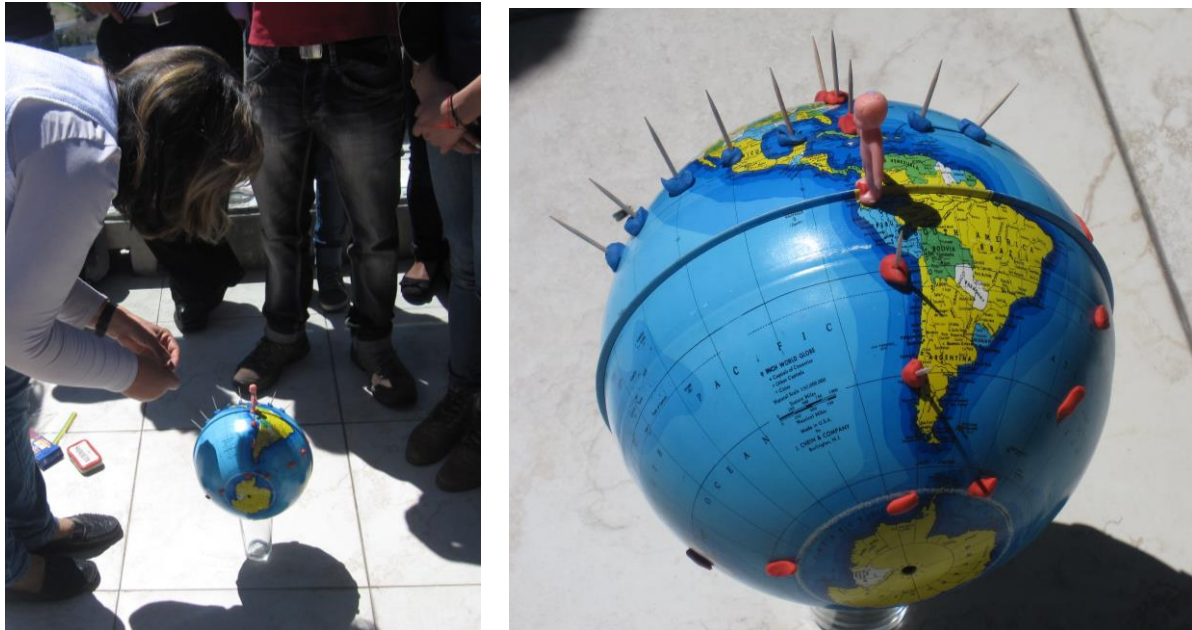


Fig.6.a: le modèle ordinaire du globe terrestre ne peut pas servir pour cette activité, il faut un modèle sans pied posé sur un verre et orienté. Fig.6.b : pour indiquer notre position on peut utiliser un modèle d'un personnage, avec des cure-dents et de la pâte à modeler on peut simuler l'évolution de l'ombre d'un gnomon.



Fig. 7.a: Dans l'hémisphère nord, le pôle nord est dans la zone ensoleillée signifie donc que c'est l'été pour cet hémisphère, on peut remarquer le phénomène du soleil de minuit. Dans l'hémisphère sud, le pôle sud est à l'ombre, c'est l'hiver dans cet hémisphère. Fig. 7.b : Le pôle nord est dans la zone de la nuit, donc c'est l'hiver de l'hémisphère nord. Dans l'hémisphère sud, le pôle sud dans la zone ensoleillé c'est l'été pour cet hémisphère.

La ligne qui sépare la zone ensoleillée et la zone sombre sur la Terre est animée d'un mouvement de translation. On peut remarquer que c'est l'été pour la figure (figure 7a) l'hiver pour la figure (figure 7b) et les équinoxes pour la figure (figure 7c). Vérifier encore une autre fois sur la (figure 3)

Il est nécessaire maintenant d'introduire un vrai modèle de l'horizon qui explique le mouvement diurne et le mouvement apparent du soleil par rapport à l'horizon. On va construire un modèle local de l'horizon.

Observacions

Les enseignants dans les différents domaines scientifiques (mécanique, électricité, chimie, biologie, etc.) ont tendance à dire qu'il n'est pas possible de travailler correctement sans laboratoire. Alors que, les professeurs d'astronomie ont tendance à être heureux parce qu'ils ont toujours un laboratoire astronomique. Toutes les institutions et les écoles ont un endroit où les élèves jouent: les terrains de jeux à l'extérieur ou la cour de l'école. Mais ce ne sont pas seulement des lieux de jeux, ils sont aussi des laboratoires astronomiques: un lieu qui offre la possibilité de réaliser des activités astronomiques pratiques. Si nous avons un laboratoire dans chaque école ou institut, il semble pertinent de l'utiliser!



Fig.8: une représentation classique de la sphère céleste

Le principal problème est que dans la cour de l'école (le laboratoire astronomique), les élèves ont du mal à faire le lien entre les explications sur la sphère céleste données à l'intérieur par le professeur et ce qu'ils peuvent observer

Avec un modèle représenté dans la (figure 8), l'élève ne trouve pas de difficultés pour comprendre les notions de méridiens, parallèles ou l'astronomie de position. A partir d'un point de vue de l'extérieur, n'est pas compliqué pour l'élève de comprendre la notion de constellation avec un modèle représenté dans (figure 9)

Les problèmes commencent quand l'élève imagine qu'il est à l'intérieur d'une sphère céleste. Il est impossible de voir l'axe de la rotation de la terre et ce n'est pas facile de trouver une référence dans le ciel (figure 10).

Il est possible de construire un modèle qui permet à l'élève de comprendre la notion de la sphère céleste de deux points de vue. Dans ce modèle les lignes imaginaires de la sphère céleste seront visibles, ce modèle permet de comprendre parfaitement la notion de l'horizon.

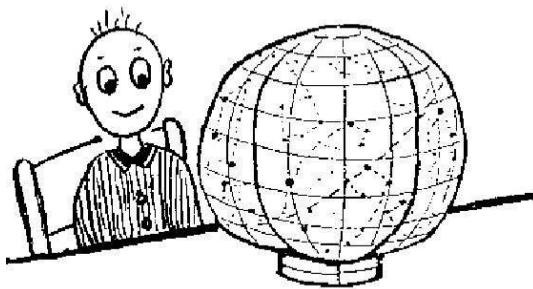


Fig.9: la sphère céleste vue depuis l'extérieur.

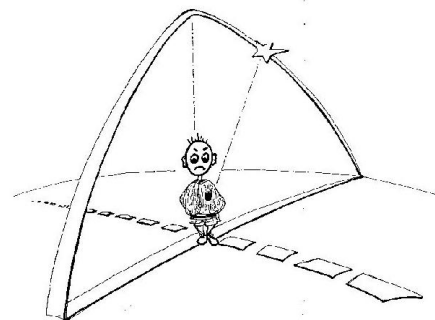


Fig.10 : la sphère céleste depuis l'intérieur

Modelo local del horizonte

Avec une caméra et un trépied nous commençons par prendre une photo de l'horizon. Lorsqu'on prend la photo, il faut qu'elle ait une zone commune avec la suivante, et ensuite on peut joindre toutes les photographies pour obtenir l'horizon comme une chaîne de photographies en continu. Quand nous avons toutes les photos, nous pouvons les relier. Placez chaque photo à côté de l'autre de façon continue, puis faites un cylindre qui sera fixé dans une base carrée en bois au même endroit que nous avons pris les photos (figure 12). Il est très important de situer toutes les photos selon l'horizon réel.

Sachant la valeur de la latitude du lieu on peut fixer l'axe de la rotation la terre dans le modèle. Comme le modèle est orienté selon l'horizon local, le prolongement montre l'axe du monde ainsi, on peut imaginer la position des points cardinaux sud (figure 13). Plus tard, nous pouvons tracer la droite Nord-Sud dans le modèle et aussi dans la cour où nous avons pris les photos (en utilisant le processus normal pour déterminer la droite nord-sud). C'est très

important car chaque fois que nous utilisons ce modèle, nous devons l'orienter, et il est très utile d'avoir cette ligne droite Nord-Sud réelle pour faciliter le travail. (Nous pouvons vérifier cette direction avec une boussole).

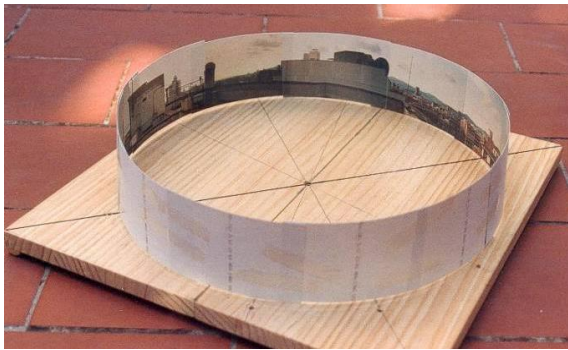


Fig. 11: l'horizon local

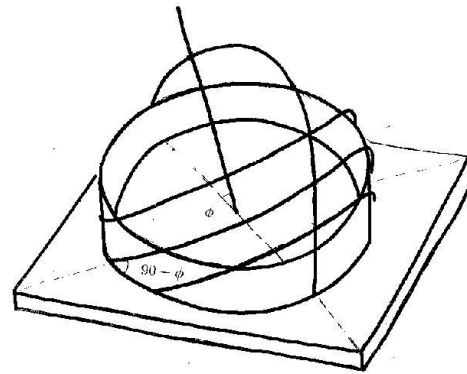


Fig. 12: modèle montrant la direction de l'axe du monde

L'étape suivante consiste à fixer le méridien local du lieu. On peut fixer un fil de fer passant par les points cardinaux nord et sud et l'axe de la rotation de la Terre. Avec ce modèle on peut imaginer le méridien du lieu dans le ciel (figure 14).

Nous simulons l'équateur avec un fil de fer perpendiculaire à l'axe de rotation terrestre; Il est fixé aux points cardinaux est et ouest (dans le plan horizontal qui est perpendiculaire à la ligne nord-sud).

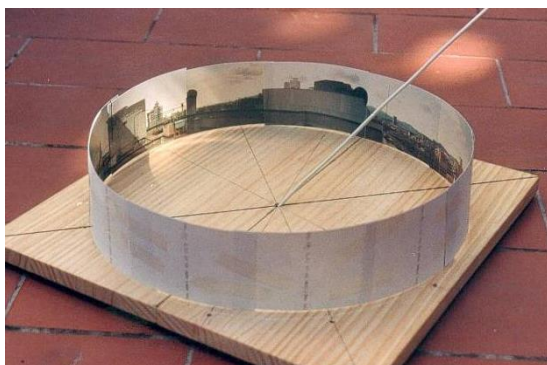


Fig. 13: modèle montrant l'horizon et l'axe des pôles

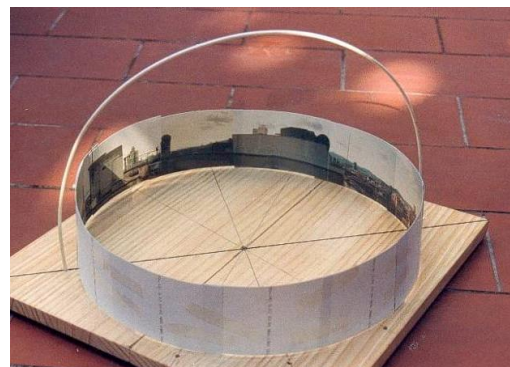


Fig. 14: modèle montrant le méridien local

Je rappelle que nous sommes en train de construire le modèle local de l'horizon. L'étape suivante consiste à fixer les trajectoires apparentes du soleil. Afin d'introduire correctement la pente de la trajectoire du soleil dans le ciel, on prendra quatre ou cinq photos lors du lever ou du coucher du soleil (prendre des photos du soleil quand il est assez haut dans le ciel est dangereux). Les photos nous donnent des références pour fixer les fils de fer qui représentent les trajectoires apparentes du soleil (figure 16).

On peut se servir des photos du lever ou du coucher des étoiles dans la direction des points cardinaux EST ET OUEST pour obtenir l'inclinaison (par rapport à l'horizon) de la trajectoire apparente des étoiles (figure 17).

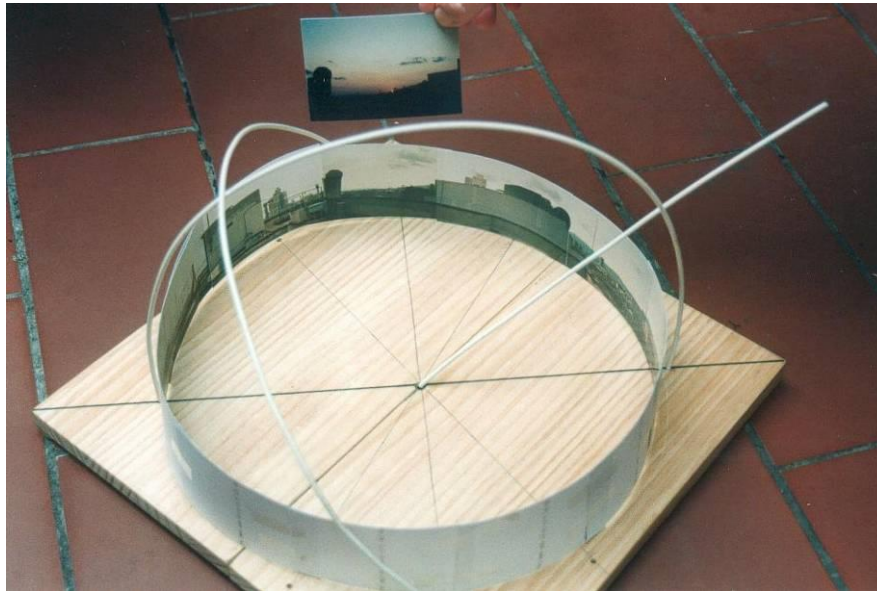


Fig. 15: le point du coucher du soleil le jour de l'équinoxe du printemps ou l'équinoxe de l'automne

Il est conseillé de prendre les photos mentionnées dans le paragraphe précédent loin de la lumière de la ville, on est obligé de se déplacer dans une zone loin de la pollution lumineuse. On est obligé d'utiliser un appareil-photo réflex mono-objectif. Il est important de fixer l'appareil photo parallèle à l'horizon. 10 mn de temps de pause est suffisant pour prendre la photo.



Fig.16: tracé du lever du soleil

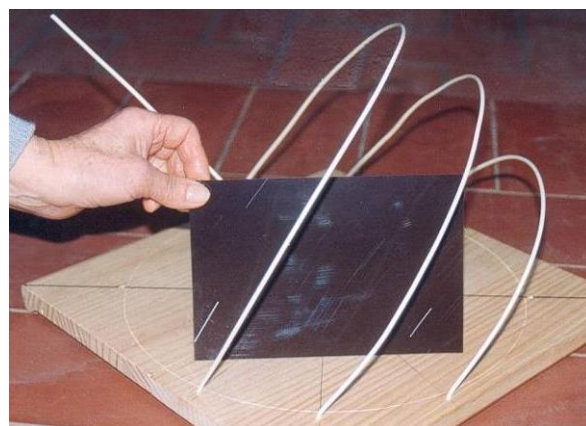


Fig.17: tracé du mouvement des étoiles à l'EST

On peut profiter de l'occasion et réaliser une série de photos du méridien local allons du nord au sud en passant par le zénith. Avec toutes les photos on peut construire une bande méridienne. Avec cette bande les élèves peuvent mieux comprendre le mouvement de la

sphère céleste. Les longueurs des trajectoires des étoiles changent. La longueur de la trajectoire est au minimum autour du pôle et au maximum autour de l'équateur.

En se servant des deux photos de l'horizon prisent du côté Est et du côté Ouest on peut savoir l'inclinaison des tracés des étoiles à l'équateur. Par la suite on peut fixer le fil de fer qui symbolise l'équateur céleste (figure 11).

On peut introduire la bande de photos du méridien local sur le modèle. Il suffit de faire quelques copies et d'y faire un trou qui indique le pôle, afin d'introduire l'axe de rotation. Notez que le fil de l'équateur correspond aux traces en ligne droite qui sont sur la bande

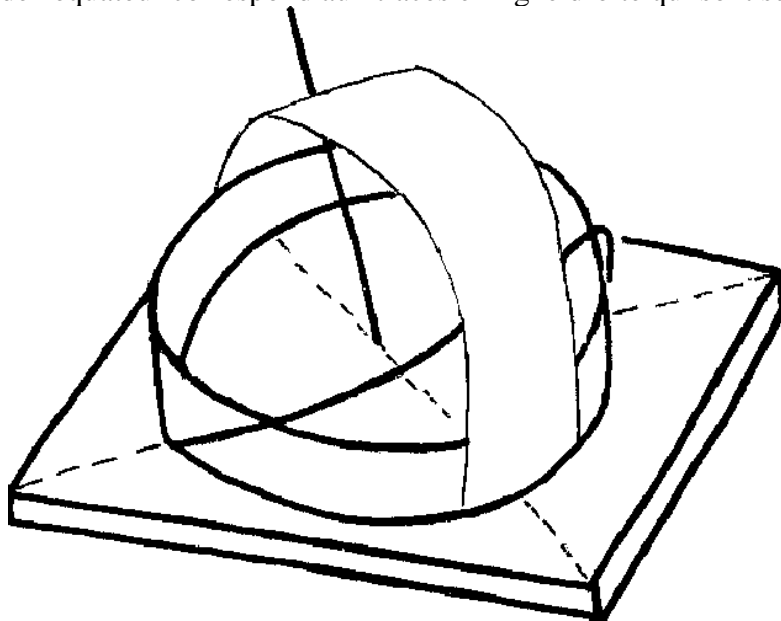


Fig. 18: la bande de photos du méridien

Avec ce modèle, nous pouvons offrir aux élèves la possibilité de voir la sphère céleste de l'intérieur et de l'extérieur.

Si nous prenons à nouveau deux photos du premier jour de l'hiver et de l'été lorsque le Soleil se lève et se couche, les élèves pourront remarquer que les lieux du lever et du coucher sont très différents (dans leur ville). La différence entre eux est étonnante. Vous pouvez également définir les parallèles du Cancer et du Capricorne avec les images qui donnent la pente de l'équateur, puisque les parallèles suivent cette même inclinaison. Avec un rapporteur simple, il est possible de vérifier que l'angle interne entre le tropique de Cancer et l'équateur est d'environ 23° , et c'est aussi l'angle entre l'équateur et le tropique du Capricorne (figures 19 et 20).

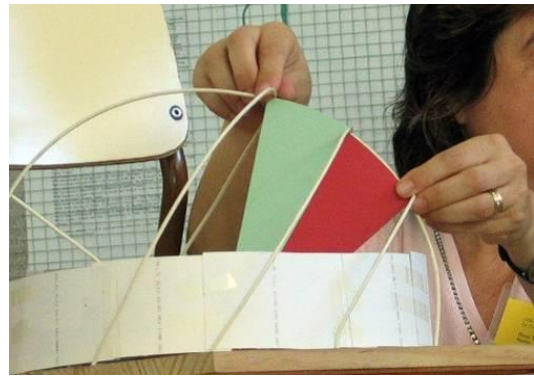
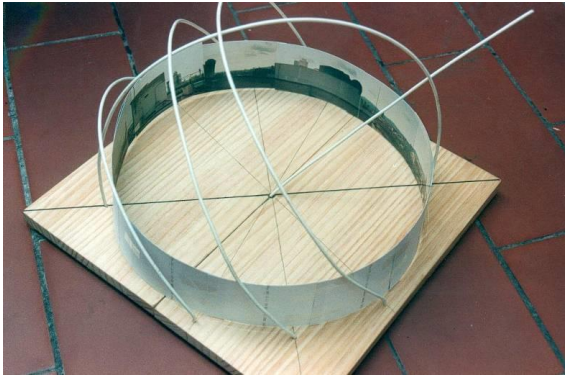


Fig.19: la trajectoire apparente du soleil pendant les 4 saisons : les points du lever et du coucher du soleil ne se coïncident que pour les deux équinoxes. Fig. 20 : l'angle entre le lever du soleil de deux saisons consécutives est autour de 23° .

Pour les élèves, il est intéressant pour eux de voir que les levers et les couchers du soleil ne coïncident pas exactement toujours avec l'est et l'ouest, respectivement. Il y a beaucoup de livres qui mentionnent que le Soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest. Les élèves peuvent voir que cela est vrai seulement deux fois par an, et ce n'est pas vrai pour les jours restants (figures 19 et 20).

Ainsi, les élèves peuvent concevoir de façon pratique la sphère céleste de l'intérieur et de l'extérieur. Avec ce modèle, on peut mieux comprendre l'horizon local et la trajectoire du mouvement apparent du soleil.

Les cadrans solaires

Le modèle que nous venons de construire ce n'est qu'une horloge solaire simple. Ce modèle nous permet d'expliquer comment construire un cadran solaire.

Dans un plan parallèle au plan équatorial, si on déplace une lampe torche sur le Tropique du Cancer, on peut voir l'ombre du stylet (la tige représentant l'axe de rotation de la Terre) sur la face supérieure du plan. D'autre part, lorsque nous déplaçons la lampe torche sur le Tropique du Capricorne, l'ombre apparaît dans la zone située au-dessous du plan, et il est clair que lorsque la lampe de poche est placée sur l'équateur, aucune ombre ne se produit. Ainsi, il est facile de vérifier que l'horloge équatoriale fonctionne en été et au printemps, montrant des heures sur la face supérieure de l'horloge, en hiver et en automne montrant les heures en dessous, et que deux jours par an, les deux jours d'équinoxes, elle ne fonctionne pas .

Sur la figure 21 la lampe torche indique les mêmes heures sur les trois cadrans horizontal, équatorial et vertical dont le stylet est la tige qui représente l'axe de la rotation de la terre. En plus on peut vérifier dans quelle région du cadran on trouve les heures du matin et les heures de l'après-midi pour les trois cadrans solaires.



Fig.21: le modèle est un grand cadran solaire

En déplaçant une lampe torche tout au long du tropique du capricorne et du tropique du cancer, il est facile de vérifier que les faisceaux lumineux émis par la lampe torche produisent des sections coniques sur le plan.

La section conique est presque un cercle au solstice de l'été et la surface éclairée est plus petite que la surface elliptique éclairée pendant le solstice de l'hiver.

Ainsi les élèves peuvent facilement comprendre que les rayons solaires sont plus concentrés dans le premier cas que celle dans le deuxième. La température de la surface est plus élevée en été qu'en hiver. Dans le modèle Il est évident aussi que la durée de l'ensoleillement est plus longue en été. En conséquence, il fait plus chaud en été (figure 22).

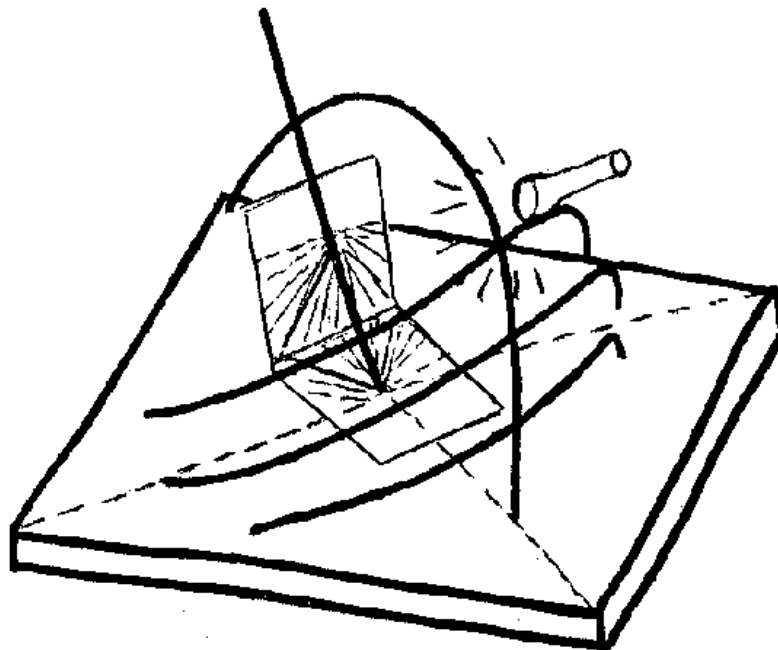


Fig.22: l'horloge et les saisons

Nous profitons de cette occasion pour mentionner quelques éléments qui doivent être connus pour construire un cadran solaire.

Un cadran solaire équatorial est facile à construire. Il suffit d'orienter le stylet dans la direction de l'axe de la rotation de la Terre, c'est-à-dire dans la direction nord sud, avec l'angle par rapport à l'horizon est égale à la latitude du lieu figures 23 et 24.

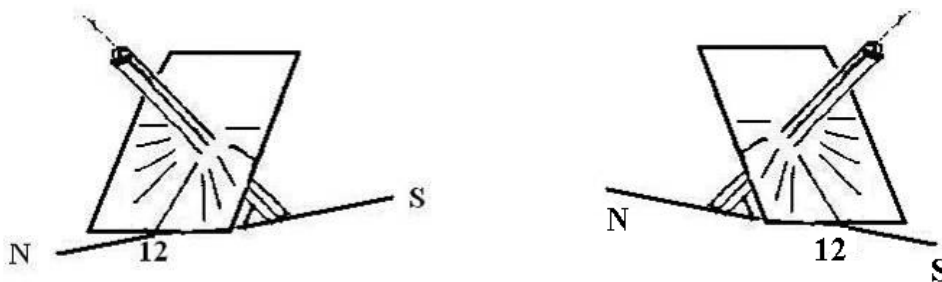


Fig.23: un cadran solaire équatorial placé dans l'hémisphère nord Fig. 24: le cadran solaire placé dans l'hémisphère sud.

Comme la Terre tourne régulièrement sur elle-même en 24 h, il suffit de graduer la table d'une horloge équatoriale tous les 15° ($360/24=15^\circ$). On obtient un partage de temps en heures égales (figures 25a et 25b).

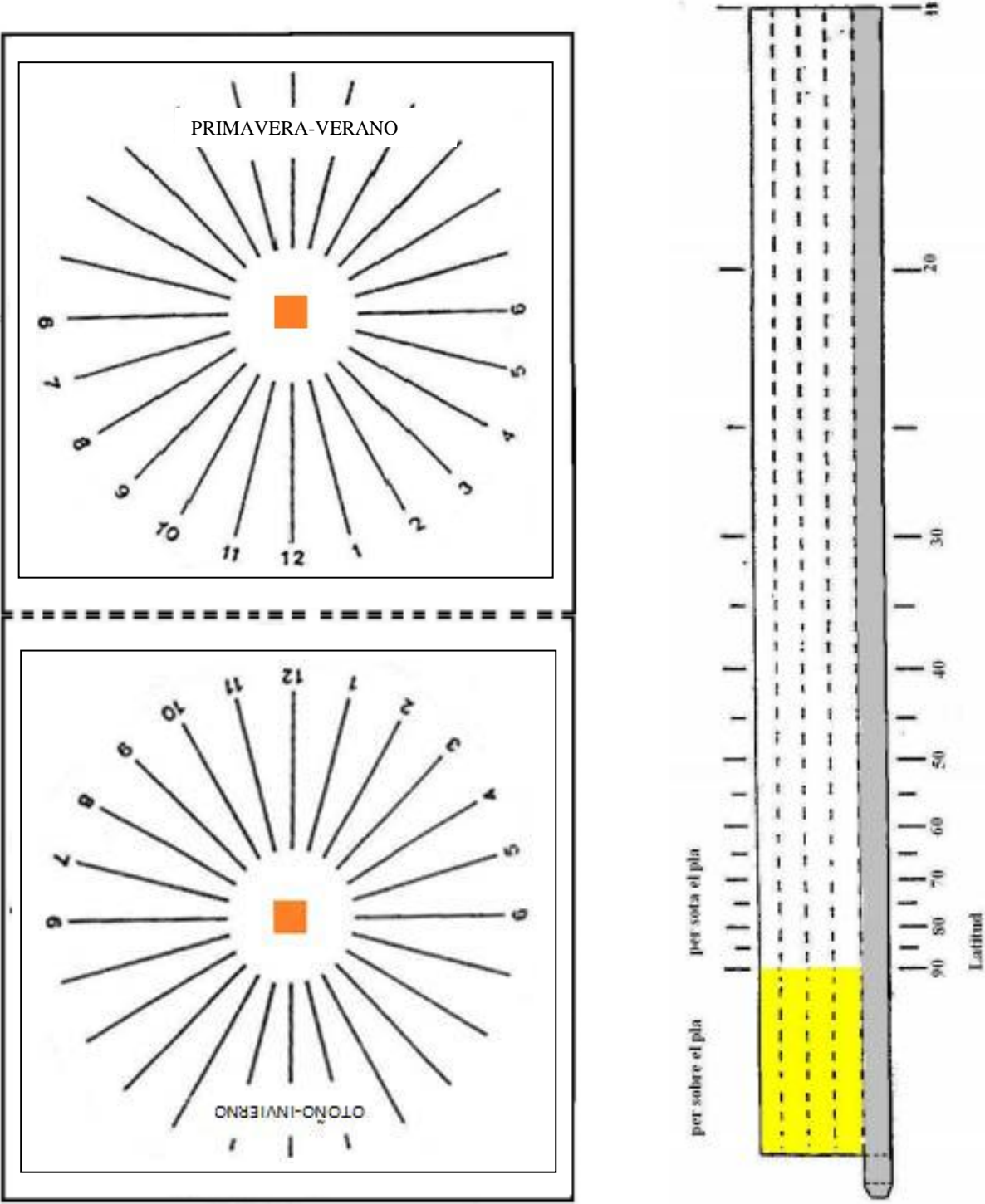


Fig. 25a et 25 b. modèle d'un cadran équatorial

Les lignes horaires d'une horloge horizontale ou verticale sont obtenues par la projection des lignes horaires du cadran solaire équatorial.(figures 26a, 26b, 26c et 26 d)

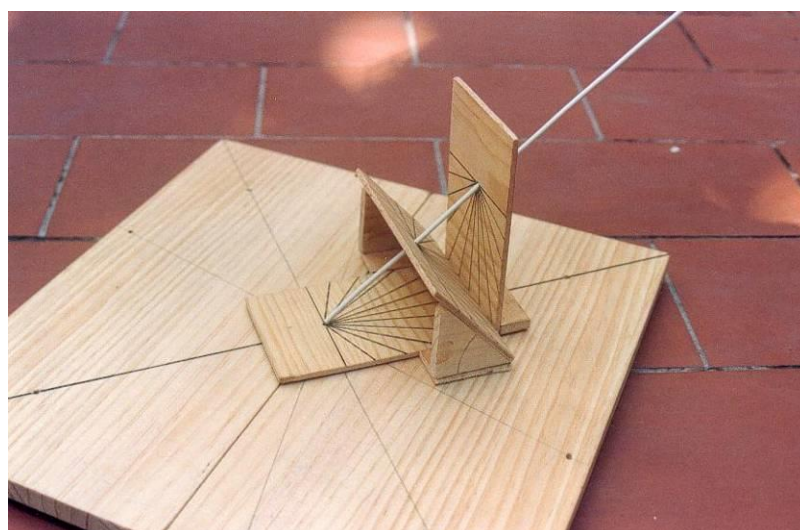
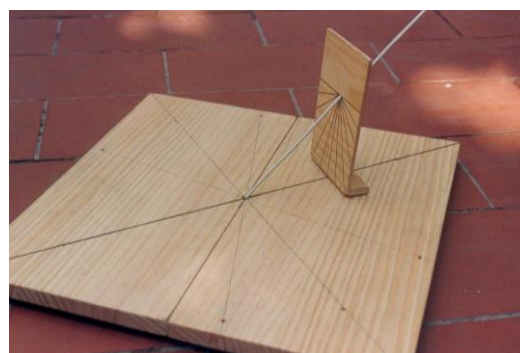
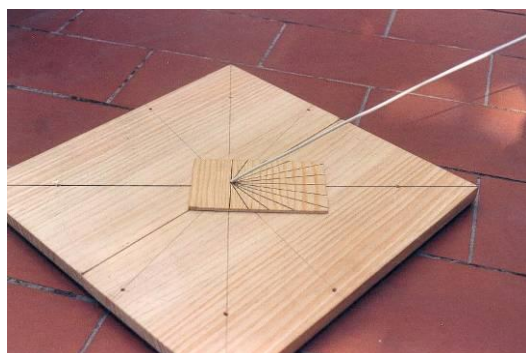
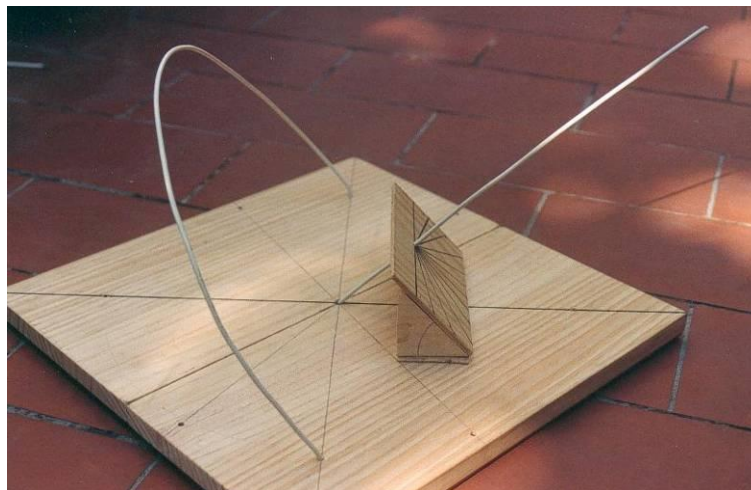


Fig. 26, 26a, 26b, 26c et 26 d: photos de différents cadrans solaires

L'heure solaire et l'heure de la montre

Les cadrans solaires donnent le temps solaire, ce qui n'est pas le même que celui des heures de la montre. Pour trouver l'heure de la montre nous devons tenir compte de plusieurs ajustements:

Le temps légal, celui donné par la montre est en fait le temps moyen du méridien standard régional. On passe donc du temps moyen local au temps légal en ajoutant la correction de longitude qui consiste à l'expression de la différence de longitude entre le méridien de Greenwich le méridien local, exprimée en temps (à raison de 4 minutes par degré).

Heure d'été / heure d'hiver

Certains pays adoptent "l'heure d'été" et "l'heure d'hiver". Une heure est habituellement ajoutée en été. Le changement d'heure en été / hiver est une décision du gouvernement du pays.

L'ajustement de l'équation de temps

La Terre tourne autour du Soleil selon les lois de Kepler, c'est-à-dire, que ce n'est pas un mouvement constant et régulier, ce qui crée un problème sérieux pour les montres mécaniques. On définit le temps moyen comme la moyenne sur une année entière de temps. L'équation du temps est la différence entre «temps solaire réel» et le «temps moyen». Tableau 1

days	Gen	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	+3.4	+13.6	+12.5	+4.1	-2.9	-2.4	+3.6	+6.3	+0.2	-10.1	-16.4	-11.2
6	+5.7	+5.1	+11.2	+2.6	-3.4	-1.6	+4.5	+5.9	-1.5	-11.7	-16.4	-9.2
11	+7.8	+7.3	+10.2	+1.2	-3.7	-0.6	+5.3	+5.2	-3.2	-13.1	-16.0	-7.0
16	+9.7	+9.2	+8.9	-0.1	-3.8	+0.4	+5.9	+4.3	-4.9	-14.3	-15.3	-4.6
21	+11.2	+13.8	+7.4	-1.2	-3.6	+1.5	+6.3	+3.2	-6.7	-15.3	-14.3	-2.2
26	+12.5	+13.1	+5.9	-2.2	-3.2	+2.6	+6.4	+1.9	-8.5	-15.9	-12.9	+0.3
31	+13.4		+4.4		-2.5		+6.3	+0.5		-16.3		+2.8

Tableau 1 de l'équation du temps

Heure de la montre = heure solaire + plusieurs ajustements

Exemple1: Barcelone (Espagne) le 24 mai

ajustement	commentaire	Résultats
1. longitude	Barcelone est dans le même fuseau horaire que Greenwich (fuseau horaire standard). La longitude de barcelone est de 2° 10' E = 2.17°E = -8.7 mn (1° = 4 mn)	-8.7 mn
2. Heure solaire	On ajoute +1h (heure d'été)	+ 60 mn
3. Equation du temps	L'équation du temps donne pour le Mai	-3.6 mn
Total		+47.7 mn

Par exemple, à midi solaire (12h); l'heure de la montre indique $12h + 47.7mn = 12h 47.7 mn$

Exemple2: Tulsa, Oklahoma (USA), le 16 novembre

ajustement	commentaire	Résultats
1. longitude	Le méridien standard de Tulsa est de $90^\circ W$, la longitude de Tulsa est de $95^\circ 58' = 96$, par la suite on a 6° de différence ($1^\circ = 4 mn$)	+24 mn
2. Heure solaire	En November, on ne change pas l'heure de la montre	0 mn
3. Equation du temps	En novembre l'équation de temps donne	-15.3 mn
Total		+ 8.7 mn

Par exemple: à midi solaire 12h, la montre indique $12h + 8.7 mn = 12h 8.7mn$

Orientation

Une autre difficulté pour les élèves est la détermination de l'orientation (direction, sens, Nord, Sud, Est, Ouest...). Dans un cours général d'astronomie, nous devons introduire la notion de la direction et le sens. Il est possible que nos élèves n'étudient jamais l'astronomie. Le résultat minimal attendu d'un cours d'astronomie est que les élèves seront en mesure de reconnaître la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon, savoir que les planètes se déplacent à travers l'horizon, et en particulier apprendre à localiser les coordonnées géographiques de leur ville.

Se servir d'un modèle conçu pour résoudre les notions mentionnées dans le paragraphe précédent est très efficace pour clarifier de nombreuses questions liées à l'orientation et à l'horizon local.

Ce modèle est très utile pour expliquer la position locale de la sphère céleste pendant le jour et la nuit. Cela aide vraiment à mieux comprendre le mouvement du Soleil et les objets du Système Solaire. En utilisant le modèle proposé, les élèves comprennent qu'une étoile brillante dans la région circumpolaire nord ne peut jamais être une planète (figure 27a et 27b).

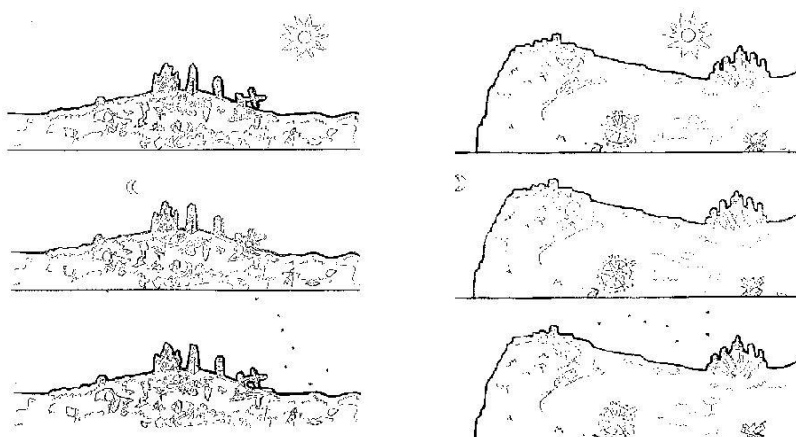


Fig. 27a: Horizon au nord-ouest de Barcelone. Fig. 27b: Horizon sud-ouest de Barcelone.



Fig.28a: modèle local de l'horizon dans une école primaire. Fig. 28b: modèle local de l'horizon dans le parc des sciences de Grenade Espagne

C'est un bon investissement pour faire un modèle à grande échelle. Dans ce cas, les élèves et même les adultes peuvent y entrer et vérifier la position du Soleil par rapport à l'équateur et les parallèles qui correspondent au premier jour du solstice d'été et d'hiver (figure 28a). Certains lycées peuvent construire ce type de modèle (figure 28b).

Après avoir utilisé le modèle, les élèves peuvent comprendre des choses qu'ils ne savaient pas auparavant. Par exemple, maintenant il est très clair que le Soleil ne se lève pas et ne se couche pas perpendiculairement à l'horizon qu'à l'équateur.

Bibliographies

- Alemany, C., Ros, R.M., *Tierra paralela*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, EU-UNAWA, Barcelona, 2011
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.
- Ros, R.M., *Laboratorio de Astronomía*, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Lanciano, N., *El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica*, 76, p.12-20, 1995.

Traduction, Cité des Sciences à Tunis:
Najoua Bey, Sarra Snoussi, Naoufel Ben Maaouia, Riadh Ben Nessib, Hichem Ben Yahia
Révision : Eric Mersier Université de Nantes