

Les systèmes de coordonnées astronomiques et les mouvements de la Terre

Les astronomes utilisent plusieurs systèmes de coordonnées. Parmi ceux-ci, deux vont particulièrement retenir notre attention. Ces systèmes de coordonnées vont nous permettre de s'orienter sur la voûte céleste. En tenant compte des mouvements de la Terre, nous serons en mesure de comprendre les mouvements des étoiles et du Soleil dans le ciel. Avant de procéder, cependant, il est bon de se remémorer la façon par laquelle on se repère à la surface de la Terre, c'est-à-dire de revoir le système de coordonnées *terrestres*.



[Continuer](#)

Objectifs du Chapitre 6

Objectifs du chapitre 6

- Comprendre l'importance des systèmes de coordonnées en astronomie
- Identifier et distinguer les quatre principaux mouvements de la Terre
- Comprendre le mouvement apparent des étoiles et du Soleil sur la voûte céleste
- Comprendre l'origine du cycle des saisons sur la Terre



Cliquez pour imprimer

Yannick Dupont
V2.0, été 2001

Les systèmes de coordonnées astronomiques

Le système de coordonnées terrestres

La **Figure 6.1** vous montre la sphère terrestre. On y repère l'**équateur terrestre**, perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre et partageant la Terre en deux hémisphères, les deux pôles, les points par lesquels passe cet axe, ainsi que les grands cercles qui passent par les pôles et qui sont perpendiculaires à l'équateur. Ce sont les **méridiens**.

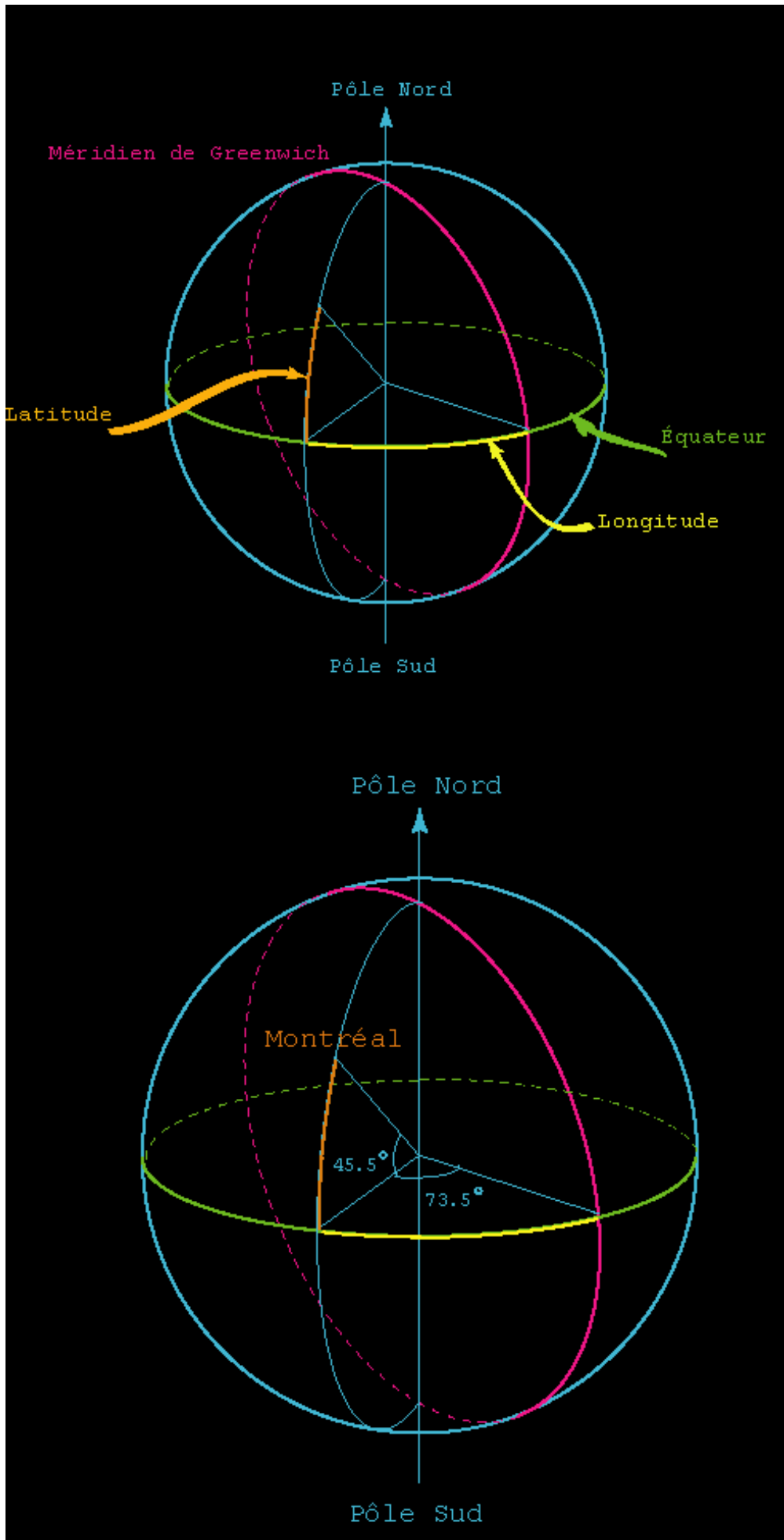
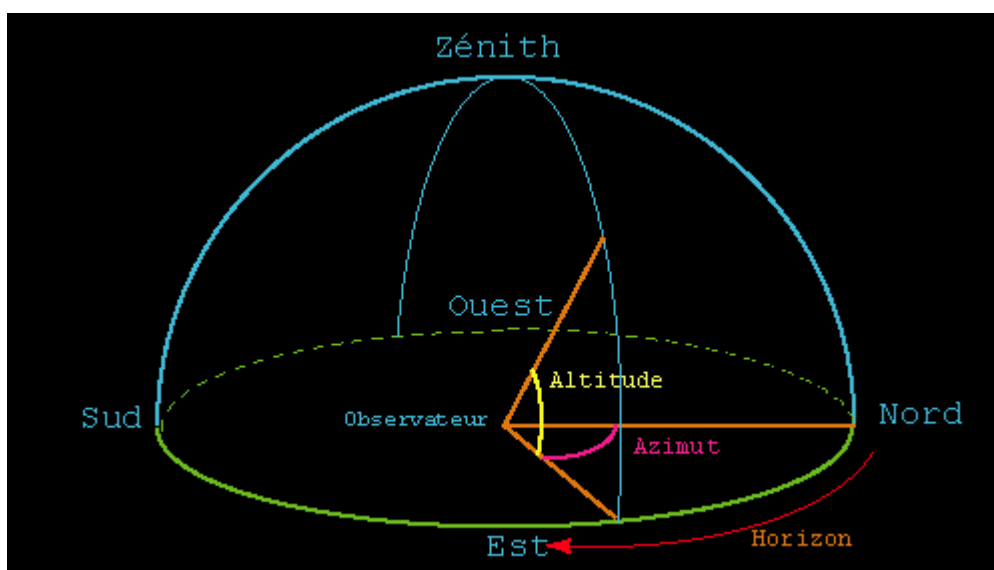


Figure 6.1: [La sphère terrestre](#)

Il suffit de deux angles pour repérer n'importe quel point, par exemple la ville de Montréal, à la surface de la Terre. On choisit d'habitude la **longitude**, qui est l'angle, mesuré le long de l'équateur terrestre, entre le méridien du lieu (c'est-à-dire le grand cercle qui passe par les pôles et Montréal), et le méridien d'un lieu de référence qui est, pour des raisons historiques, la ville de Greenwich, en Angleterre. Les longitudes sont mesurées en degrés Est ou Ouest. La longitude de Montréal est de 73.°5 Ouest. La **latitude** d'un lieu représente, quant à elle, l'angle, mesuré le long du méridien du lieu, entre l'équateur et le lieu. Elle est mesurée en degrés, et peut être positive, si le point est dans l'hémisphère nord, ou négative s'il est dans l'hémisphère sud. Montréal se trouve à une latitude de +45.°5, ou 45.°5 Nord.

Le système d'horizon

Maintenant que nous savons repérer un point quelconque à la surface de la Terre, voyons comment les astronomes repèrent un objet quelconque sur la sphère céleste. Le premier système astronomique que nous allons introduire est le système **d'horizon**, ou **horizontal** (voir la **Figure 6.2**). Dans ce système, on imagine l'observateur à l'intérieur d'une gigantesque sphère, la **sphère céleste**, sur laquelle sont épinglées les étoiles (notez que dans cette représentation, la notion de profondeur, ou de distance à une étoile, est complètement mise de côté, voir à cet effet le [Chapitre 3](#)).

**Figure 6.2:** [Le système horizontal](#)

L'observateur est au centre de cette sphère. Le point de la sphère céleste directement au-dessus de sa tête s'appelle le **zénith**. Le point opposé de la sphère céleste, directement au-dessous de ses pieds, s'appelle le **nadir**. Le plan à mi-chemin entre le zénith et le nadir est l'**horizon** de l'observateur. Dans ce système, la position d'une étoile donnée est mesurée, encore une fois, par deux angles: l'**altitude**, qui est la hauteur angulaire de l'étoile au-dessus de l'horizon, c'est-à-dire le nombre de degrés, mesurés le long d'un grand cercle passant par le zénith et l'étoile, entre l'étoile et l'horizon; et l'**azimut**, qui est l'angle, mesuré (vers l'est) le long de l'horizon, entre la direction nord et le grand cercle passant par l'étoile. Ce

Le système est un système purement local: deux observateurs à différents endroits sur Terre vont avoir des zéniths et des horizons différents, et vont mesurer, pour une étoile donnée, une altitude et un azimut différents. Ce système reste néanmoins très utile pour décrire l'aspect du ciel à un endroit donné à la surface de la Terre.



Animation 6.1: Le mouvement apparent des étoiles et le système de coordonnées horizontales (5.1 Mo)

Ces définitions nous permettent de comprendre un résultat important pour la suite. Considérons un observateur à une latitude géographique ϕ à la surface de la Terre. Dessinons maintenant le système horizontal particulier de cet observateur, en particulier son horizon.

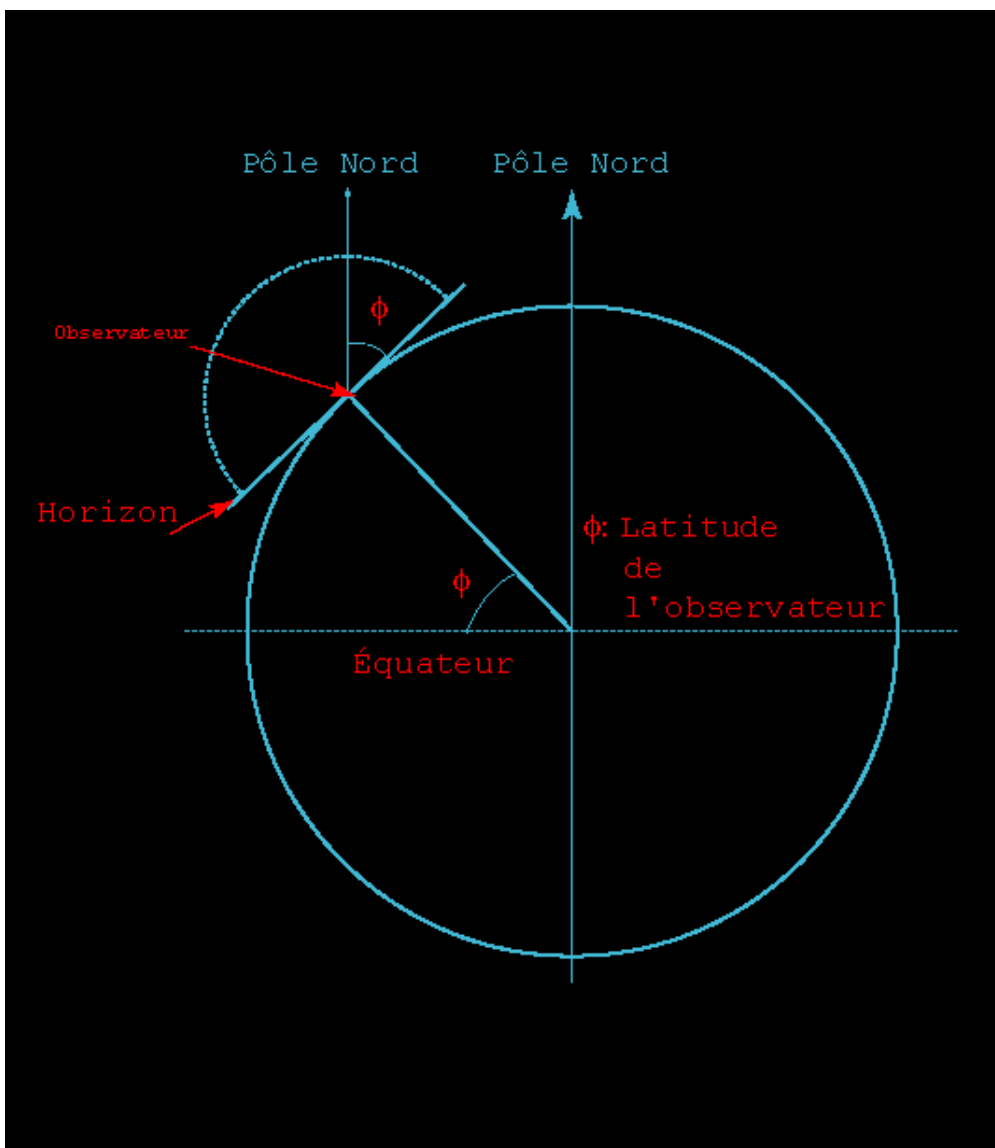


Figure 6.3: Latitude géographique d'un lieu

Pour une animation aller vers: http://home.a-city.de/walter.fendt/af/celpoles_f.htm

Cet observateur verra l'étoile polaire, qui indique approximativement la direction nord, à un certain angle au-dessus de son horizon. Cet angle est défini comme l'altitude du pôle nord, et sera, comme la **Figure 6.3** le montre, égal à ϕ . Ainsi donc, très généralement, *la hauteur du pôle nord au dessus de l'horizon d'un observateur (ou l'altitude de l'étoile polaire) est égale à la latitude géographique de l'observateur*. Ce résultat nous permettra, par la suite, de comprendre l'aspect du ciel à n'importe quel point à la surface de la Terre.



Animation 6.2: Le mouvement apparent de la voûte céleste autour de l'étoile polaire (6.1 Mo)

Dans cette animation, remarquez que l'étoile polaire (située approximativement dans le prolongement de l'axe de rotation) demeure toujours à la même hauteur au dessus de l'horizon

Avant de passer à la description du second système de coordonnées astronomiques, il convient ici d'ouvrir une parenthèse. Le mouvement annuel de la Terre autour du Soleil se fait sur une orbite que l'on appelle l'**écliptique**. Cependant, il est souvent plus pratique de décrire ce mouvement tel qu'il est perçu par un observateur situé à la surface de la Terre. Les astronomes ont donc tendance à parler du mouvement *apparent* annuel du Soleil dans le ciel (un mouvement dû, encore une fois, au mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil). Dans le même esprit, ils vont dire que ce mouvement apparent du Soleil se fait sur un cercle, l'écliptique, et que le Soleil met un an pour revenir au même point dans le ciel. La **Figure 6.4** vous montre le mouvement réel, en haut, ainsi que le mouvement apparent, vu par un observateur terrestre, en bas.

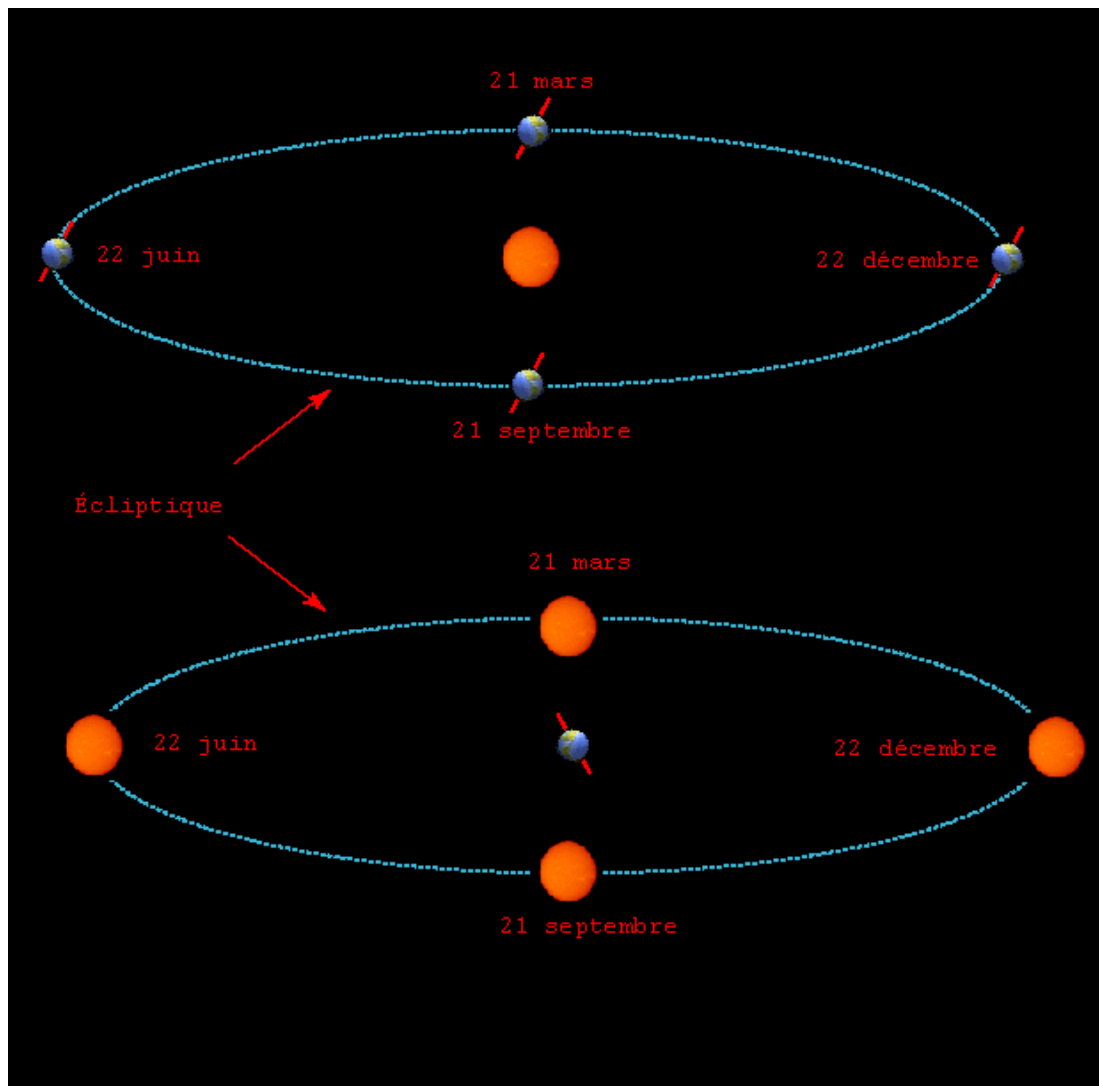


Figure 6.4: Mouvement réel et apparent de la Terre et du Soleil

Sachez distinguer ces deux mouvements, et ne soyez pas trompés: nous ne sommes pas revenus à une conception géocentrique de l'Univers. Notez également que l'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire à l'écliptique. En d'autres mots, l'équateur terrestre n'est pas dans le même plan que l'écliptique. L'angle entre ces deux plans est de $23.^\circ5$.

Le système équatorial céleste

Ce système de coordonnées est *indépendant* de l'observateur, et décrit la position d'un astre quelconque à la surface de la sphère céleste. La Terre est au centre de ce système de coordonnées (voir la **Figure 6.5**). Si l'on projette l'équateur terrestre sur la sphère céleste, on obtient l'**équateur céleste**. De la même façon, le prolongement de l'axe de rotation terrestre coupe la sphère céleste en deux points, qui sont les **pôles nord et sud célestes**. On peut également considérer l'ensemble des grands cercles qui passent par les pôles célestes, que l'on appelle les **cercles horaires**. Remarquez comme ces concepts sont similaires à ceux revus lors de la description du système de coordonnées géographiques. Ici, la sphère *céleste* remplace la sphère *terrestre*.

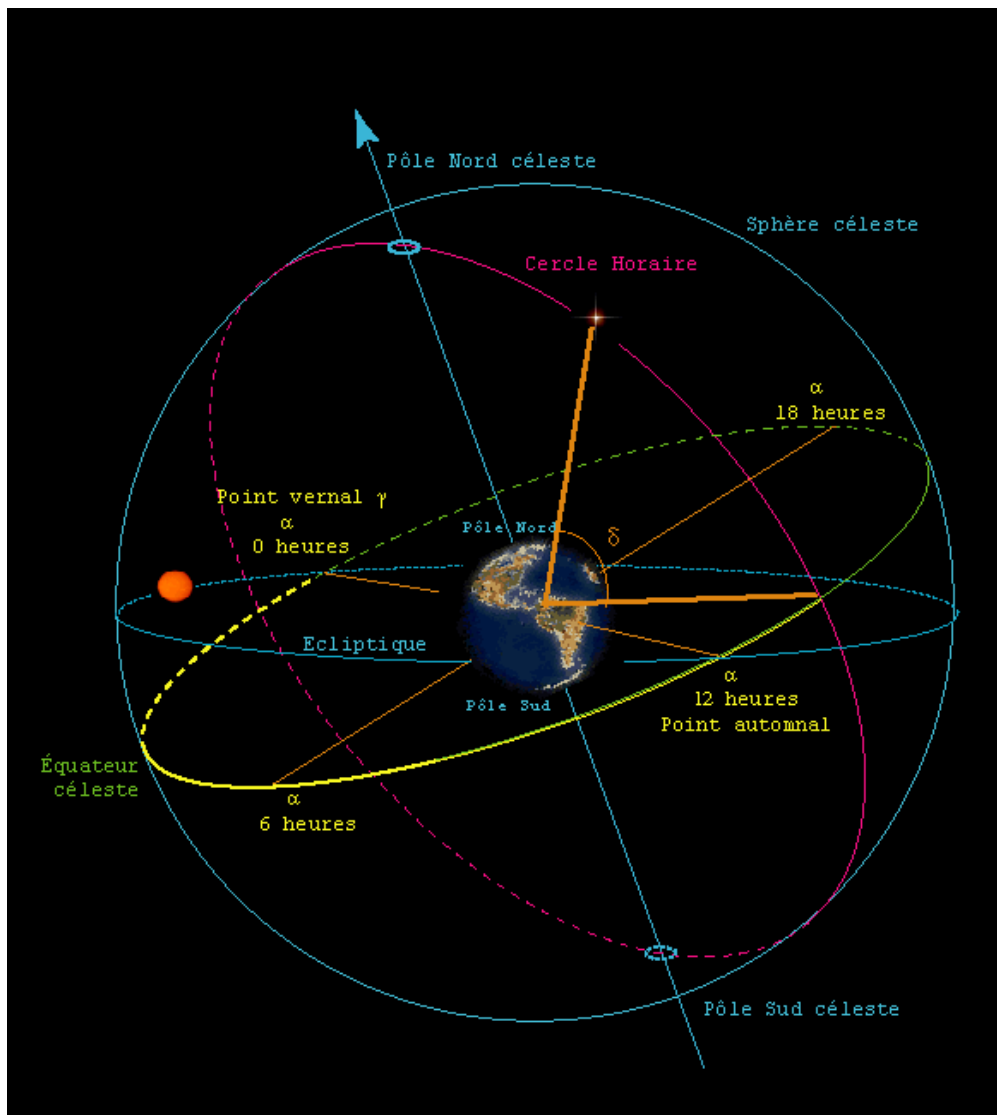


Figure 6.5: Le système équatorial céleste

On peut, pour décrire la position d'un objet quelconque à la surface de la sphère céleste, utiliser des angles similaires à la longitude et la latitude décrits plus tôt. Par analogie complète, on appelle la **déclinaison** d'une étoile, symbolisée δ , l'angle, mesuré le long du cercle horaire de cet objet, entre l'équateur céleste et l'objet. Les déclinaisons, δ , sont mesurées en degrés, et vont de -90° à $+90^\circ$, en passant par 0° . Pour l'autre angle, équivalent à la longitude terrestre, il nous faut avoir un cercle horaire qui serve d'origine, analogue au méridien de Greenwich. On utilise comme cercle horaire d'origine celui qui passe par un point particulier situé sur l'équateur céleste, que l'on appelle le point vernal γ . Le **point vernal**, et sa contrepartie, le **point automnal**, représentent les deux points d'intersection, sur la sphère céleste, de l'équateur céleste et de l'écliptique. Le point vernal indique la position apparente du Soleil le 21 mars, à l'équinoxe du printemps; le point automnal indique sa position 6 mois plus tard, au début de l'automne. L'**ascension droite** est donc mesurée le long de l'équateur céleste, vers l'est, à partir du point vernal. Plutôt que d'être mesurées en degrés, comme les longitudes terrestres, les ascensions droites, symbolisées α , sont mesurées en unités de temps, c'est-à-dire en heures, minutes, et secondes de temps. Les ascensions droites vont de 0h à 24h.

Les unités d'angle (voir l'[Appendice A](#)) et de temps sont interchangeable en astronomie. Cette équivalence est basée sur le fait que la Terre fait une rotation complète, c'est-à-dire couvre 360° , en 24 heures. 360° correspondent donc à 24 heures, une heure équivaut à 15° , une minute de temps équivaut à 15 *minutes*

d'arc, et une seconde de temps correspond à 15 *secondes d'arc*. Ne confondez pas unités de temps et unités d'angle.

Finalement, les principales étapes pour se repérer dans le ciel grâce au système équatorial sont décrites à l'[Appendice C](#).



Animation 6.3: [Le mouvement apparent des étoiles et la grille des coordonnées équatoriales \(5.4 Mo\)](#)

Les mouvements de la Terre

La Terre effectue, simultanément, plusieurs mouvements. Le mouvement résultant est donc très complexe. Nous distinguons

- **Un mouvement de rotation:** La Terre tourne sur elle-même une fois par 23h56m. La vitesse de rotation à l'équateur est de 1700 km/hr, ou de 0.47 km/s.
- **Un mouvement de révolution:** La Terre tourne autour du Soleil une fois par an (365.25 jours). La vitesse de révolution de la Terre sur son orbite est de 108,000 km/hr, ou de 30 km/s.
- **Un mouvement de précession:** La direction de l'axe de rotation de la Terre n'est pas fixe dans l'espace, mais trace plutôt un cercle à un angle de 23.95° du pôle de l'écliptique avec une période de 26,000 ans (voir les [Figures 6.6](#) et [6.7](#)). Ceci équivaut à un déplacement de la direction de l'axe de rotation de la Terre de 50 secondes d'arc par année. Ce mouvement est dû à l'attraction de la Lune et du Soleil sur le bourrelet, ou renflement, équatorial de la Terre.

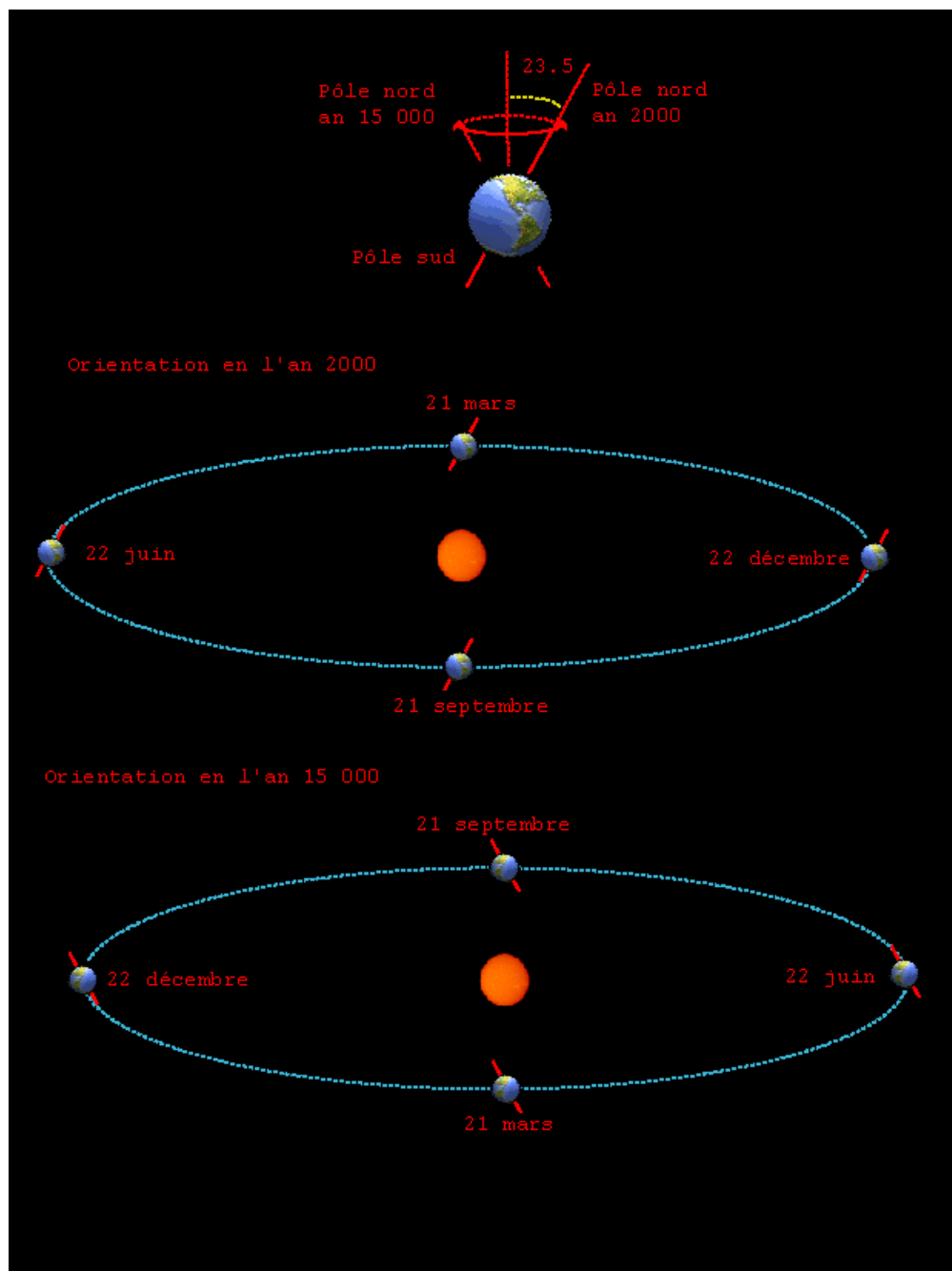


Figure 6.6: La précession de l'axe de rotation de la Terre



Figure 6.7: Trajectoire de l'axe du pôle

- Un mouvement de nutation:** Ce mouvement correspond à une petite oscillation supplémentaire de l'axe de rotation terrestre par rapport au mouvement général de précession décrit plus haut. Ce mouvement est dû, encore une fois, à l'attraction de la Lune sur le renflement terrestre, et au fait que l'orbite de la Lune soit inclinée de 5° par rapport à l'écliptique. Ce mouvement, de nature oscillatoire, a une amplitude de 9 secondes d'arc, et une période de 19 ans (voir la **Figure 6.8**).

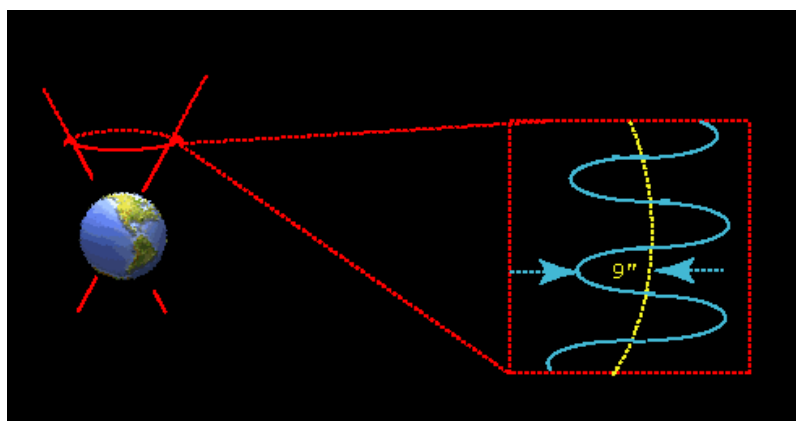


Figure 6.8: La nutation de l'axe de rotation de la Terre

La rotation terrestre et les

mouvements apparents des étoiles

Vous avez peut-être remarqué que les étoiles ont un mouvement apparent sur la sphère céleste. Repérez, à un moment donné de la nuit, la position d'une constellation. Revenez quelques heures plus tard, et cette constellation se sera déplacée dans le ciel. Elle sera peut être même disparue en-dessous de l'horizon. Ce mouvement apparent est dû à la rotation de la Terre. On peut schématiser le mouvement apparent des astres en utilisant le système horizontal décrit précédemment. Plaçons-nous donc à un endroit typique à la surface de la Terre, disons à une latitude géographique de $+34^\circ\text{N}$.

Tel que vu plus haut, la hauteur du pôle nord céleste sera aussi de $+34^\circ$; cette direction est indiquée sur la **Figure 6.9**. Puisque la Terre est en rotation autour de l'axe polaire, les étoiles semblent se déplacer, en un jour, sur des grands cercles parallèles à l'équateur céleste, tel qu'indiqué sur la figure. Notez également la position de l'horizon, qui détermine la portion de la trajectoire apparente quotidienne de chaque étoile qui est visible à l'observateur: seule la portion de la trajectoire apparente sur la sphère céleste *au-dessus* de l'horizon sera visible. La majorité des étoiles se lèvent (à l'est), et se couchent (à l'ouest).

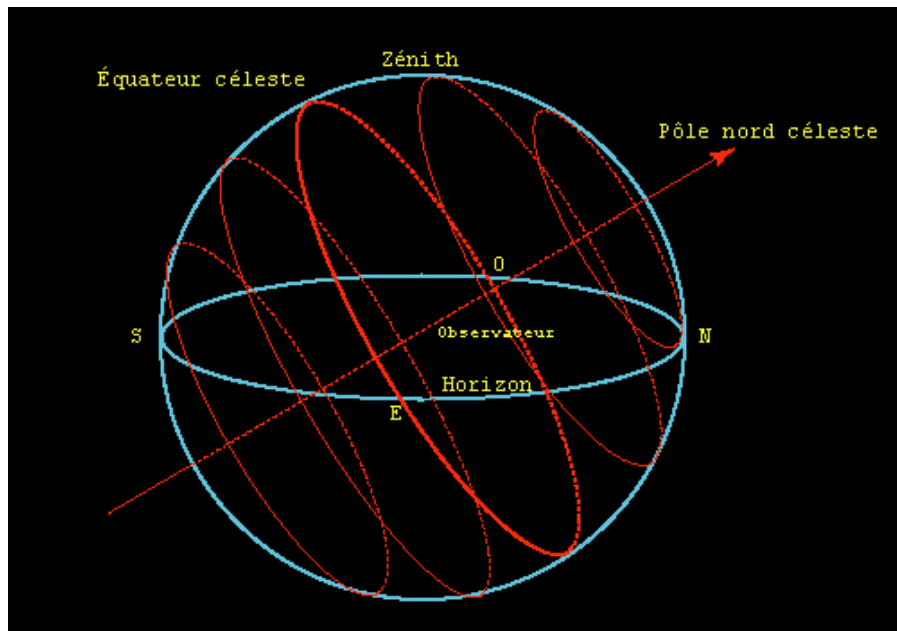


Figure 6.9: Le mouvement apparent des étoiles



Animation 6.4: [Trajectoire apparente des étoiles à Montréal \(3.5 Mo\)](#)

Notez cependant que certaines étoiles, situées près du pôle nord céleste, sont toujours au-dessus de l'horizon, et donc toujours levées (on les nomme les *étoiles circumpolaires*), alors que d'autres, situées près du pôle sud céleste, ne passent jamais au-dessus de l'horizon et ne sont donc jamais visibles à cet observateur.



Animation 6.5: [Trajectoire des étoiles circumpolaires à Montréal \(2.8 Mo\)](#)

Plaçons-nous maintenant à deux latitudes géographiques extrêmes: à l'équateur terrestre (latitude de 0°), ainsi qu'au pôle nord terrestre (latitude de 90°). La première étape, dans ces deux cas, est encore de repérer la direction du pôle nord céleste. A l'équateur, cette direction est le long de l'horizon, alors qu'au pôle, le pôle nord céleste est au zénith (voir les [Figures 6.10](#) et la [6.11](#)). Remarquez maintenant les trajectoires apparentes des étoiles qui sont indiquées sur les figures: à l'équateur, toutes les étoiles sont visibles, et elles se lèvent et se couchent toutes. Au pôle nord, seules les étoiles de l'hémisphère nord céleste (c'est-à-dire celles au-dessus de l'équateur céleste) sont visibles, et elles ne passent jamais sous l'horizon: elles ne se lèvent et se couchent donc jamais.

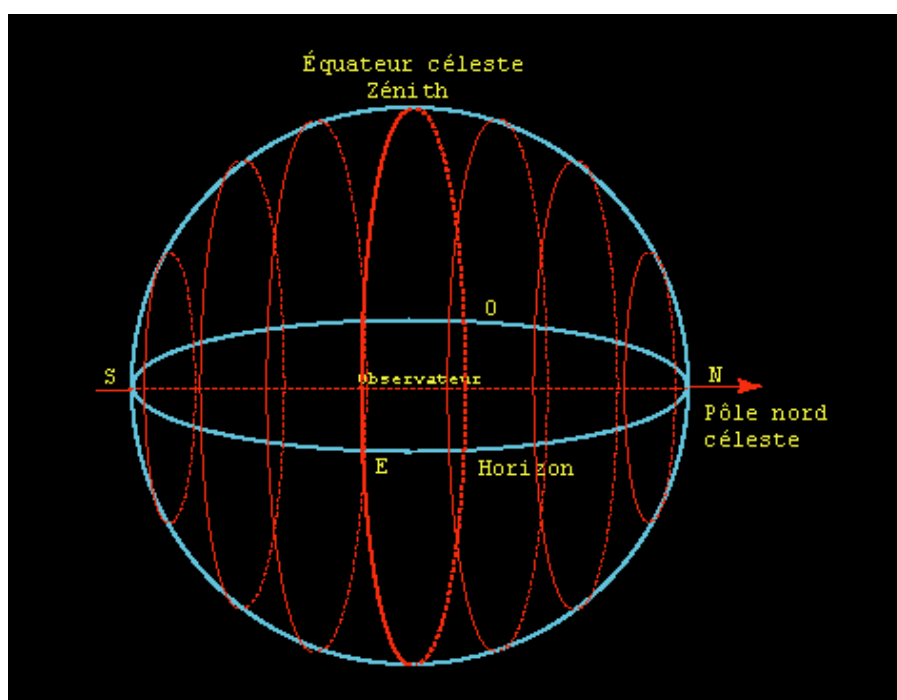
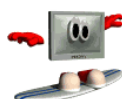


Figure 6.10: Le mouvement apparent des étoiles à l'équateur



Animation 6.6: Trajectoire apparente des étoiles à l'équateur (3.6 Mo)



Application Java 6.1: http://home.a-city.de/walter.fendt/af/starposition_f.htm

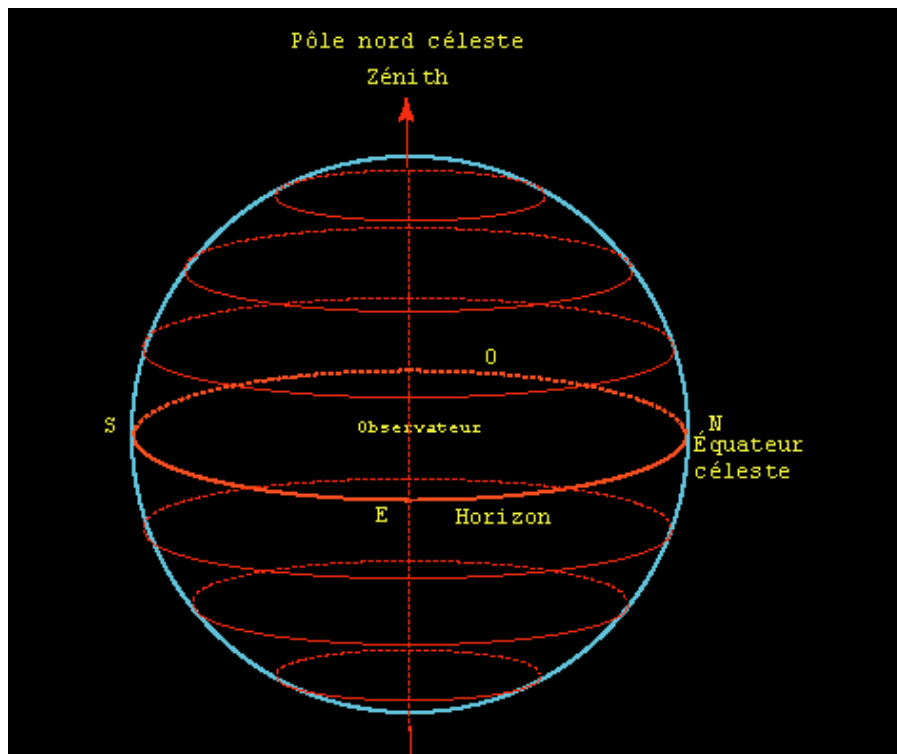


Figure 6.11: Le mouvement apparent de étoile au pôle nord



Animation 6.7: Trajectoire apparente des étoiles au pôle Nord (2.7 Mo)

La rotation terrestre et les mouvements apparents du Soleil

La course apparente quotidienne du Soleil sur la sphère céleste, également due au mouvement de rotation de la Terre, peut aussi être représentée de cette façon, mais avec un détail additionnel important: en raison du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil au cours de l'année, la morphologie de la trajectoire apparente quotidienne du Soleil sur la sphère céleste dépend de la période de l'année. Nous l'illustrons ci-dessous (**Figure 6.12**) pour le premier jour des quatre saisons, pour un observateur situé à une latitude géographique de $+30^\circ$ N. Notez deux détails importants: en été, le Soleil monte beaucoup plus haut dans le ciel, et il passe une plus grande fraction de sa trajectoire apparente au-dessus de l'horizon.

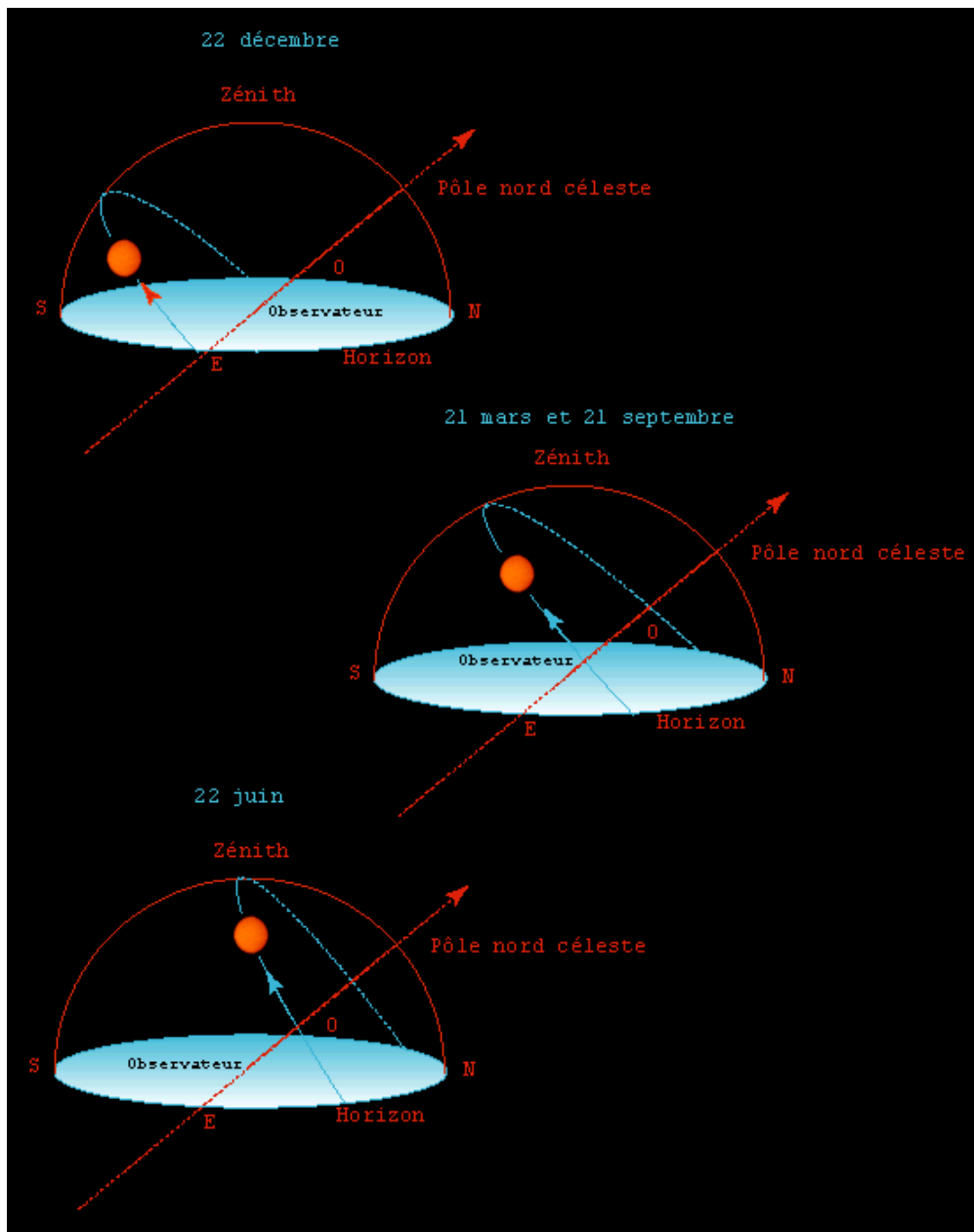


Figure 6.12: Le mouvement apparent du Soleil

Maintenant, plaçons-nous encore une fois à quelques endroits particuliers sur Terre afin de voir à quoi ressemblent les trajectoires apparentes du Soleil à ces endroits. Nous choisissons, pour ce faire, un point de latitude $+66.5^\circ$ N, ainsi que le pôle nord. Les trajectoires apparentes du Soleil à une latitude de $+66.5^\circ$ N au début de l'été et au début de l'hiver sont indiquées sur la **Figure 6.13**. On voit que le 22 juin, le Soleil ne passe jamais sous l'horizon au cours de la journée. Le Soleil reste donc constamment levé à cette latitude cette journée-là. La latitude particulière à partir de laquelle ce phénomène est observé s'appelle le **cercle polaire**. Pour des latitudes supérieures à $+66.5^\circ$ N, le Soleil reste constamment au dessus de l'horizon pour une période de plus en plus longue; au pôle, cette période dure 6 mois (voir la **Figure 6.14**). C'est le phénomène du **Soleil de minuit**. Les trajectoires correspondantes du début de l'hiver au cercle polaire et au pôle nord sont aussi montrées aux **Figures 6.13** et **6.14**. Dans ce cas, à $+66.5^\circ$ N, le Soleil ne se lève pas cette journée-là. Au pôle, le Soleil ne se lèvera pas pendant 6 mois; c'est la nuit polaire.

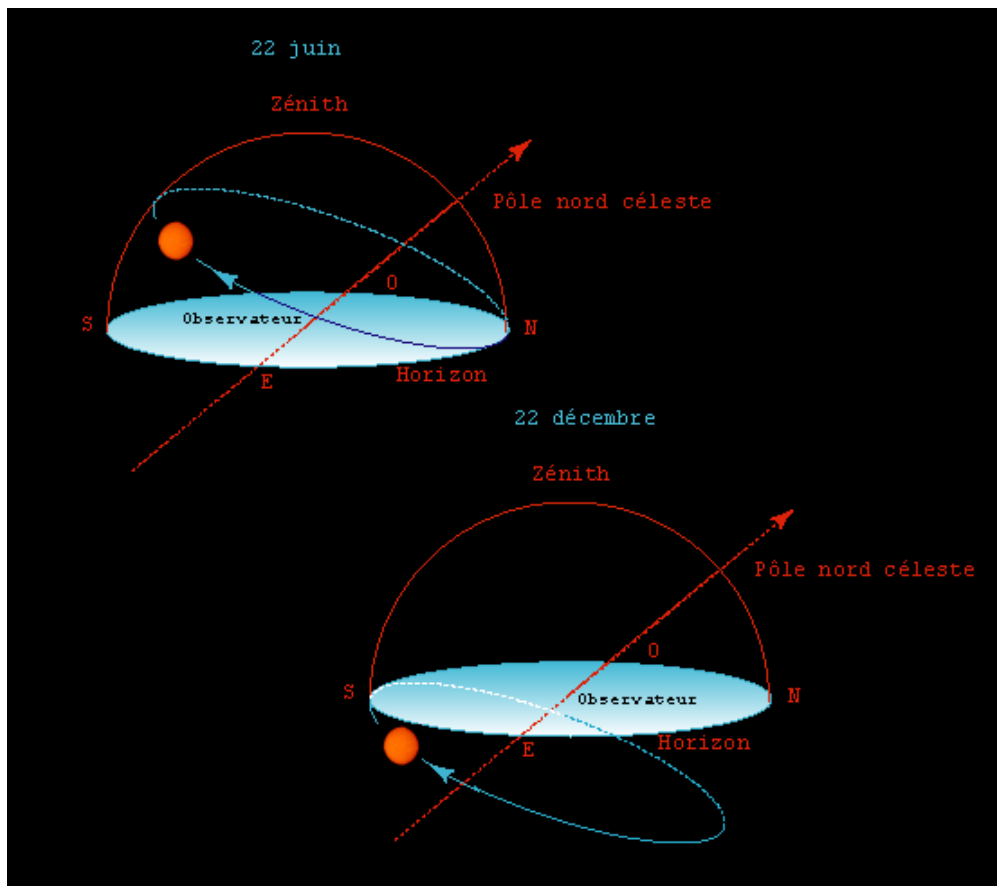


Figure 6.13: Le mouvement apparent du Soleil au cercle polaire



Animation 6.8: Soleil de minuit au cercle polaire nord le 22 juin (19.2 Mo)

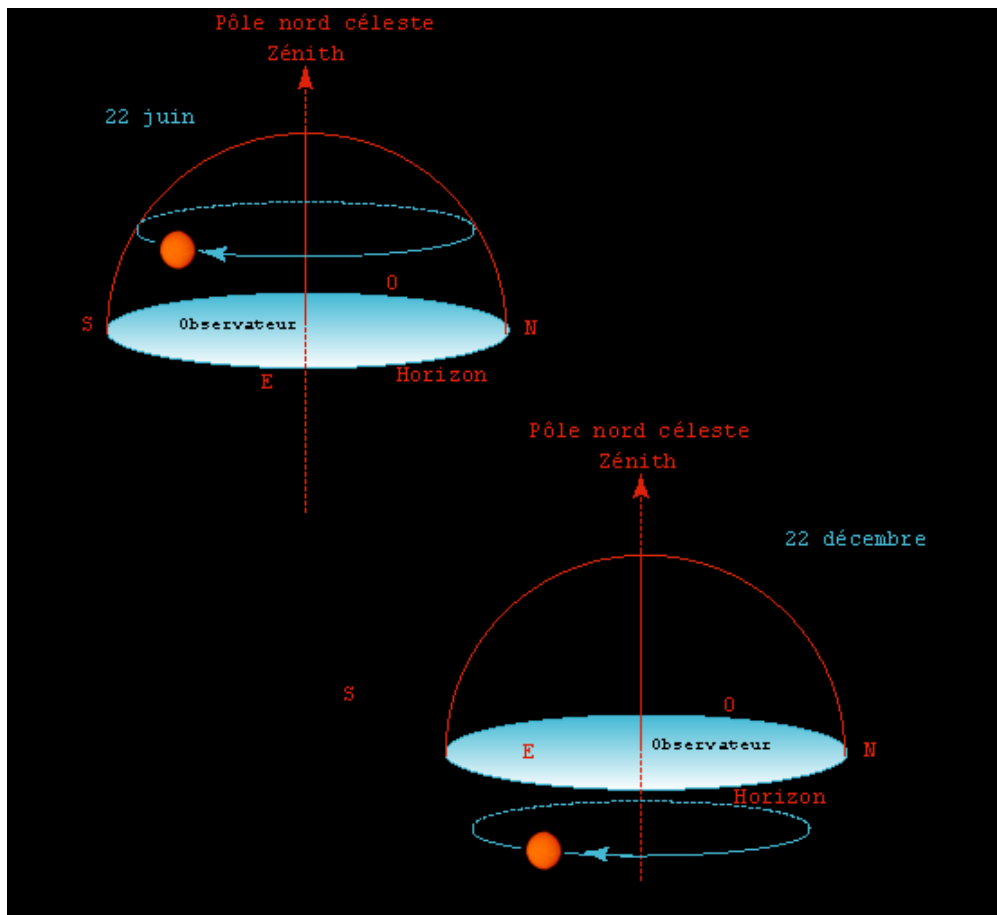


Figure 6.14: Le mouvement apparent du Soleil au pôle nord



Animation 6.9: Trajectoire apparente du Soleil le 22 juin au pôle Nord (4.2 Mo)

Le mouvement de révolution et les saisons

L'existence de **saisons** au cours du mouvement annuel de révolution de la Terre autour du Soleil est attribuable à l'inclinaison de l'écliptique par rapport à l'équateur céleste. La **Figure 6.4** montre la course annuelle de la Terre autour du Soleil. Il y a quatre points remarquables sur l'orbite: le point où le pôle nord terrestre penche le plus vers le Soleil; celui où le pôle sud penche le plus vers le Soleil; et finalement les deux points où l'axe polaire est perpendiculaire à la direction Terre-Soleil.

Les moments où la Terre atteint ces endroits particuliers de son orbite s'appellent: **solstice d'été** (le 22 juin), **solstice d'hiver** (22 décembre), et les **équinoxes** d'automne (21 septembre) et du printemps (21 mars), respectivement. Ces deux termes viennent du latin: solstice de **sol**, le Soleil, et **stare**, s'arrêter (aux solstices, le Soleil, ayant atteint son point le plus haut/bas dans le ciel, arrête alors de monter/descendre) équinoxe vient d'**aequi**, qui signifie égal, et **nox**, qui signifie

nuit (la durée de la nuit est égale à celle du jour). L'instant précis où la Terre atteint ces quatre points définit le début des saisons.

Puisqu'au solstice d'été, l'hémisphère nord terrestre est penché vers le Soleil, cet hémisphère est considérablement illuminé, et c'y est alors l'été. Six mois plus tard, au solstice d'hiver, l'hémisphère nord est penché dans la direction opposée au Soleil, et - en raison de l'illumination diminuée - c'est alors l'hiver dans cet hémisphère. Notez bien que ces saisons sont inversées dans l'hémisphère sud. Lors des saisons intermédiaires, le printemps et l'automne, les deux hémisphères terrestres sont à peu près également illuminés par le Soleil.

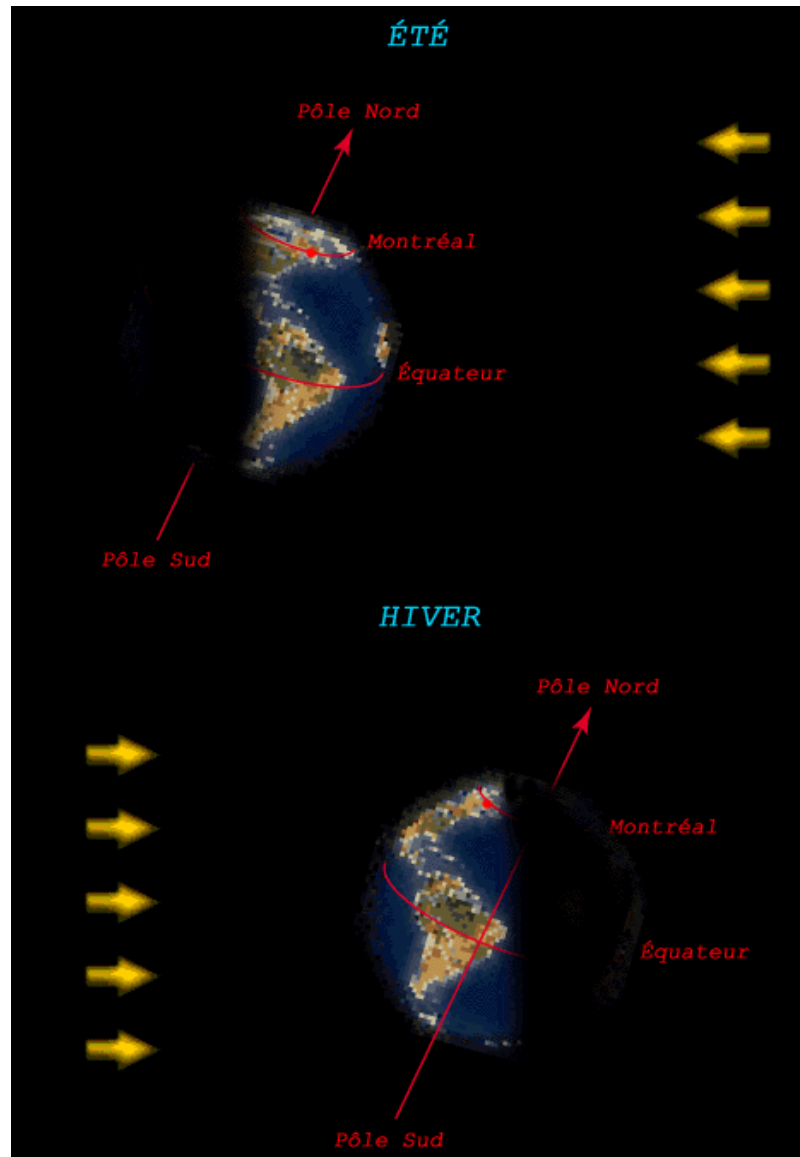


Figure 6.15: La durée du jour et de la nuit en fonction des saisons

Deux caractéristiques très évidentes des saisons peuvent s'expliquer facilement en terme de l'angle d'inclinaison de l'écliptique par rapport à l'équateur céleste. En consultant la **Figure 6.15** et la **Figure 6.16** ci-dessous, on constate facilement que les jours sont plus longs en été. De plus, le Soleil monte beaucoup plus haut dans le ciel en été. À Montréal, à une latitude de $+45^\circ$, l'altitude maximale du Soleil (c.à.d. sa hauteur maximale au-dessus de l'horizon) est de $+68.5^\circ$ en été et seulement de $+21.5^\circ$ en hiver. Puisque les rayons du Soleil éclairent plus à la verticale en été, la surface terrestre reçoit alors plus de chaleur par unité de surface. La longueur des jours et l'altitude maximale du Soleil contribuent tous deux à faire de l'été la saison

chaude que nous connaissons.

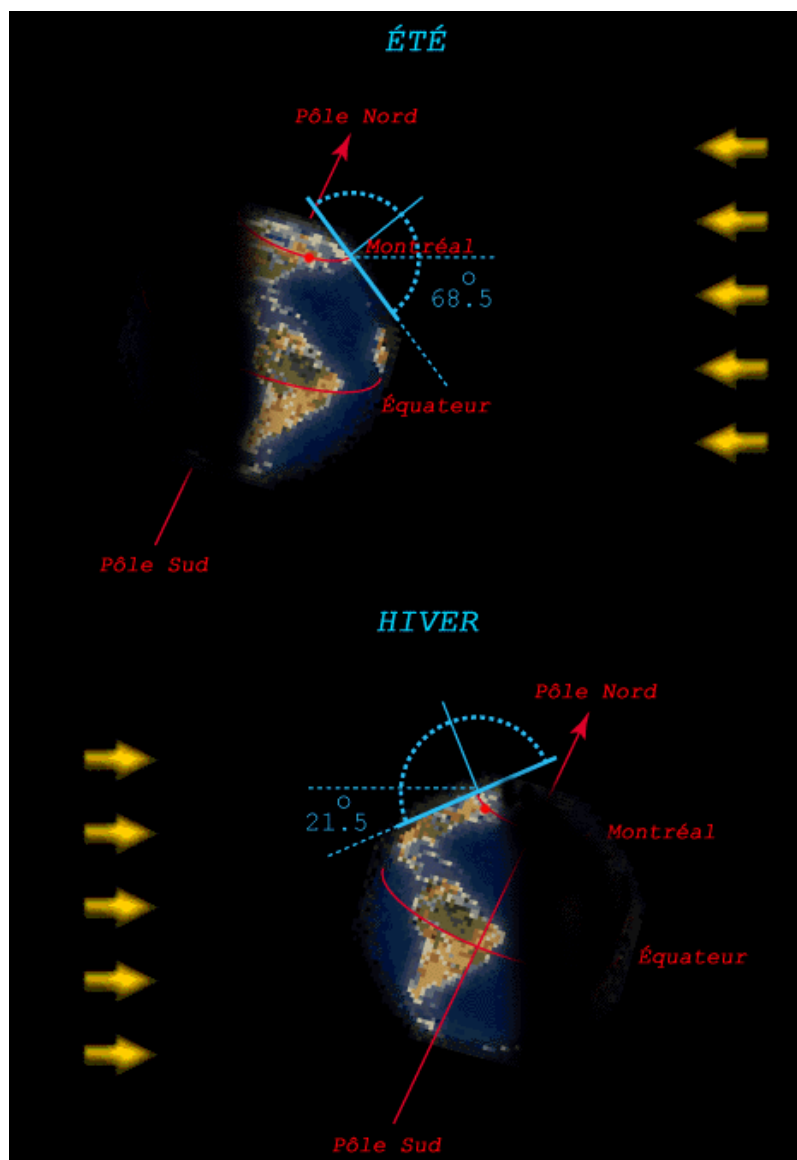


Figure 6.16: L'inclinaison des rayons du Soleil en fonction des saisons

Il est important de noter que c'est bien l'inclinaison de l'axe de rotation qui est responsable des changements de température associés aux saisons, et *non pas la variation de la distance de la Terre au Soleil due à son orbite elliptique*. En effet, l'orbite de la Terre est presque circulaire, et la distance Terre-Soleil ne varie que d'environ 3% entre son minimum et son maximum. Ceci cause une variation de l'intensité des rayons du Soleil de 6%. Par contre, la variation d'intensité associée à la différence d'altitude maximale du Soleil entre les solstices d'été et d'hiver cause, à Montréal, une variation d'intensité beaucoup plus grande, *d'un facteur 2.5*. On pourrait d'ailleurs penser que les hivers devraient être moins froids dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud, puisque la Terre atteint sa distance *minimale* du Soleil (on dit qu'elle est au périhélie) le 5 janvier, c'est-à-dire en plein hiver dans l'hémisphère nord. C'est en fait le contraire qui se passe, et les hivers sont moins froids dans l'hémisphère sud, car les océans plus étendus dans cet hémisphère ont pour effet de tempérer le climat, et cet effet domine celui, minime, associé à la distance Terre-Soleil variable.

Le mouvement de révolution et l'aspect changeant du ciel

L'aspect changeant du ciel en fonction de la période de l'année est également une conséquence du mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil. La **Figure 6.17** illustre cet effet. En raison de la course de la Terre au cours de l'année, différentes régions du ciel peuvent être échantillonnées en fonction de la saison. On parle souvent, en astronomie, de constellations d'été et de constellations d'hiver.

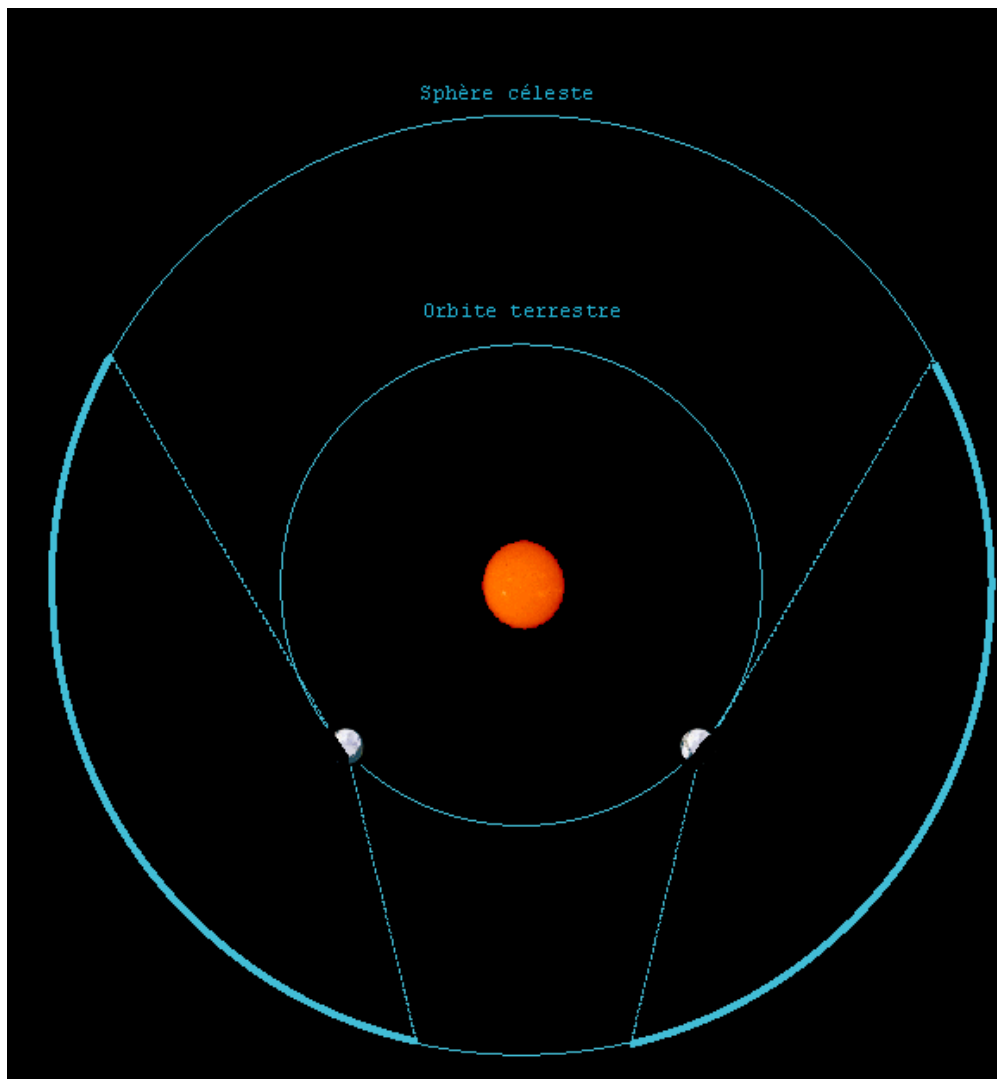


Figure 6.17: La révolution de la Terre et l'aspect du ciel