

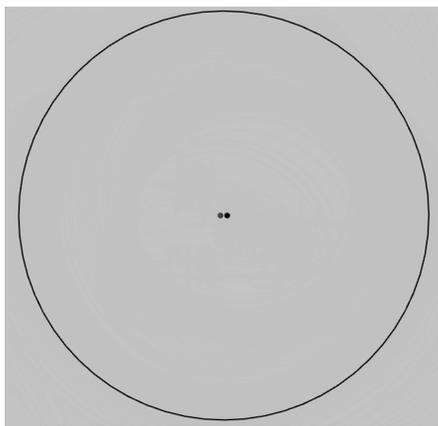
# À quelle heure est-il midi ?

Qu'observe-t-on en photographiant le soleil tous les jours à midi pendant une année, avec un appareil photo placé toujours au même endroit, et en superposant les photos ?

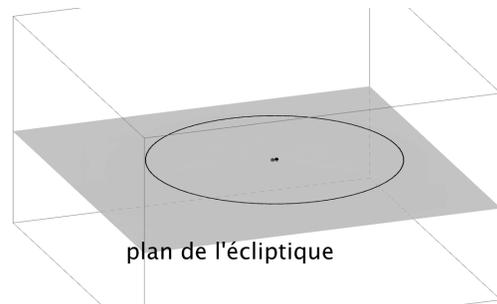


Pour répondre à cette question, il faut comprendre la course du soleil dans le ciel tout au long de l'année. Mais comme le mouvement apparent du soleil est en fait dû au mouvement de la terre, intéressons-nous au mouvement de la terre.

La terre tourne autour du soleil le long d'une trajectoire en forme d'ellipse, dont le soleil est un foyer (c'est la première loi de Kepler). Le plan dans lequel elle tourne s'appelle le plan de l'écliptique.



vue de dessus



vue de trois quarts

FIGURE 1: L'orbite terrestre et ses deux foyers, dont l'un est le soleil. Cette ellipse est presque un cercle ; son excentricité est très petite. La distance de la terre au soleil est d'environ 150 millions de km, et la distance entre le soleil et le centre de l'ellipse d'environ 2,5 millions de km.

La vitesse de la terre le long de sa trajectoire n'est pas constante ; elle est donnée par la deuxième loi de Kepler, ou loi des aires : l'aire captée par un des foyers, à intervalle de temps constant, reste constante.

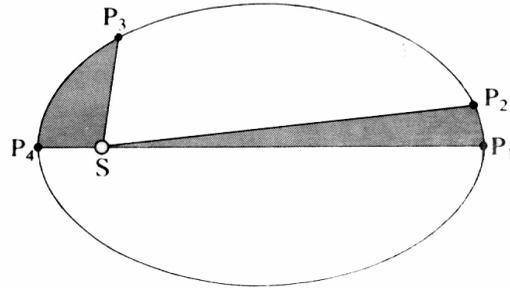


FIGURE 2: La loi des aires illustrée sur une orbite elliptique beaucoup plus excentrée que celle de la terre.

La terre tourne également autour d'elle-même, ou plus précisément autour d'un axe de rotation qui passe par le centre de la terre, le pôle nord et le pôle sud, et reste parallèle à lui-même tout au long du déplacement de la terre autour du soleil.

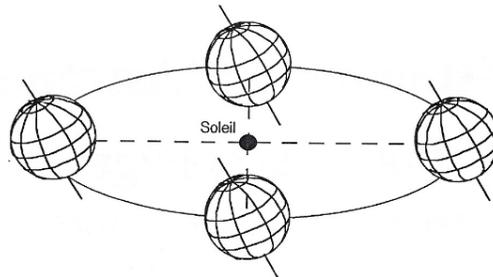


FIGURE 3: L'inclinaison de l'axe de la terre

**Attention au dessin !** Les dessins qu'on fait du système solaire ne sont *jamais* à l'échelle. Pour une terre de 1cm de rayon (ce qui semble minimal pour voir quelque chose), il faudrait un soleil d'environ 1m, placé à... environ 250m ! Autre chose : pourquoi la trajectoire de la terre est-elle représentée par une ellipse bien allongée, dont le soleil n'occupe manifestement pas un foyer ? Parce que c'est une représentation en perspective : quand on représente un cercle de trois quarts, on dessine une ellipse.

L'axe de rotation de la terre n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique, mais légèrement incliné, d'un angle d'environ  $23^\circ$ . C'est cette inclinaison qui est responsable des saisons : lorsque le pôle nord est orienté vers le soleil, le jour dure plus longtemps que la nuit dans l'hémisphère nord, le soleil est plus haut dans le ciel et ses rayons nous parviennent donc plus directement ; c'est l'été. Au même moment, le pôle sud

est opposé au soleil, le jour dure moins longtemps que la nuit dans l'hémisphère sud, le soleil est plus bas dans le ciel ; c'est l'hiver.

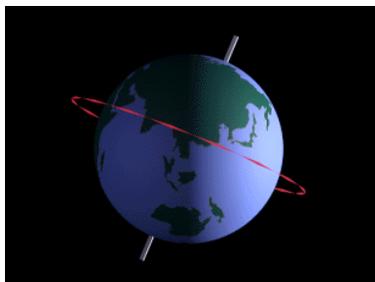


FIGURE 4: L'été dans l'hémisphère nord

Il y a quatre moments remarquables dans l'année.

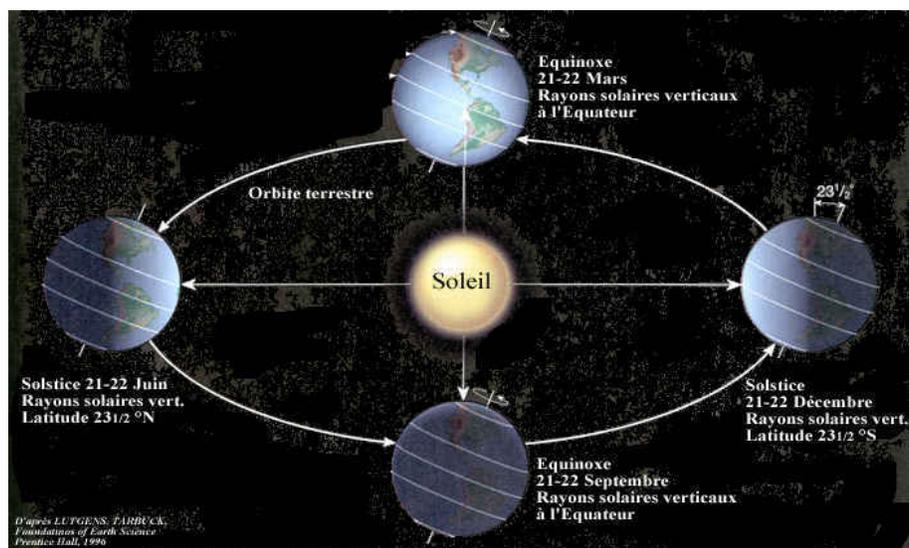


FIGURE 5: Les solstices et les équinoxes.

**Les deux solstices** : quand la projection de l'axe de rotation de la terre sur le plan de l'écliptique est confondue avec l'axe terre-soleil, c'est un solstice. Le 21 ou 22 juin, la durée du jour est maximale dans l'hémisphère nord, où c'est c'est le solstice d'été, et minimale dans l'hémisphère sud, où c'est le solstice d'hiver. C'est alors sur le tropique du Cancer qu'on peut voir le soleil au zénith (à la verticale au-dessus de nos têtes) à un moment de la journée. Le 21 ou 22 décembre, la durée du jour est minimale dans l'hémisphère nord, où c'est c'est le solstice d'hiver, et maximale dans l'hémisphère sud, où c'est le solstice d'été. C'est alors sur le tropique du Capricorne qu'on peut voir le soleil au zénith à un moment de la journée. **Les deux équinoxes** : quand la projection de l'axe de rotation de la terre sur le plan de l'écliptique est

perpendiculaire à l'axe terre-soleil, c'est un équinoxe. La durée du jour est alors égale à celle de la nuit partout sur le globe, et c'est sur l'équateur qu'on peut voir le soleil au zénith à un moment de la journée. Le 21 ou 22 septembre, c'est l'équinoxe d'automne dans l'hémisphère nord et l'équinoxe de printemps dans l'hémisphère sud ; Le 21 ou 22 mars, c'est l'équinoxe de printemps dans l'hémisphère nord et l'équinoxe d'automne dans l'hémisphère sud.

Ainsi, si je suis à Lyon, le soleil à midi en été va être plus haut dans le ciel qu'en hiver. Mais quelle va être précisément la forme dessinée par le soleil de midi tout au long de l'année ? Pour répondre à cette question (sans faire les photos et le montage), il faut comprendre comment est défini « midi ».

Tout comme l'année, qui correspond à un tour de la terre autour du soleil et le jour, qui correspond à un tour de la terre autour de son axe, midi est une notion temporelle « naturelle », qui correspond à un phénomène astronomique précis. On peut donner au moins trois définitions différentes de « midi », qui définissent bien la même chose. À Lyon, midi est

- le milieu de l'intervalle de temps entre le lever et le coucher du soleil ;
- l'instant où le soleil est le plus haut dans le ciel ;
- l'instant où le soleil est plein sud.

**Mais au fait...** Pourquoi ces trois définitions sont-elles équivalentes ? Et qu'est-ce qui changerait si on ne se plaçait pas en France, mais au Groenland ? En Équateur ? En Afrique du Sud ? Au Cambodge ?

Ainsi, si on photographie le soleil à midi, le soleil devrait être *par définition* au sud, plus ou moins haut selon le jour de l'année. Ainsi, en superposant les photos, on devrait obtenir 365 points lumineux disposés sur un segment. Or, si je prends ces photos à midi à *ma montre*, ou si je fais ces observations sur Stellarium (logiciel d'observation astronomique en libre accès), voilà ce que j'obtiens.

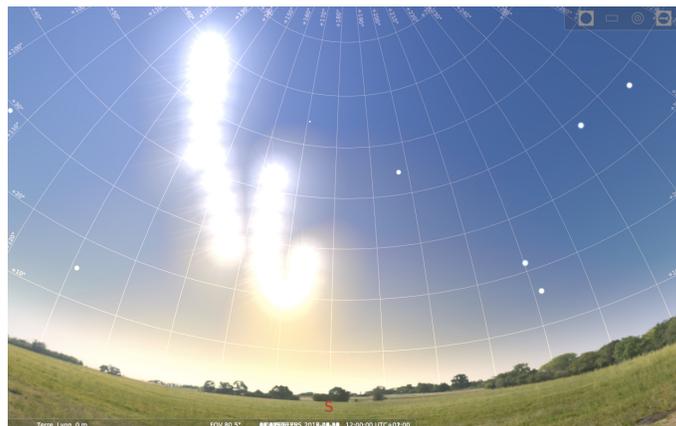


FIGURE 6: Superposition de vues du ciel (tous les 11 jours) via Stellarium.

Ça ne correspond pas du tout à ce qu'on attendait ! D'abord, on voit un grand saut à deux moments dans l'année. Ça, c'est pas compliqué, ça correspond aux passage

à l'heure d'été et d'hiver. Midi à ma montre se décale brusquement d'une heure, et donc le soleil de midi fait un saut dans le ciel. Oublions donc l'heure d'été, qui n'a rien à voir avec l'astronomie, mais est une question politique et économique.

Mais, même en hiver, à midi le soleil n'est pas plein sud (azimut  $180^\circ$ ) : il semble osciller autour de l'azimut  $168^\circ$ . Cela devient naturel dès qu'on se rappelle que, partout en France, les montres indiquent midi au même moment. Or, le passage du soleil plein sud dépend du méridien sur lequel on se trouve, c'est-à-dire de la longitude du lieu où l'on se trouve (voir l'annexe : Qu'est-ce que le sud?). Ainsi, le soleil ne peut pas être au sud au même moment à tous les endroits de France. En fait, notre montre n'indique pas *midi solaire*, mais *midi légal*, une heure définie par convention. Pour régler ce problème, plaçons-nous en un lieu situé sur un méridien de référence, c'est-à-dire en un lieu où il n'y a pas de correction due à la longitude à faire pour passer de l'heure légale à l'heure solaire. Par exemple... à Greenwich, sur le méridien de Greenwich ! Si on continue d'oublier le passage à l'heure d'été, cette fois on devrait bien obtenir 365 points lumineux disposés sur un segment.

Au lieu de cela, voilà ce qu'on observe. Le soleil oscille autour du sud !

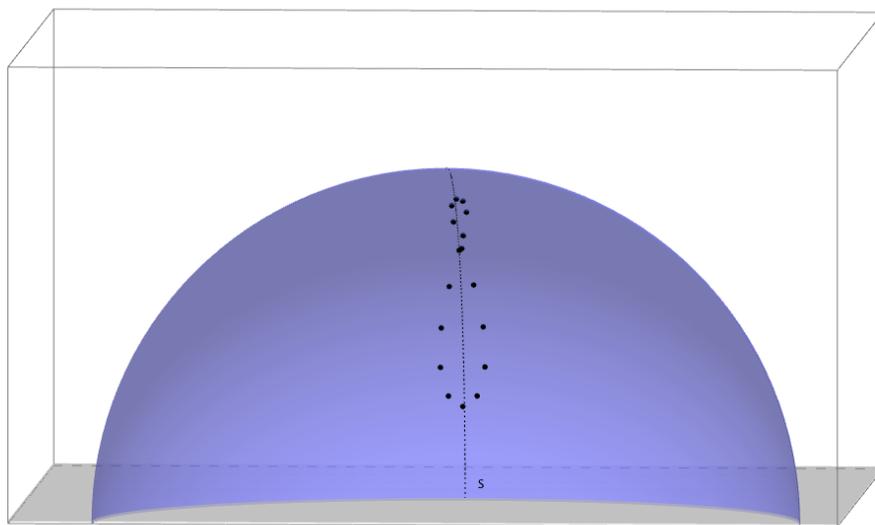


FIGURE 7: Position du soleil tous les 22 jours dans le ciel de Londres, à midi. Sur Stellarium, le soleil est trop gros pour permettre une figure précise ; c'est pourquoi on a relevé les coordonnées du soleil et on a reporté les points sur une figure Géogébra.

Ce que cela signifie, c'est que, même en oubliant l'heure d'été, même en corrigeant l'erreur liée à la latitude, midi solaire et midi légal ne coïncident pas. Ou encore : si on définit un jour comme l'intervalle de temps entre deux midis solaires, alors la durée du jour n'est pas constante.

**Attention ambiguïté !** On utilise le même mot, « jour », pour deux notions différentes. Le jour de « il fait jour » est l'intervalle de temps entre le lever du soleil et le coucher du soleil. Sa durée

est variable. Le jour de « combien d'heures y a-t-il dans un jour ? » est la durée que met la terre à effectuer une rotation autour de son axe. Cette durée est-elle constante ? Est-elle bien définie ? C'est précisément ce qu'on essaie de comprendre !

Les cadrans solaires « simples » ne peuvent pas donner l'heure exacte, même si on fait la correction correspondant à l'heure d'été, même si on fait la correction correspondant à la différence de longitude par rapport au méridien de référence (qui est une correction constante, dépendant seulement du lieu où se trouve le cadran solaire).

On est donc en présence d'un phénomène qui se manifeste de plusieurs manières différentes.

- En photographiant le soleil toujours à la même heure (en négligeant le passage à l'heure d'été) et en superposant les photos, on voit se dessiner une courbe en forme de huit.
- Si on chronomètre le temps écoulé entre deux passages du soleil plein sud, on n'obtient pas toujours 24h, mais parfois plus, parfois moins.
- Le passage du soleil plein sud (qu'on peut déterminer à l'aide d'une méridienne) ne s'effectue pas à heure fixe, même sur un méridien de référence, même en négligeant l'heure d'été. À Greenwich, par exemple, il a lieu entre 11h44 et 12h14.



À différents endroits du globe, à différentes heures.

**Saurez-vous expliquer ce phénomène ?**

## Annexe : Qu'est-ce que le sud ?

Le sud, c'est en direction du pôle sud ! Oui mais... si la terre était plate, ça serait simple de définir « en direction du pôle sud » ; or elle n'est pas plate. Comment va-t-on en direction d'un point donné du globe ? Il s'agit de définir l'analogue des droites dans le plan, les plus courts chemins. Sur la sphère, ils sont donnés par ce qu'on appelle les grands cercles, c'est-à-dire l'intersection avec la sphère de plans contenant le centre de la sphère. Sur la terre, certains de ces grands cercles sont bien connus : les méridiens, qui sont définis par des plans contenant l'axe de rotation, et l'équateur, défini par un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Ainsi, la direction du pôle sud (et celle du nord !) sont données par le grand cercle qui contient les pôles et le point où je me trouve, c'est-à-dire par mon méridien.

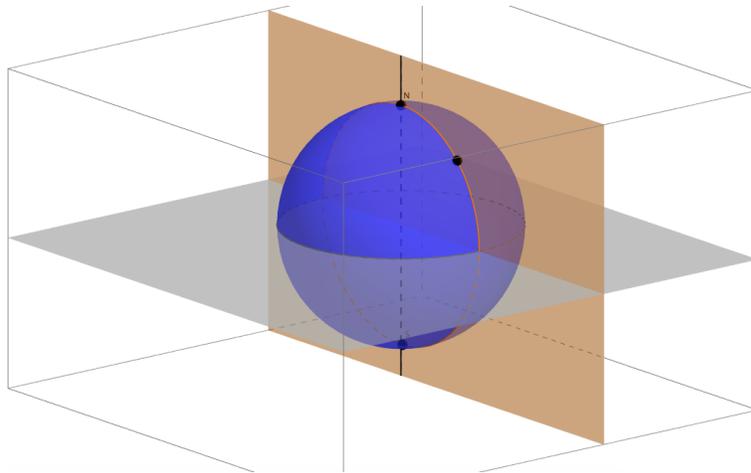
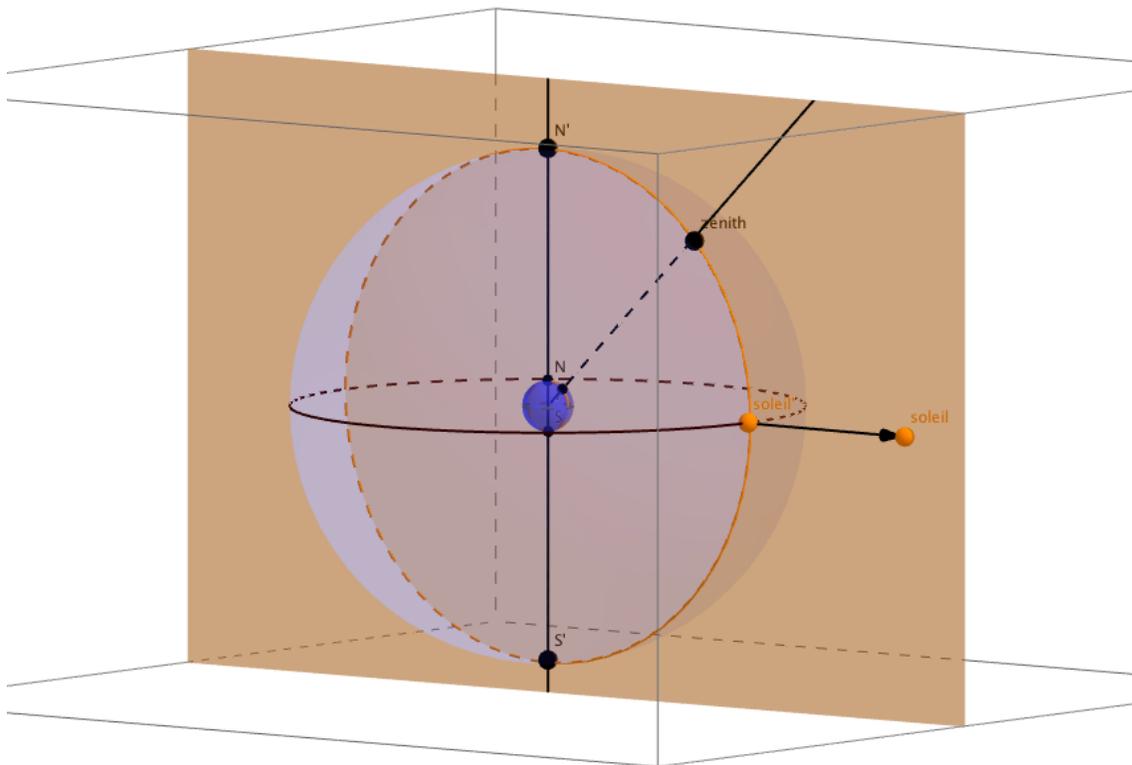


FIGURE 8: En gris, l'équateur et le plan qui le définit ; en orange, mon méridien et le plan qui le définit.

Voilà pour le sud sur terre. Maintenant, qu'est-ce que cela signifie de dire que le soleil est au sud dans le ciel ? Pour définir cela, on imagine une grande sphère, virtuelle, au centre de laquelle se trouve la terre, et sur laquelle on projette tous les objets qu'on voit dans le ciel : la sphère céleste. De même qu'on définit les méridiens sur la terre, on peut définir les méridiens sur la sphère céleste. Mon méridien céleste est alors l'intersection de mon plan méridien avec la sphère céleste ; le soleil est au sud pour moi lorsque sa projection sur la sphère céleste se situe sur la portion de ce méridien qui relie le zénith au sud céleste.



La terre et la sphère céleste. En orange, non plan méridien, mon méridien terrestre et mon méridien céleste, sur lequel se trouve la projection du soleil ; le soleil est au sud.