

AVEC NOS ELEVES

Comment représenter le mouvement apparent du Soleil ?

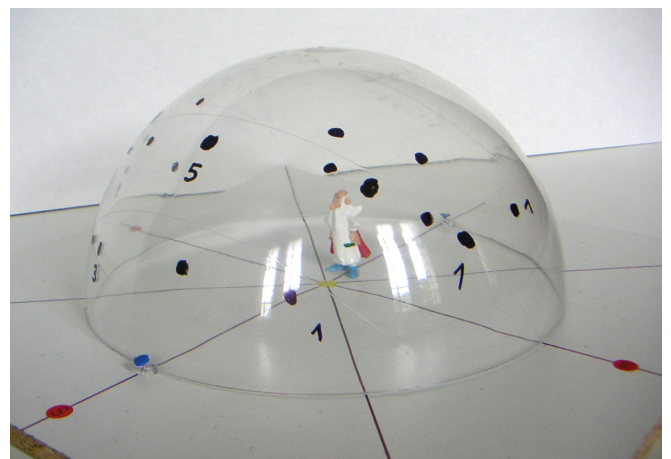
Pierre Causeret
pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : *Pour un enseignant qui fait de l'astronomie avec ses élèves, il est courant d'avoir à représenter le mouvement apparent du Soleil sur une feuille, que ce soit pour parler de la rotation de la Terre, des saisons ou des cadrans solaires. Il existe de nombreuses façons de le faire et il n'est pas évident de savoir comment sont lues ces représentations, en particulier par des enfants. Je vous en propose un certain nombre ici, en essayant de noter quelques avantages et inconvénients pour chacune d'elles afin que vous puissiez choisir celle qui conviendra le mieux à vous et à vos élèves.*

Quand on observe le Soleil au cours de la journée, on le voit monter dans le ciel le matin, culminer à midi puis redescendre l'après-midi. C'est ce qu'on a l'habitude d'appeler le mouvement « apparent » du Soleil et qu'on explique en affirmant que le Soleil est fixe et que la Terre tourne sur elle-même¹.

La meilleure solution pour simuler ce mouvement apparent du Soleil au cours de la journée est de se placer exactement au centre d'un planétarium et d'observer le Soleil sur le dôme. Seule la direction du Soleil nous importe ici et on ne prendra pas en compte ses variations de distance. Une représentation du même genre bien connue des participants aux écoles d'été est de représenter ce mouvement sur un saladier transparent.

Si on veut représenter tout cela sur une feuille, il faut mettre à plat la trajectoire du Soleil ainsi que l'horizon. Dans les schémas qui suivent, on a noté en rouge la trajectoire du Soleil au solstice d'été, en vert aux équinoxes et en bleu au solstice d'hiver.



Sur ce saladier, les ronds noirs représentent la position du Soleil à différentes heures et à trois dates différentes pour un observateur situé au centre de la demi sphère (réalisé par une classe de CM). Vous trouverez tous les détails sur ce type de relevé à l'adresse :

<http://webpublic.ac-dijon.fr/divers/crdp/IMG/pdf/saladier.pdf>

¹ Un mouvement n'a de sens que par rapport à quelque chose. On peut très bien affirmer que le Soleil tourne autour de la Terre. C'est vrai dans un repère lié à un observateur terrestre. Le terme de mouvement apparent est tout à fait discutable puis qu'il s'agit d'un vrai mouvement dans ce repère.

Mais certains repères sont plus pratiques que d'autres et permettent d'expliquer plus simplement les phénomènes observés. On se place en général dans un repère galiléen, lié aux étoiles, qui permet d'écrire des lois physiques plus simples. Dans un tel repère, la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil.

Représentations du premier type, la vue extérieure

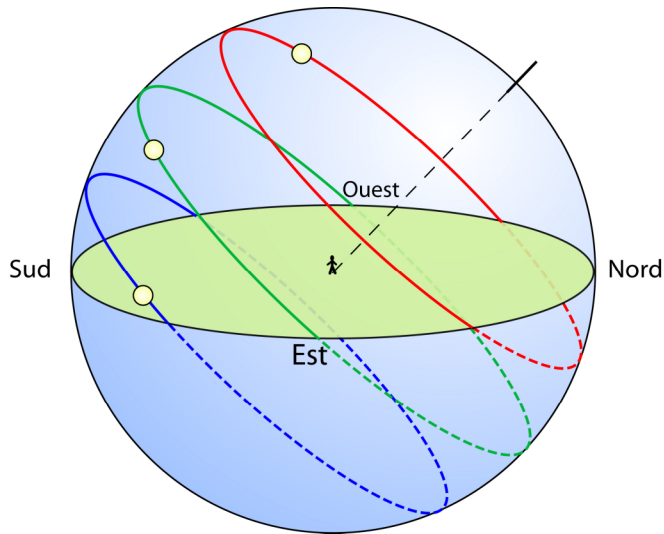


Figure 1. Représentation extérieure classique, sur la voûte céleste

C'est la représentation la plus précise et pourtant c'est une vue totalement impossible. On ne peut pas, de l'extérieur, voir ainsi l'observateur et le Soleil qui est situé à 150 millions de kilomètres. Sur une image de ce type, à l'échelle de l'observateur, le Soleil est rapproché plusieurs milliards de fois. C'est pourtant la représentation que je préfère car elle permet de voir les directions de lever et de coucher, la hauteur du Soleil, l'axe de rotation, la partie de la trajectoire sous l'horizon... Mais elle demande une certaine abstraction puisqu'il faut s'imaginer à la place du personnage pour que le schéma prenne un sens. A partir de quel âge en est-on capable ? Apparemment, des élèves de CM2 ayant fait auparavant l'expérience du saladier saisissent correctement ce type de schéma.

Les cercles représentant la trajectoire du Soleil au cours de la journée sont tous parallèles et leur centre est situé sur l'axe de la Terre, ou sur le schéma, sur une droite parallèle à l'axe de la Terre passant par l'observateur. Sur la figure 1, le Soleil est représenté à la surface d'une sphère, donc toujours à la même distance de l'observateur et ces cercles parallèles n'ont pas tous le même rayon. Quand on s'intéresse aux cadrans solaires et au problème de l'heure solaire, il est parfois plus simple de prendre des cercles de même rayon situés sur un cylindre. Chaque cercle est partagé en 24 parties à partir de la position du Soleil à midi pour avoir les différentes heures solaires. L'avantage est que, à une heure donnée, le Soleil est situé sur un segment au lieu d'être sur un arc de cercle.

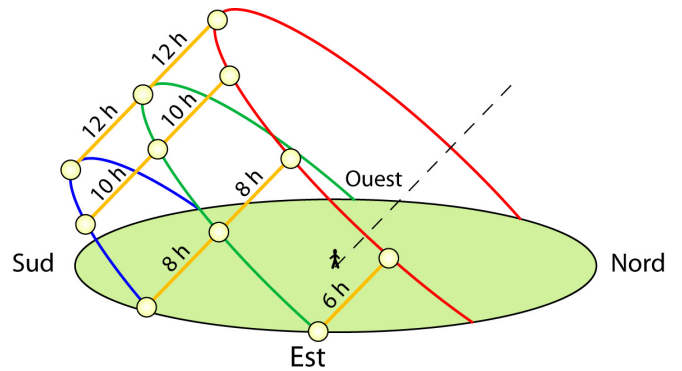


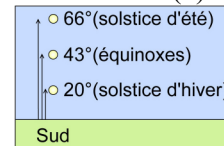
Figure 2. Représentation du mouvement apparent du Soleil sur un cylindre. Les heures notées sont des heures solaires vraies locales.

Que veut-on montrer dans ces représentations ?

- Que le Soleil est au plus haut quand il passe au sud (1)
- Qu'il ne se lève pas et ne se couche pas toujours au même endroit (2)
- Que les trajectoires apparentes sont des cercles parallèles (3).

On peut aussi essayer de conserver certains angles (les valeurs données sur les schémas correspondent à une latitude de 47° nord) :

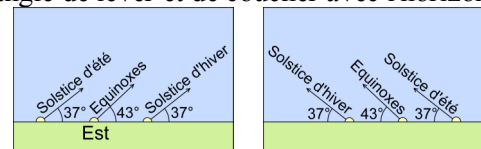
- La hauteur du Soleil à midi (4)



- La direction du lever et du coucher du Soleil (5)



- L'angle de lever et de coucher avec l'horizon (6)



Il n'est pas évident *a priori* que l'angle que fait la direction du lever ou du coucher du Soleil avec l'horizon dépend de la date. Pour s'en persuader, on peut imaginer un lever de Soleil observé le jour du solstice d'été depuis le cercle polaire à minuit, quand il est à l'horizon nord. Comme la trajectoire apparente du Soleil est tangente à l'horizon, l'angle cherché vaut 0° contre 23° aux équinoxes.

Représentations du deuxième type, la vue de l'observateur avec un horizon courbe

Si vous demandez à une personne de vous représenter le mouvement apparent du Soleil, il commencera par faire un horizon en ligne droite. C'est ainsi qu'on le voit

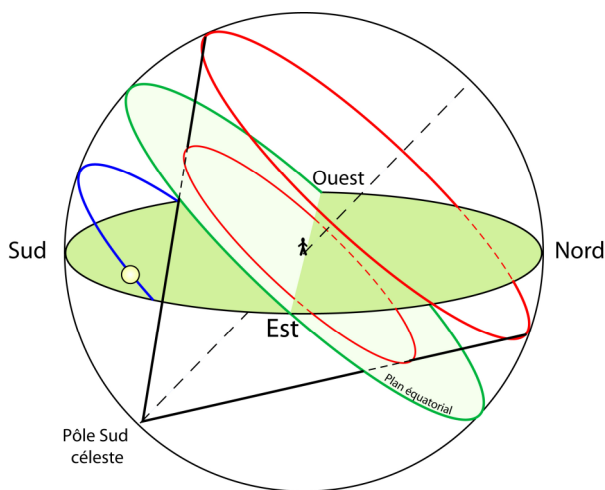


Figure 3a. Principe de la projection stéréographique à partir du pôle sud céleste.

On peut ensuite regarder l'image projetée depuis le « haut » (comme sur les astrolabes). Dans ce cas, sur la figure 4b, il faut mettre l'est à droite et l'ouest à gauche. Mais on peut aussi regarder le ciel par en dessous comme sur les cartes tournantes. Il faut alors placer l'est à gauche et l'ouest à droite sur la figure 3b.

Les trajectoires du Soleil aux équinoxes et aux solstices sont trois cercles concentriques, le centre étant l'axe de l'astrolabe donc le pôle nord céleste.

Principal intérêt de cette projection ici : elle conserve les angles. On peut donc mesurer sur la figure l'angle que fait la trajectoire du Soleil à son lever ou à son coucher avec l'horizon (en prenant des tangentes à la trajectoire et à l'horizon). Mais ce type de schéma n'est pas facile à comprendre.

Sur une carte tournante du ciel, on obtient un schéma ressemblant au précédent avec trois cercles concentriques.

Dans la projection utilisée, la distance d'une étoile au pôle est proportionnelle au complémentaire de la déclinaison (cela revient à dire que la graduation en déclinaison sur la figure 4 est régulière), ce n'était pas

ou qu'on semble le voir. En photo ce n'est pas toujours le cas. Et les cartes du ciel ont un horizon courbe.

Les représentations du ciel les plus utilisées ont été les astrolabes puis maintenant les cartes tournantes du ciel. Les astrolabes utilisent la projection stéréographique, en projetant la sphère céleste à partir du pôle sud céleste sur le plan de l'équateur.

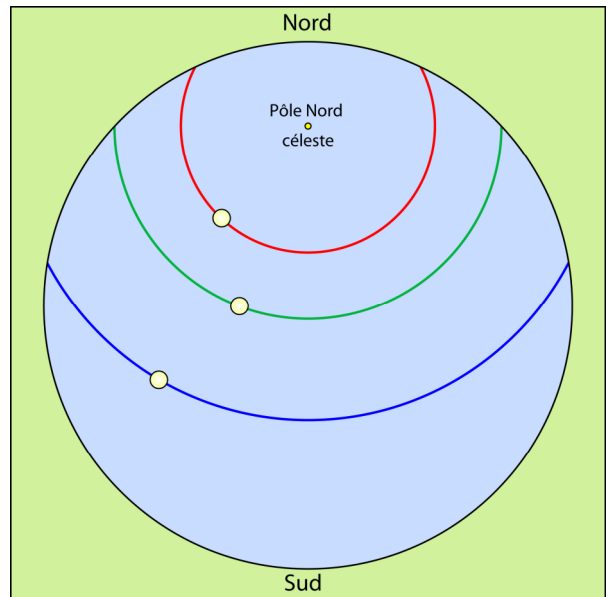


Figure 3b. Les trajectoires du Soleil sur un astrolabe.

le cas pour la projection stéréographique. De ce fait, les 3 cercles sont équidistants et la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon sud sur la carte (correspondant à la position du Soleil à midi) est proportionnelle à la hauteur réelle. Mais on obtient là encore une représentation difficile à comparer avec la réalité.

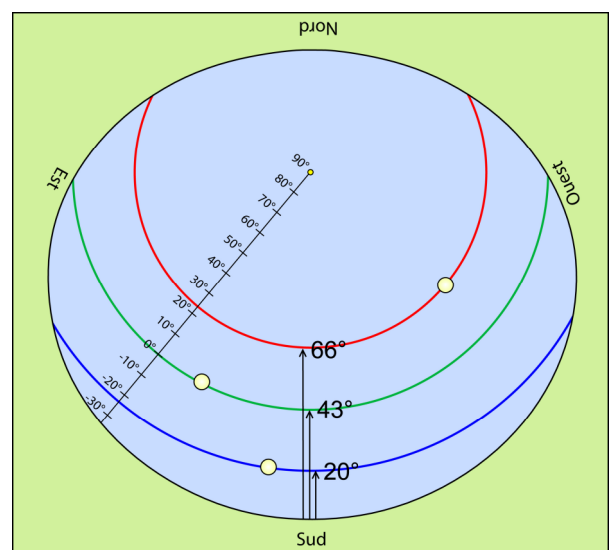


Figure 4. Sur une carte tournante du ciel.

Représentations du troisième type, la vue de l'observateur avec un horizon rectiligne

On trouve parfois ce type de représentation (figure 5). On voit bien ici que le Soleil monte plus haut en été qu'en hiver, qu'il ne se lève pas toujours dans la même direction et qu'il culmine en passant au sud, tout ceci est vrai. Par contre sur ce schéma, il tourne autour d'un point situé plein sud, il se lève verticalement et se couche verticalement, ce qui est faux. Cela me gêne et je préfère ne pas l'utiliser. On pourrait croire aussi que le Soleil passe exactement la moitié de son temps au dessus de l'horizon aussi bien en été qu'en hiver.

Si on veut avoir le bon angle pour le lever ou le coucher du Soleil, on peut essayer la projection stéréographique puisqu'elle conserve les angles. Pour avoir un horizon rectiligne, il faut prendre le pôle de projection à l'horizon.

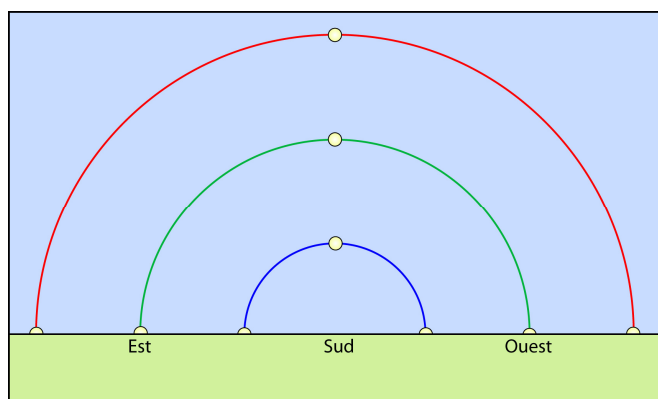


Figure 5. Une représentation classique.

Si on choisit l'horizon nord, on projette la sphère céleste sur un plan vertical orienté est-ouest.

Les angles de lever et de coucher sont justes ici mais la hauteur du Soleil à midi au dessus de l'horizon sud sur le schéma n'est pas proportionnelle à la vraie hauteur.

Comme la projection stéréographique transforme tout cercle de la sphère céleste en un cercle, les trajectoires apparentes sont des cercles. C'est une représentation qui peut être utile pour une maquette où l'on fait se lever et se coucher le Soleil en tournant un disque. Mais on ne peut le faire que pour une seule date puisque les centres des trois cercles sont différents.

Avec cette représentation, il est difficile d'imaginer qu'au solstice d'été, la journée est plus longue que la nuit étant donné que l'on n'a qu'une petite partie de la trajectoire du Soleil au-dessus de l'horizon et que la plus grande partie du cercle est sous l'horizon.

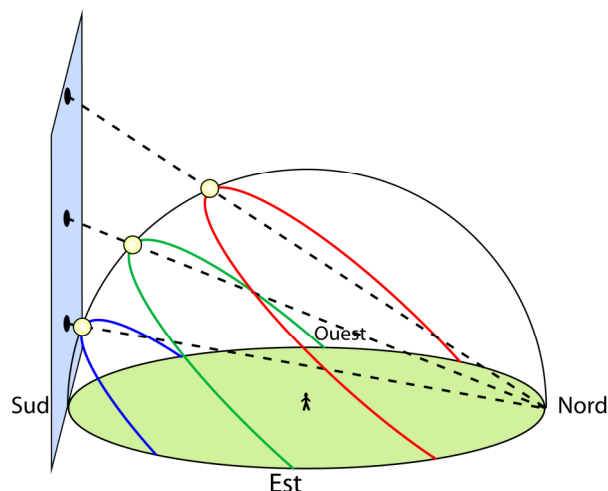


Figure 6a. Projection stéréographique à partir de l'horizon nord.

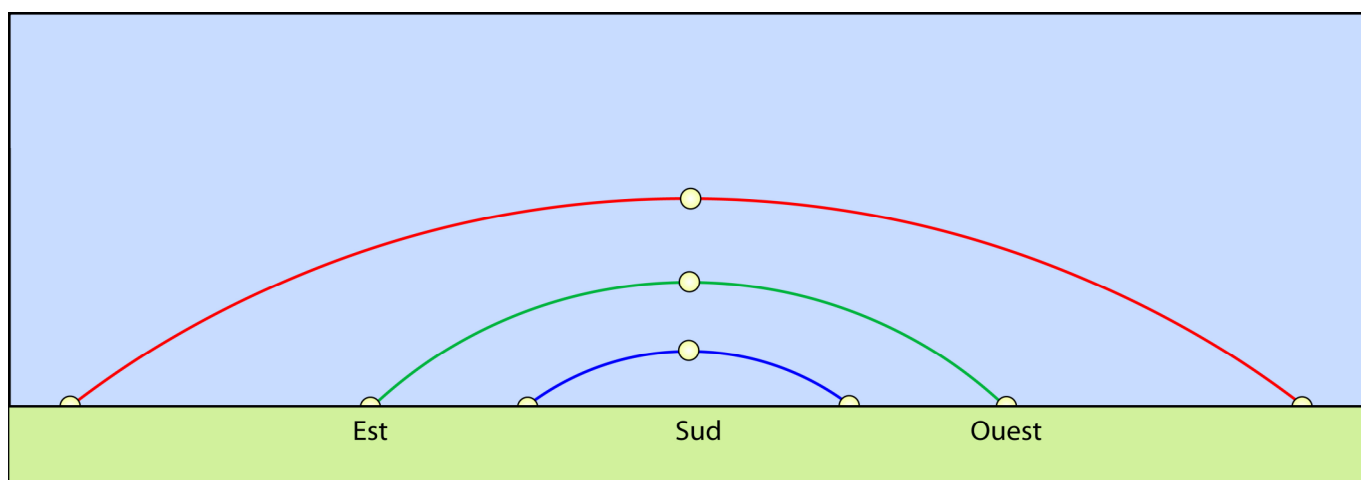


Figure 6b. Trajectoires du Soleil avec cette projection. On obtient des cercles.

Dans la réalité, la vitesse apparente du Soleil est constante au cours de la journée mais dans cette projection, il se déplace beaucoup plus rapidement lorsqu'il est sous l'horizon que lorsqu'il est au-dessus.

Une méthode parfois proposée pour noter le mouvement apparent du Soleil ou de la Lune est de l'observer à travers une grande baie vitrée. On se place toujours au même endroit et on inscrit sur la vitre la position de l'astre observé. Pour le Soleil, c'est déconseillé car il ne faut surtout pas le regarder directement mais pour la Lune cela ne pose pas de problème. Ce type de technique était aussi employé par les peintres pour représenter un paysage en perspective. Il s'agit d'une projection classique enseignée par les

collègues d'arts plastiques. Les cartographes l'appellent projection gnomonique. Si on regarde le dessin en plaçant l'œil au bon endroit, à la bonne distance de l'écran, on voit exactement la même chose que la réalité. Cette méthode convient pour une petite partie d'un paysage ou du globe terrestre mais cela pose problème pour le Soleil car, entre son lever et son coucher, on doit représenter un champ supérieur à 180° au printemps et en été, ce qui n'est pas possible. Cette méthode peut éventuellement permettre de représenter le soleil au solstice d'hiver (ou la pleine Lune au solstice d'été). Aux équinoxes, on obtient... une droite ! Cela surprend et pourtant c'est bien réel. Le Soleil à son lever et à son coucher est alors à l'infini.

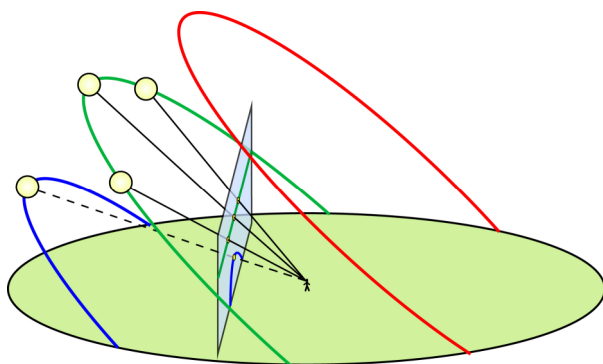


Figure 7a. Projection gnomonique.
L'image du Soleil est à l'intersection de la droite observateur - Soleil et d'un plan vertical.

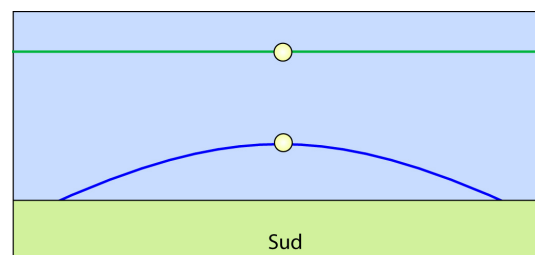


Figure 7b. Les trajectoires sont des hyperboles (une droite aux équinoxes).

Au solstice d'été, l'azimut du Soleil varie d'environ 250° entre son lever et son coucher à nos latitudes. Pour représenter la trajectoire complète, on peut la

projeter sur un cylindre d'axe vertical que l'on déroule ensuite. Il existe différentes sortes de projections cylindriques.

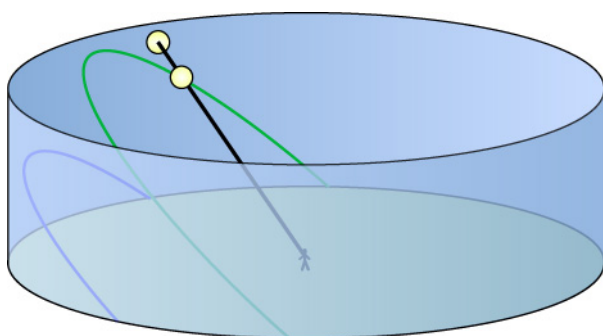


Figure 8a. Projection cylindrique centrale.
L'image du Soleil est à l'intersection entre la droite observateur - Soleil et le cylindre.

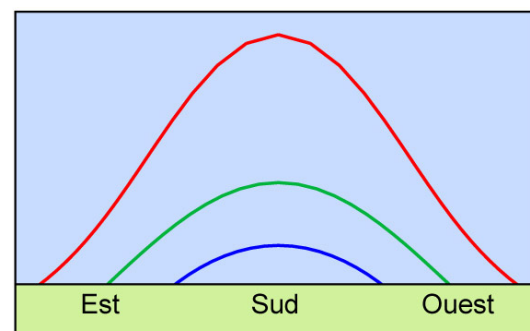


Figure 8b. Les trajectoires dans cette projection.

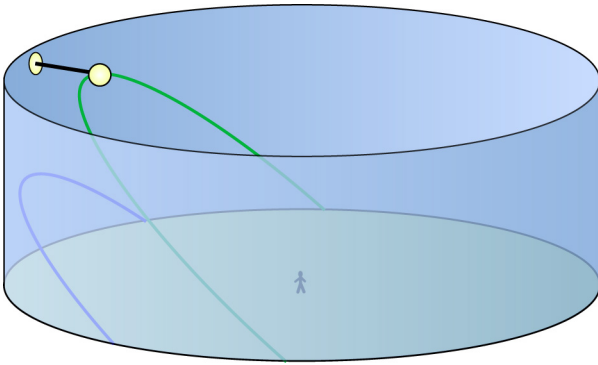


Figure 9a.

Projection cylindrique de Lambert (ou isocylindrique). Dans le plan vertical contenant l'observateur et le Soleil, on trace une droite horizontale passant par le Soleil qui coupe le cylindre au point cherché.

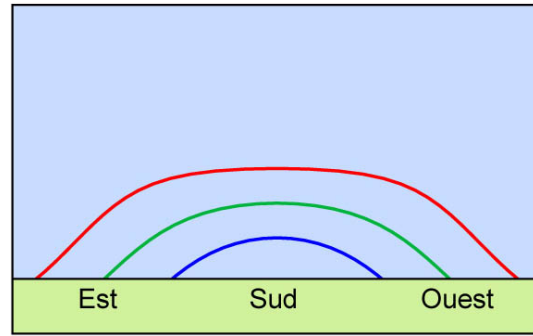


Figure 9b. Les trajectoires dans cette projection.

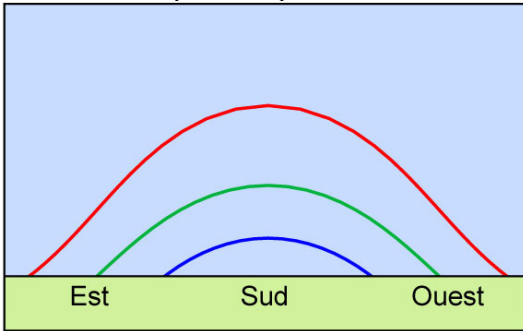


Figure 10. Projection de Mercator.

Dans la projection de Mercator, l'ordonnée est corrigée pour qu'en tout point, les angles soient conservés. C'est intéressant quand on projette la surface terrestre pour reconnaître la forme d'un pays sur une carte mais l'avantage est limité ici.

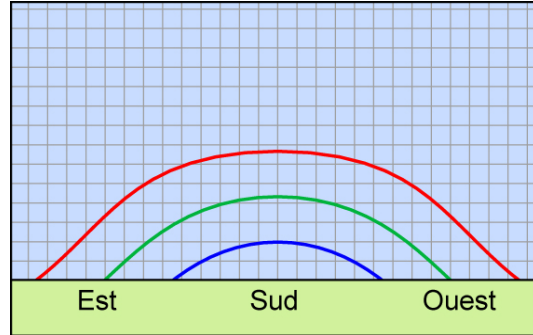


Figure 11. Projection équirectangulaire

Dans cette projection, l'abscisse est proportionnelle à l'azimut comme dans les précédentes. On décide que l'ordonnée est aussi proportionnelle à la hauteur. Ce type de projection déforme énormément vers les pôles mais ici, on en reste éloigné.

Il est aussi intéressant de se demander ce que devient le Soleil la nuit dans ces projections cylindriques.

Pour ces quatre projections, la trajectoire nocturne à l'équinoxe s'obtient en prenant le symétrique de la trajectoire diurne par rapport au point du coucher ou du lever du Soleil.

La partie nocturne au solstice d'été s'obtient à partir de la partie diurne du solstice d'hiver toujours par symétrie centrale et la partie nocturne au solstice d'hiver s'obtient à partir de la partie diurne du solstice d'été.

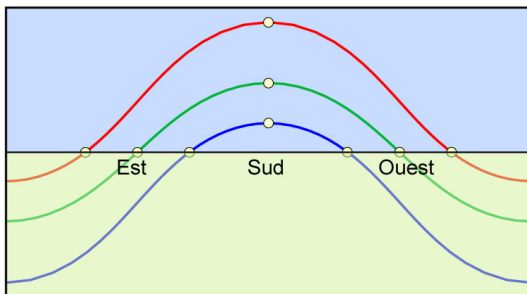


Figure 12. Mouvement apparent du Soleil dans la projection de Mercator avec un horizon transparent.

Ce type de schéma est-il compréhensible ? Sûrement pas par des élèves jeunes sauf si l'on s'amuse à plier la feuille pour lui redonner une forme de cylindre.

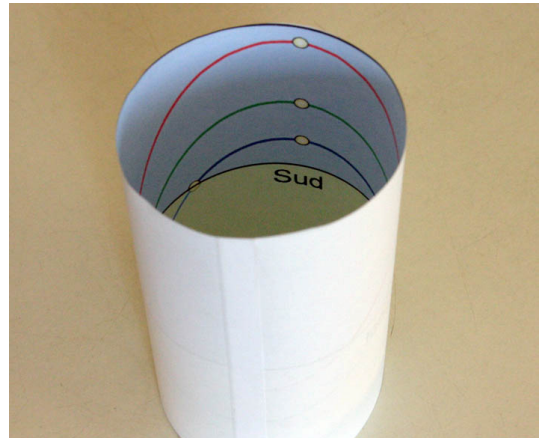


Figure 13.

Le schéma précédent mis en cylindre représente bien le mouvement apparent du Soleil. Mais on revient à une représentation vue de l'extérieur comme sur les deux premières figures. L'idéal serait de mettre la tête à l'intérieur du cylindre. Pour cela, la feuille de départ devrait mesurer plus d'un mètre de long...

En guise de conclusion

Quelles sont finalement les meilleures représentations ? Laissons de côté la figure 1, celle qui est la plus juste si on sait la comprendre, ainsi que les figures 3b et 4 trop éloignées de ce que l'on observe, et intéressons-nous aux représentations du troisième type en reprenant les 6 critères de l'encadré de la page 10.

Toutes les représentations montrent que le Soleil est au plus haut quand il passe au sud et qu'il ne se lève ni ne se couche au même endroit (conditions 1 et 2). Par contre, la forme générale des trajectoires (cercles parallèles) est rarement satisfaisante pour l'œil. La figure 11 semble la plus acceptable.

Pour les variations de hauteur à midi (condition 4), il est intéressant visuellement de montrer un soleil d'équinoxe intermédiaire entre les soleils des deux

solstices, ce qu'on retrouve dans les figures 5 et 11 et presque dans la figure 9b.

De la même manière, le lever du soleil d'équinoxe est intermédiaire entre les levers des soleils des deux solstices (condition 5), ce qu'on retrouve dans les figures 5, 8b, 9b, 10 et 11. Pour la condition 6, l'angle de lever et de coucher du Soleil est correct sur les figures 6, 8b, 9b, 10 et 11 mais complètement faux sur la figure 5.

Globalement, la figure 11 est la plus satisfaisante. On peut néanmoins être gêné par le changement de courbure de la trajectoire au solstice d'été. Si on transforme légèrement les courbes pour obtenir des arcs d'ellipse, le résultat est plus agréable. On imagine plus facilement, me semble-t-il, que les trajectoires sont des cercles parallèles. Mais ici, les angles de lever et de coucher sont faux.

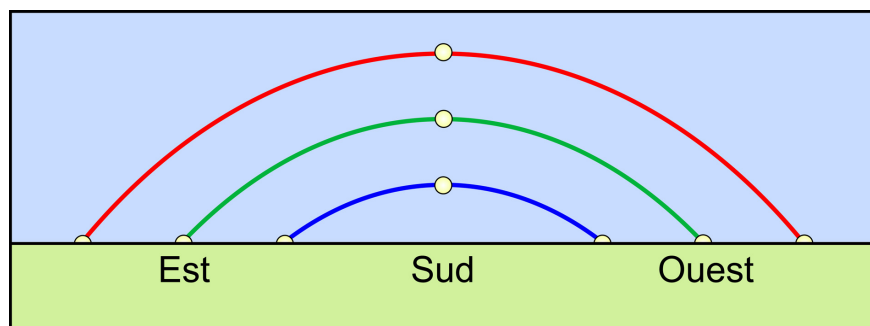


Figure 14. Sur cette représentation, les trajectoires sont des arcs d'ellipses tracés au jugé, sans projection particulière, en gardant les positions du Soleil au lever, à midi et au coucher de la figure 11.

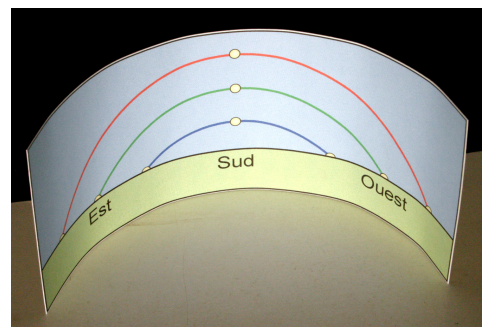


Figure 15. La figure précédente sur une feuille courbée est une représentation moins fautive que les représentations planes.

Mais il reste un gros reproche que l'on peut faire à toutes ces représentations : on voit devant soi l'est et l'ouest, deux points qui sont normalement opposés. Et il est difficile de réaliser un cylindre comme sur la figure 13 suffisamment grand pour y mettre la tête.

Un bon compromis peut être d'utiliser la figure 14 et de courber légèrement la feuille. C'est moins "vrai" que le saladier, mais plus facile à faire...

Mis à part le saladier, il n'y a pas de représentation parfaite du mouvement apparent du Soleil. J'espère que ces quelques propositions vous aideront à choisir les plus appropriées.

Pour terminer, après ces schémas plus ou moins bons, je voudrais quand même citer une représentation complètement fautive du mouvement apparent du Soleil où celui-ci se lève toujours à l'est pour se coucher à l'ouest. On la trouve malheureusement dans un livre proposé aux enseignants des écoles primaires.

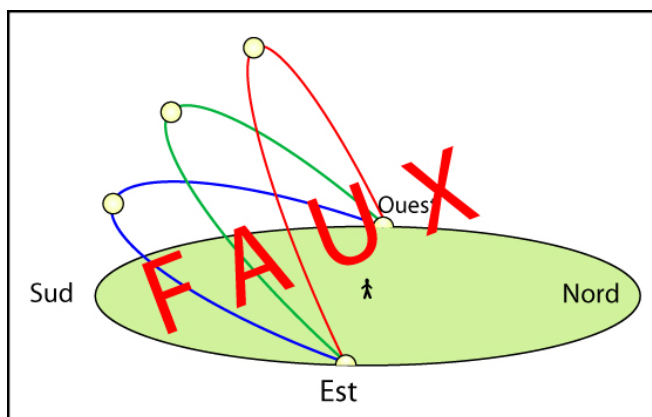


Figure 16. Représentation fautive du mouvement apparent du Soleil que l'on trouve chez de nombreux adultes et même dans un livre à destination des enseignants...

Pierre Causeret
(Merci à Liliane et à Didier pour leurs commentaires)■