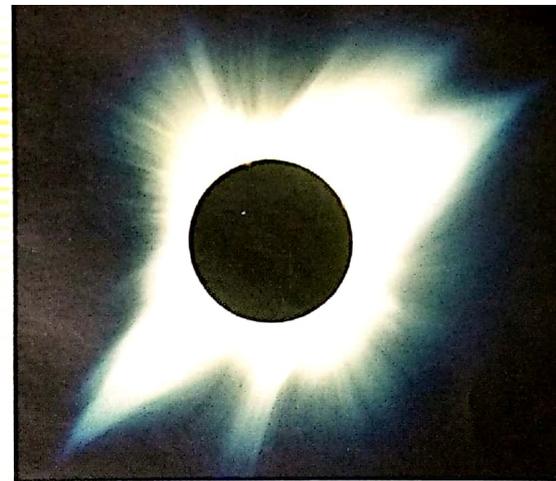


L'astronomie à l'œil nu



Une éclipse de Soleil.

LES ENFANTS DU SOLEIL

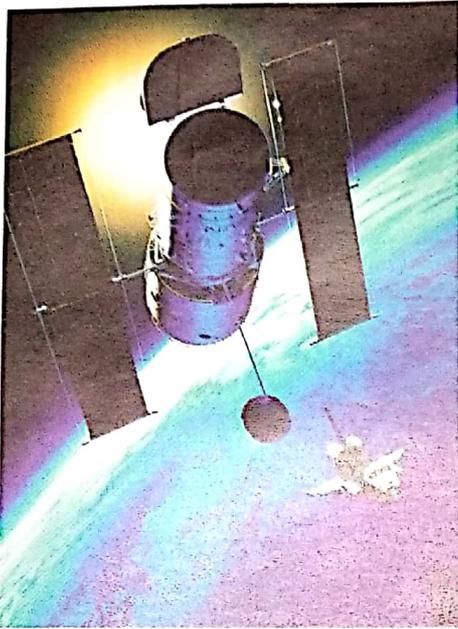
Le Soleil brûlait déjà depuis longtemps, animé du même feu nucléaire qui avait présidé aux premiers instants de la création. Le cortège de gouttelettes de matière qui avait survécu à la naissance tumultueuse de l'astre tournoyait dans son immense puits de gravité, en un lent ballet chorégraphié par les infatigables lois de la nature. Tout était calme; les milliards d'années se suivaient et se ressemblaient... sauf sur la troisième gouttelette, qui depuis le commencement avait refusé de se ranger. En équilibre dynamique entre le trop chaud et le trop froid, le trop dense et le trop dilué, la Terre était en perpétuel changement, en perpétuelle évolution. Quatre milliards et demi d'années avaient transformé sa masse de roche inerte en une oasis bleu-vert d'une richesse inégalée dans ce secteur du cosmos. Tandis que le Soleil déversait ses flots d'énergie à travers sa mince atmosphère, la vie à sa surface avait progressé jusqu'à l'apparition d'êtres capables de s'interroger sur leur environnement et sur leur propre existence.

Un beau jour (ou était-ce une nuit?), quelque part sur le continent qui s'appellerait un jour l'Afrique, apparut le premier astronome. Il n'avait ni télescope ni compas. Il ne savait ni lire ni écrire. Mais il venait de comprendre que l'on n'était pas obligé de toujours subir la nature. On pouvait l'observer et essayer de la comprendre. Les animaux savent distinguer le jour de la nuit. Certains guident même leur comportement en fonction de la durée variable des jours au fil des saisons. Mais seul l'être humain est capable de comprendre que l'inclinaison de la trajectoire du Soleil dans le ciel affecte la durée du jour et l'intensité de la chaleur reçue. Avec cette observation toute simple, mais combien porteuse d'interrogations futures, l'humanité venait de franchir le premier pas qui allait lui permettre, en moins d'un millièmè du temps qui avait été nécessaire à son apparition, de remodeler la nature entière à son image.

Le Soleil demeura longtemps la préoccupation principale des astronomes. L'élaboration d'un système de calendrier à partir des mouvements du Soleil fut la première grande réussite de l'astronomie. Beaucoup plus tard, alors que la première ébauche d'une civilisation se dessinait en Mésopotamie, quelqu'un voulut réaliser un calendrier plus complexe qui combinerait les mouvements du Soleil et de la Lune. Malheureusement, il n'y avait pas un nombre entier de cycles mensuels de la Lune dans un cycle annuel du Soleil; mais heureusement, les mathématiques venaient d'être inventées. L'astronomie ne serait plus jamais la même.



L'observatoire de Stonehenge, v. 1700 av. J.-C.



L'observatoire orbital Hubble, v. 2000 ap. J.-C.

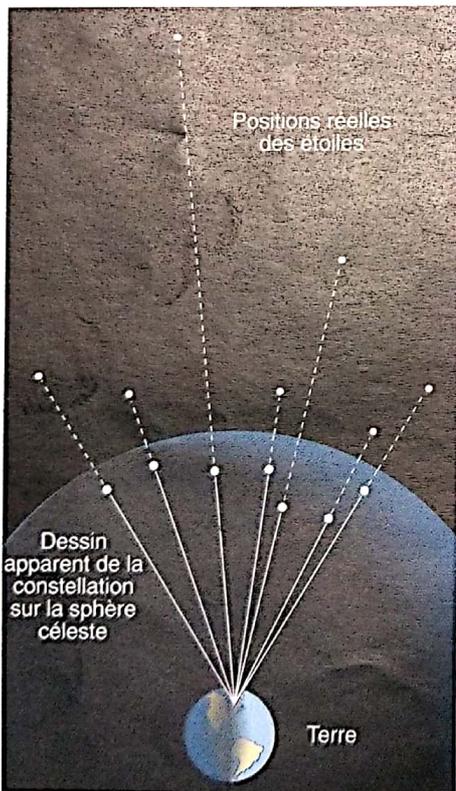


Figure 0.1

Les étoiles de la constellation de la Grande Ourse ne sont pas toutes à la même distance de la Terre. La forme caractéristique de la constellation est fortuite et résulte d'un effet de perspective.

L'effort déployé dans la réalisation d'un calendrier luni-solaire eut des retombées sur l'étude d'autres objets célestes au mouvement intrigant: les planètes Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Un jour, un illuminé influent eut l'idée que la position de ces planètes pouvait déterminer l'issue d'une guerre ou le destin d'un roi. L'intérêt pour ces points de lumière dans le ciel décupla du jour au lendemain. Bientôt, les Grecs réalisèrent un mariage fécond entre la géométrie des arpenteurs et les observations des astronomes, construisant les premiers modèles géométriques du cosmos.

Deux mille ans plus tard, leurs descendants s'élevaient sur des piliers de feu à l'assaut du ciel, faisaient quelques pas de danse sur la Lune et envoyaient des robots explorateurs jusqu'aux confins du système solaire. Le bon vieux Soleil n'avait pas changé, mais, dans l'esprit des êtres humains, il n'était plus qu'une petite étoile parmi une multitude. Pour le meilleur ou pour le pire, les enfants du Soleil auraient l'Univers en héritage.

L'astronomie moderne est une science qui comporte plusieurs aspects spectaculaires et mystérieux, comme la théorie du Big Bang ou le phénomène des trous noirs. Mais avant de nous lancer à la découverte de l'inconnu, nous allons nous interroger sur des phénomènes astronomiques plus ordinaires, beaucoup plus proches de la vie de tous les jours. Le dessin familier des constellations dans le ciel, les phases de la Lune, les changements saisonniers de la durée du jour, une éclipse occasionnelle: voilà autant de phénomènes que tout le monde connaît. Pour les étudier et les comprendre, nul besoin d'un télescope spatial ou d'un doctorat en astrophysique. Pourtant, ces phénomènes en apparence fort simples peuvent nous réserver bien des surprises.

Avant d'entreprendre ce chapitre, posez-vous les deux questions suivantes: «Qu'est-ce qui cause les phases de la Lune?» «Pourquoi y a-t-il des saisons?» Si vous n'avez jamais étudié l'astronomie, les réponses ne vous viendront pas aisément. Un sondage auprès de votre entourage révélerait sans doute que la majorité des gens associent les phases de la Lune à l'ombre de la Terre sur celle-ci, et les saisons, à la variation de la distance de la Terre au Soleil. Ces deux explications sont pourtant fausses.

Ce chapitre d'introduction se veut une exploration des phénomènes et des objets célestes visibles à l'œil nu. Il constitue aussi, par le fait même, un exposé sur les racines historiques de l'astronomie, la plus ancienne des sciences de la nature.

0.1 LES CONSTELLATIONS

Un ciel nocturne sans nuages, sans Lune et loin des lumières de la ville est l'un des plus grandioses spectacles naturels qui soient. Combien peut-on voir d'étoiles en tout à l'œil nu? La réponse est un peu décevante: pas plus de 3000 à la fois. Il y a 6000 étoiles visibles à l'œil nu, mais à chaque instant on n'en voit que la moitié, puisqu'on ne peut voir que la moitié du ciel située au-dessus de l'horizon. C'est à cause de la rotation quotidienne de la Terre sur elle-même que les étoiles semblent dériver dans le ciel d'est en ouest au cours de la nuit. Leur position les unes par rapport aux autres ne change pas. Pour être plus précis, disons que les étoiles possèdent un

léger mouvement propre qui modifie graduellement la forme des constellations, mais ce mouvement est tellement infime que son effet ne devient généralement important qu'au bout de plusieurs dizaines de milliers d'années.

Les **constellations** (du latin *constellatio*, «ensemble d'étoiles») sont des regroupements conventionnels d'étoiles brillantes selon des figures plus ou moins étendues. Chaque civilisation antique a désigné des constellations au moyen d'appellations imagées, qui n'ont souvent pas grand-chose à voir avec leur forme apparente. Par exemple, la partie bien connue de la constellation que les Grecs ont nommée la Grande Ourse ressemble en réalité à une casserole ! Bien sûr, les Anciens ne croyaient pas qu'il y avait réellement un ours dans le ciel, ni davantage un lion, une balance ou un taureau. S'ils regroupaient les étoiles en constellations auxquelles ils accolaient des noms frappants, c'était surtout pour se donner un moyen pratique de s'orienter dans le ciel.

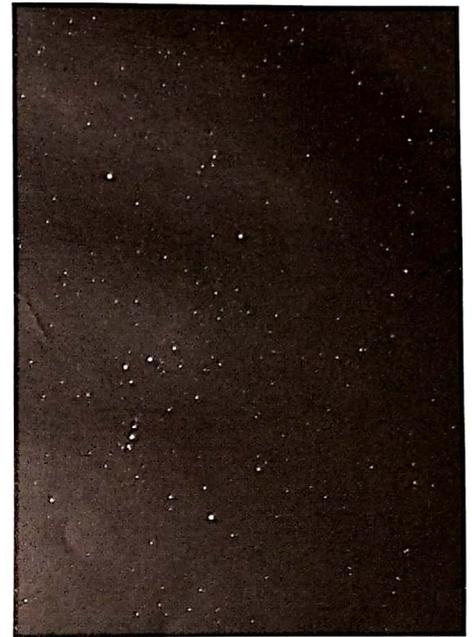
La majeure partie des anciens astronomes croyaient que les étoiles étaient des objets lumineux plutôt petits, fixés sur un plafond recourbé invisible. Les Grecs, notamment, croyaient que toutes les étoiles étaient fixées à une **sphère céleste** creuse dont la Terre occupait le centre*. Pour eux, le dessin des constellations correspondait réellement à la façon dont les étoiles étaient situées les unes par rapport aux autres. Or, on sait aujourd'hui que les étoiles sont distribuées dans l'espace à des distances très variables par rapport à la Terre. Même parmi les étoiles visibles à l'œil nu, certaines sont plusieurs centaines de fois plus éloignées de nous que d'autres. Ainsi, le dessin d'une constellation donnée n'est que la projection en deux dimensions, vue de la Terre, d'une distribution d'étoiles en réalité très éloignées les unes des autres (figure 0.1). Seul un effet de perspective explique qu'on puisse les voir depuis la Terre dans la même région du ciel et formant un dessin particulier. Ainsi, il ne faut pas accorder de signification particulière à la forme du dessin des constellations. Il ne faut pas non plus confondre les constellations avec les véritables **amas d'étoiles**, qui sont des regroupements bien réels d'étoiles toutes situées dans une région relativement restreinte de l'espace. (Nous traiterons des amas d'étoiles au chapitre 7.)

Les astronomes modernes ont défini 88 constellations couvrant la totalité du ciel. Environ les trois quarts sont visibles à partir du Québec (soit à 45° de latitude nord environ). Les autres se trouvent trop au sud : il faudrait se rendre à l'équateur pour les apercevoir toutes. Plusieurs noms de constellations nous viennent des Grecs, par exemple Orion (figure 0.2), Hercule et Persée. D'autres noms, comme le Taureau et le Lion, remontent à l'époque mésopotamienne, il y a plus de 4000 ans. Certaines constellations, situées surtout dans l'hémisphère Sud, telles que le Télescope et l'Horloge, ont été baptisées plus récemment, au XVIII^e siècle. Les diverses régions du ciel ne sont pas toutes pourvues d'étoiles brillantes ; ainsi, certaines constellations ne présentent pas de dessin facilement reconnaissable et n'ont été désignées qu'à des fins de repérage.

Les astronomes indiquent souvent la position d'un objet céleste en spécifiant la constellation où il apparaît. Par exemple, la galaxie principale la plus proche de la nôtre a pour nom Andromède, car, vue de la Terre, elle se trouve dans le secteur du ciel délimité par la constellation d'Andromède. Toutefois, la galaxie d'Andromède est plusieurs milliers de fois plus éloignée que les étoiles visibles formant la constellation. De même,

* Les Grecs savaient que la Terre était sphérique. Voir la section 1.3.

a)



b)

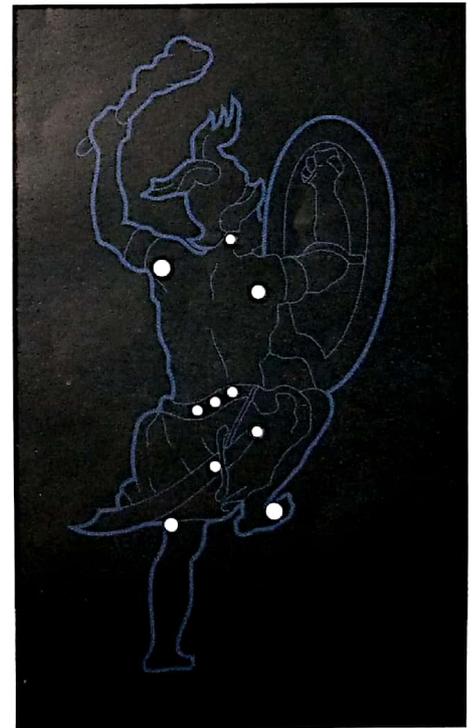


Figure 0.2

a) Une photographie de la constellation d'Orion, la plus spectaculaire des constellations du ciel d'hiver. (La région du ciel représentée par la photo correspond en largeur à environ 30 fois le diamètre de la pleine Lune.)

b) L'interprétation que donnaient les Grecs de l'Antiquité du dessin de cette constellation : Orion, le chasseur.

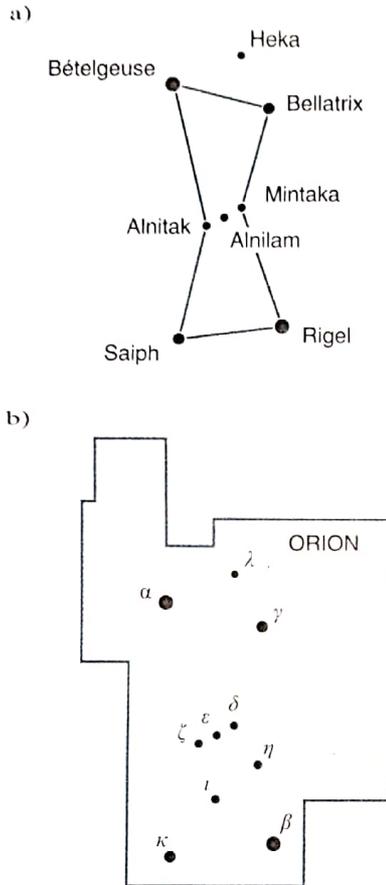


Figure 0.3

- a) Les étoiles les plus brillantes de la constellation d'Orion ont des noms d'origine arabe.
 b) Les limites modernes de la constellation d'Orion, et les lettres grecques désignant ses étoiles principales.

lorsqu'on dit que la planète Mars est dans la constellation du Taureau, c'est que, vue de la Terre, elle passe *devant* la constellation; en réalité, Mars est plusieurs millions de fois plus près de nous que les étoiles du Taureau.

Les noms des étoiles

Les anciens astronomes ont donné des noms aux étoiles les plus brillantes. La plupart sont d'origine arabe, comme Bételgeuse ou Rigel (figure 0.3a). Toutefois, à peine quelques centaines d'étoiles possèdent des noms remontant à l'Antiquité. Les astronomes modernes préfèrent nommer une étoile au moyen d'une lettre grecque suivie du nom de la constellation dans laquelle elle se trouve (figure 0.3b). Cet usage a été introduit par Johann Bayer en 1603. Par exemple, l'étoile Véga a été rebaptisée Alpha de la Lyre, alpha (α) étant la première lettre de l'alphabet grec, et l'étoile en question étant la plus brillante de la constellation de la Lyre. En général, les lettres de l'alphabet grec (alpha, bêta, gamma, etc.) sont assignées dans l'ordre aux étoiles les plus brillantes d'une constellation, mais les exceptions sont nombreuses: par exemple, l'étoile la plus brillante de la constellation du Sagittaire est désignée par sigma, la 18^e lettre grecque!

De toute façon, il n'y a que 24 lettres grecques. (L'alphabet grec se trouve à l'annexe III.) Pour nommer toutes les étoiles connues, on doit utiliser une série de lettres, de chiffres et de noms de catalogues. Cela donne des noms peu poétiques tels que Groombridge 34A, Lalande 21185 ou LSI +61°303. Les étoiles qui portent de tels noms sont souvent invisibles à l'œil nu.

Le système des magnitudes

Les étoiles n'ont pas toutes la même brillance apparente (intensité). Au II^e siècle avant J.-C., l'astronome grec Hipparque divisa les étoiles en six catégories d'intensité, qu'il nomma **magnitudes**. Il attribua aux étoiles les plus brillantes la 1^{re} magnitude, à celles qui étaient un peu moins brillantes, la 2^e magnitude, et ainsi de suite jusqu'à la 6^e magnitude, qui correspondait à la limite de visibilité à l'œil nu. On remarque que *plus le chiffre représentant la magnitude est élevé, moins l'étoile est brillante*. Malgré cette source de confusion, le système d'Hipparque, que l'on raffina au fil des siècles, est encore utilisé de nos jours par les astronomes. On a étendu l'échelle des magnitudes aux objets visibles au télescope. Ainsi, des objets célestes se voient couramment attribuer des magnitudes 15 ou 20. À l'autre extrémité de l'échelle, on donne la magnitude 0 ou même des magnitudes négatives aux objets plus brillants que les étoiles les plus brillantes (de magnitude 1) observées par Hipparque, comme certaines planètes. Nous n'utiliserons pas le système des magnitudes dans cet ouvrage. Au besoin, nous indiquerons (à partir du chapitre 2) la brillance des étoiles en watts par mètre carré (W/m^2), l'unité SI d'intensité, ou encore en sirius (voir l'annexe II). Le complément 4.1 présente les règles de conversion entre les magnitudes et les autres unités.

0.2 LA ROTATION DE LA SPHÈRE CÉLESTE

En regardant le ciel pendant plusieurs heures au cours d'une même nuit, on observe que la sphère céleste tourne sur elle-même. Ce mouvement apparent, qui s'effectue au rythme d'un tour par jour, est appelé **rotation diurne** (figure 0.4). La majorité des astronomes de l'Antiquité considéraient la rotation diurne comme une véritable rotation de la sphère

céleste autour de la Terre, immobile et fixe au centre de l'Univers. Dans la perspective moderne, on inverse les choses : c'est l'ensemble des étoiles que l'on tient pour un repère fixe et immobile, et c'est la Terre qui tourne sur elle-même en un jour.

Néanmoins, afin de décrire les effets observables de la rotation diurne, il est pratique d'imaginer que la Terre est immobile au centre d'une sphère céleste en rotation, car c'est ainsi que l'on se représente spontanément le ciel. On a beau apprendre dès la petite école que la Terre tourne sur elle-même d'ouest en est, les objets célestes continueront toujours pour nous à se lever à l'est et à se coucher à l'ouest, comme si c'était eux qui tournaient autour de la Terre.

On peut repérer les étoiles sur la sphère céleste comme on repère une ville sur un globe terrestre. En projetant simplement les pôles et l'équateur de la Terre dans l'espace, on établit **les pôles et l'équateur de la sphère céleste** (figure 0.5). On peut alors déterminer, pour chaque étoile (ou objet céleste), l'angle δ (delta), formé par la ligne de visée qui va de la Terre à l'étoile et l'équateur céleste. Cet angle se nomme **déclinaison**. La déclinaison varie entre $+90^\circ$ pour le pôle Nord céleste et -90° pour le pôle Sud céleste. Elle est l'équivalent, sur la sphère céleste, de la latitude d'un lieu sur Terre (voir l'annexe IV).

L'étoile Polaire

Vue de la Terre, la rotation de la sphère céleste n'affecte pas également toutes les constellations. Imaginez que la sphère céleste représentée à la figure 0.5 tourne : les constellations situées près des pôles célestes ne se déplaceront presque pas, contrairement à celles qui avoisinent l'équateur céleste. La rotation n'affecterait pas du tout une étoile située exactement au pôle Nord ou au pôle Sud céleste. Or, depuis mille ans environ, une étoile assez brillante se trouve presque exactement au pôle Nord céleste. (En ce moment, elle se trouve à une déclinaison de 89° .) C'est l'étoile brillante pratiquement immobile située un peu à gauche du centre de la figure 0.4, appelée **étoile Polaire**, ou **Polaris**. Vues de la Terre, toutes les étoiles de l'hémisphère Nord de la sphère céleste semblent tourner autour d'elle.

À cause de cette caractéristique unique, Polaris sert depuis longtemps de point de repère aux voyageurs et aux navigateurs de l'hémisphère Nord. Sa position n'étant pas affectée par la rotation de la Terre, elle indique toujours le nord. De plus, son élévation au-dessus de l'horizon indique la position de l'observateur par rapport à l'équateur terrestre. Sur la figure 0.5, imaginez un observateur au pôle Nord de la Terre : Polaris sera directement au-dessus de sa tête. Maintenant, imaginez cet observateur à l'équateur : c'est tout juste s'il pourra apercevoir Polaris à l'horizon. Si notre observateur se trouvait dans l'hémisphère Sud, Polaris lui serait invisible.

Les astronomes définissent l'**altitude** d'un corps céleste comme l'angle formé par la ligne de visée allant vers ce corps et l'horizon. Au complément 0.1, on montre que l'altitude de l'étoile Polaire* est égale à la latitude du lieu d'observation (pour un lieu situé dans l'hémisphère Nord). Par exemple, Paris est à 49° de latitude nord, et l'altitude de l'étoile Polaire y est de 49° .

* Plus précisément, on devrait parler de l'altitude du pôle Nord céleste.



Figure 0.4

Une exposition d'environ 40 minutes effectuée par une caméra ordinaire pointée vers l'étoile Polaire permet de mettre en évidence la rotation apparente de la sphère céleste par rapport à la Terre.

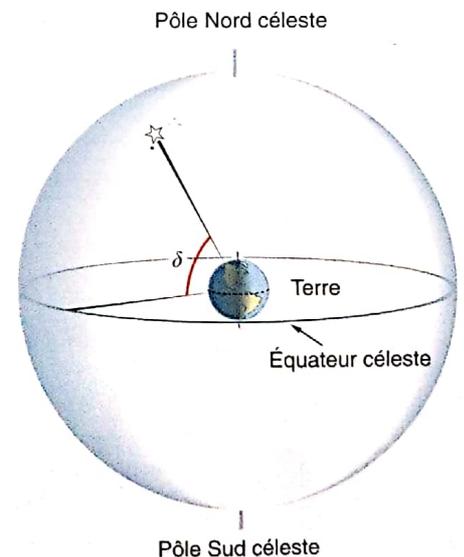


Figure 0.5

La sphère céleste est une sphère centrée sur la Terre imaginée par les astronomes de l'Antiquité. Les pôles et l'équateur de la sphère céleste sont la projection des pôles et de l'équateur de la Terre. La déclinaison d'une étoile correspond à l'angle formé par la ligne de visée qui va de la Terre à l'étoile et l'équateur céleste. L'angle δ varie de 0° , pour l'équateur, à $\pm 90^\circ$, pour les pôles.



Photo à exposition longue révélant la rotation de la sphère céleste. À l'avant-plan, l'observatoire Keck sur le Mauna Kea, à Hawaï.

Les étoiles circumpolaires et les étoiles invisibles

Au cours d'une nuit, la rotation de la sphère céleste fait en sorte que certaines étoiles se lèvent et d'autres se couchent. Toutefois, il existe des étoiles qui sont toujours visibles depuis un lieu donné, quelle que soit l'heure de la nuit ou la saison de l'année. Ces étoiles se trouvent dans une région plus ou moins étendue qui encercle le pôle céleste, d'où leur nom d'**étoiles circumpolaires**. D'autres étoiles sont carrément invisibles depuis un lieu donné: par exemple, Alpha du Centaure (voir la fenêtre 7 du prologue) est invisible depuis la latitude de Montréal.

Afin de savoir comment déterminer si une étoile est circumpolaire, occasionnellement visible ou carrément invisible, nous allons choisir six étoiles de manière à couvrir un large éventail de déclinaisons:

Polaris	(Alpha de la Petite Ourse)	$\delta = 89^\circ$
Dubhe	(Alpha de la Grande Ourse)	$\delta = 62^\circ$
Castor	(Alpha des Gémeaux)	$\delta = 32^\circ$
Mintaka	(Delta d'Orion)	$\delta = 0^\circ$
Fomalhaut	(Alpha du Poisson austral)	$\delta = -30^\circ$
Alpha du Centaure		$\delta = -60^\circ$

La rotation de la sphère céleste fait en sorte que ces étoiles se déplacent sur des trajectoires circulaires (figure 0.6).

Nous allons observer ces étoiles depuis trois lieux à la surface de la Terre: le pôle Nord, Montréal (45° de latitude nord) et Quito, sur l'équateur. À la figure 0.7a, l'horizon, c'est-à-dire le plan parallèle au sol qui sépare la partie visible de la partie invisible du ciel, est indiqué pour chacun des trois lieux. Les figures 0.7b à f montrent les trajectoires apparentes des six étoiles dans le ciel de ces lieux.

Les figures 0.7b, c et e correspondent directement à la figure 0.6, sauf que la partie du ciel se trouvant sous l'horizon a été obscurcie dans chaque cas. Les figures 0.7d et f ramènent l'horizon à l'horizontale, conformément à la perception d'un observateur situé en ces lieux.

On remarque qu'au pôle Nord toutes les étoiles de l'hémisphère Nord céleste sont circumpolaires, tandis que toutes celles de l'hémisphère Sud sont invisibles en tout temps. À Quito, aucune étoile n'est circumpolaire ou invisible: toutes les étoiles s'y lèvent et s'y couchent. Montréal représente une situation intermédiaire. Polaris et Dubhe y sont circumpolaires; Castor, Mintaka et Fomalhaut s'y lèvent et s'y couchent; Alpha du Centaure y est toujours invisible. La figure 0.7d permet de constater que, en déclinaison, la zone circumpolaire s'étend de $\delta = 45^\circ$ à $\delta = 90^\circ$, que la zone des étoiles invisibles se situe entre $\delta = -45^\circ$ et $\delta = -90^\circ$ et que, entre ces deux zones, les étoiles se lèvent et se couchent.

Au complément 0.2, on montre que, pour un observateur situé à une latitude L de l'hémisphère Nord, les paramètres d'observation sont les suivants:

étoiles circumpolaires: entre $\delta = 90^\circ - L$ et $\delta = 90^\circ$ (0.1a)
 étoiles toujours invisibles: entre $\delta = -(90^\circ - L)$ et $\delta = -90^\circ$ (0.1b)

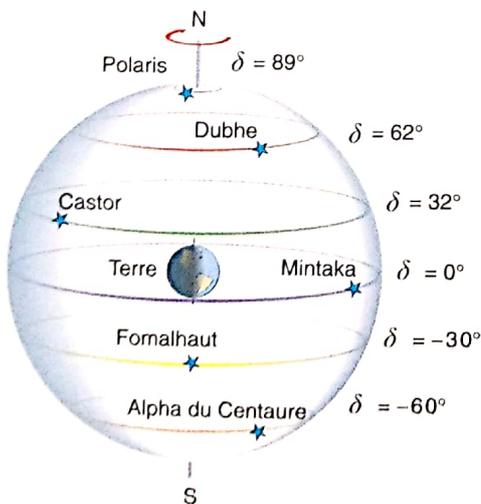
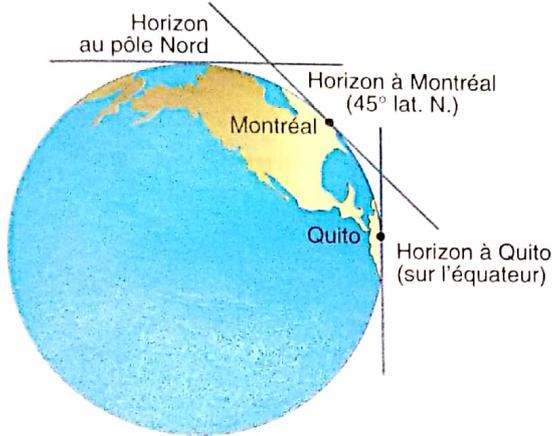
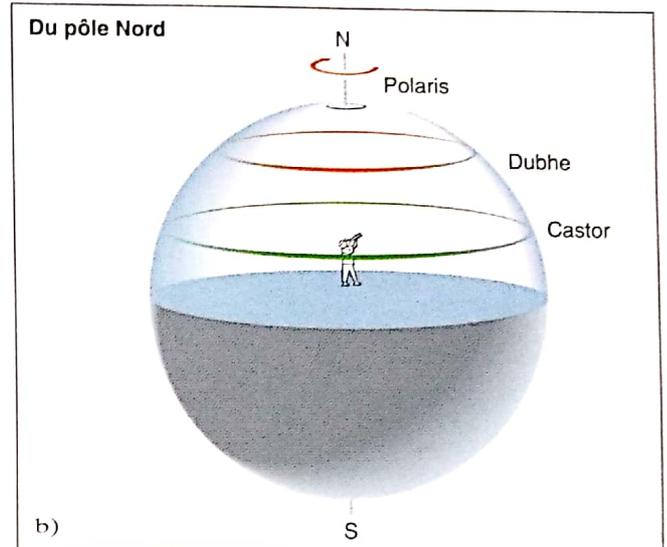


Figure 0.6

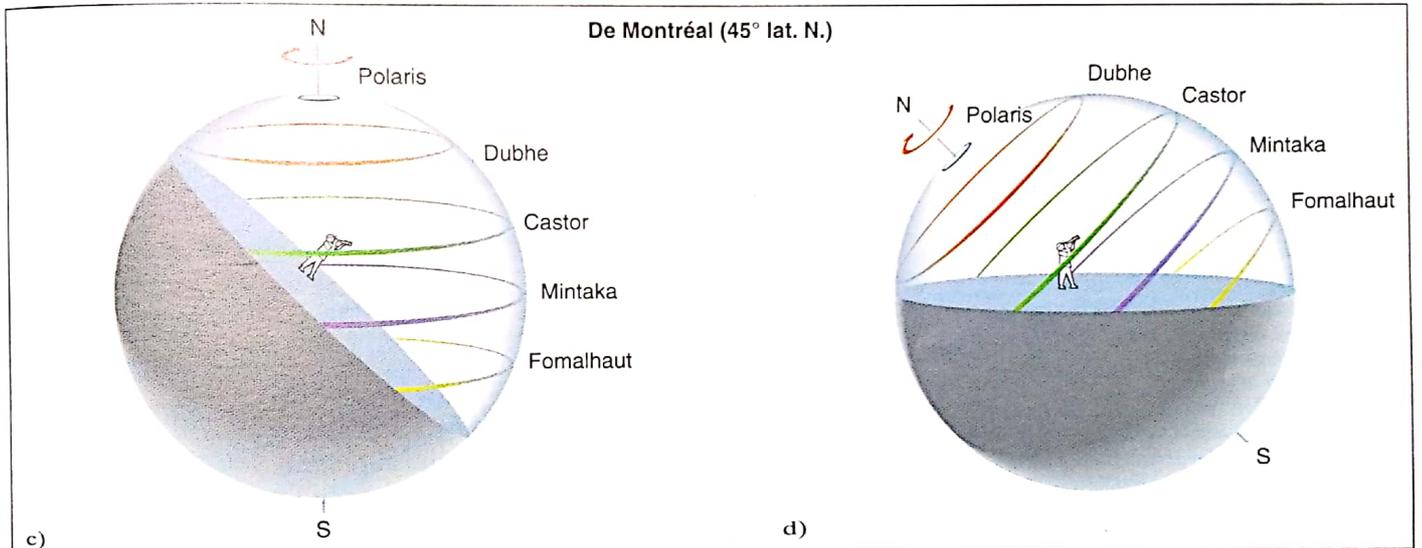
La rotation diurne de la sphère céleste entraîne les six étoiles représentées sur des trajectoires circulaires.



a)

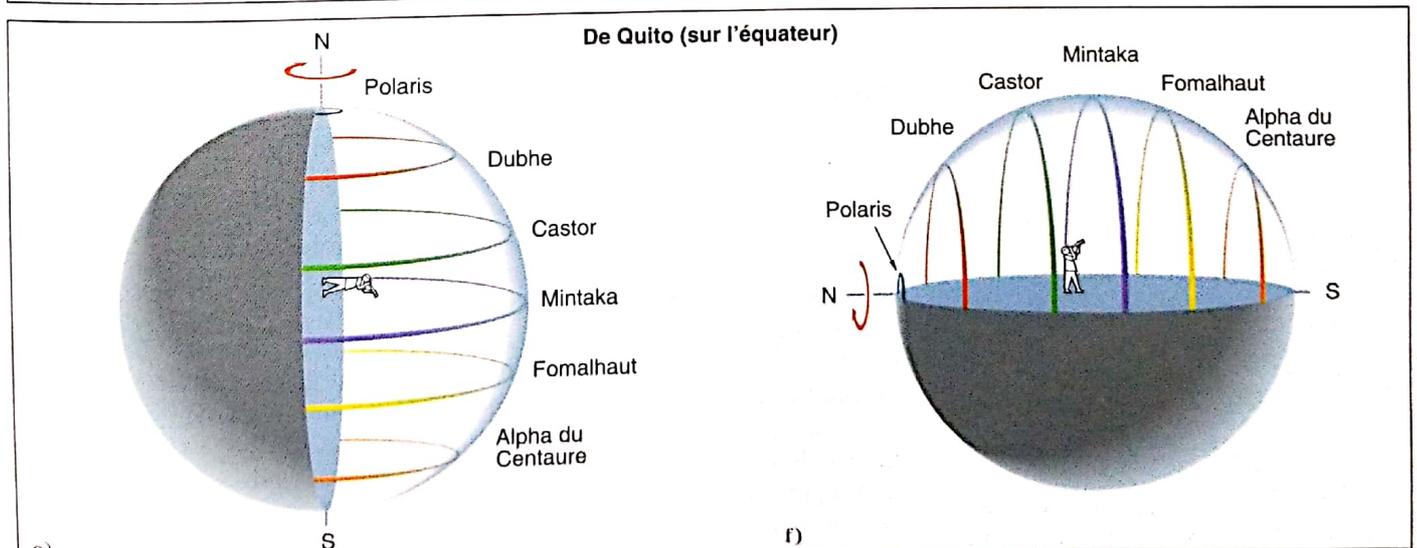


b)



c)

d)



e)

f)

Figure 0.7

Trajectoires apparentes d'étoiles dans le ciel du pôle Nord, de Montréal et de Quito.

Pour une latitude L dans l'hémisphère Sud, les paramètres s'inversent : l'équation 0.1a se rapporte aux étoiles toujours invisibles, et l'équation 0.1b s'applique aux étoiles circumpolaires.

EXEMPLE 0.1

À quelles déclinaisons se situent les étoiles circumpolaires **a)** à New York (41° de latitude nord) et **b)** à Sydney (33° de latitude sud) ?

Solution

a) D'après l'équation 0.1a, entre $\delta = 90^\circ - 41^\circ = 49^\circ$ et $\delta = 90^\circ$.

b) Comme il s'agit d'une latitude de l'hémisphère Sud, les déclinaisons des étoiles circumpolaires sont données par l'équation 0.1b : entre $\delta = -(90^\circ - 33^\circ) = -57^\circ$ et $\delta = -90^\circ$.

L'équateur étant l'endroit privilégié d'où toutes les étoiles sont visibles, le voyageur qui s'en rapproche verra apparaître des étoiles et des constellations auparavant invisibles. Les anciens navigateurs connaissaient bien ce fait, comme en témoigne le célèbre poème *Les Conquérants*, de José Maria de Heredia (ci-contre).

Les conquérants

Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal,
Fatigués de porter leurs misères hautaines
De Palos de Moguer, routiers et capitaines
Partaient, ivres d'un rêve héroïque et brutal.

Ils allaient conquérir le fabuleux métal
Que Cipango mûrit dans ses mines lointaines,
Et les vents alizés inclinaient leurs antennes
Aux bords mystérieux du monde occidental.

Chaque soir, espérant des lendemains épiques,
L'azur phosphorescent de la mer des Tropiques
Enchantait leur sommeil d'un mirage doré ;

Ou, penchés à l'avant des blanches caravelles,
Ils regardaient monter en un ciel ignoré
Du fond de l'Océan des étoiles nouvelles.

José Maria de Heredia

0.3 LE MOUVEMENT ANNUEL DU SOLEIL

Si on observe le ciel nocturne à la même heure, mais à différents moments de l'année, on s'aperçoit que les constellations n'occupent pas toujours le même endroit : certaines disparaissent au profit de nouvelles. Il faut attendre un an pour qu'à une heure donnée les mêmes constellations reviennent au même endroit. Ce changement saisonnier des constellations visibles est dû au fait que la Terre tourne autour du Soleil en un an : ainsi, vu de la Terre, le Soleil se déplace au cours de l'année par rapport aux constellations de la sphère céleste. Lorsque le Soleil se trouve dans une constellation donnée, on ne peut pas voir cette constellation, ni les constellations voisines (c'est le jour !); les constellations situées de l'autre côté de la sphère céleste sont alors visibles pendant la nuit. Six mois plus tard, le Soleil est de l'autre côté de la sphère céleste, et les constellations visibles et invisibles sont interverties. L'annexe X décrit le changement de l'aspect du ciel au fil des saisons.

Les étoiles étant invisibles pendant le jour, comment arrive-t-on à déterminer la constellation dans laquelle le Soleil se trouve ? Deux méthodes sont possibles. La première consiste à attendre les rares moments où le Soleil est éclipsé par la Lune ; les étoiles avoisinantes sont alors directement visibles. Heureusement, la deuxième méthode s'applique en tout temps. On n'a qu'à repérer la constellation qui passe au milieu de la nuit (à minuit) au même endroit que le Soleil au milieu du jour (à midi). On en déduit que le Soleil se trouve dans la constellation diamétralement opposée sur le cercle de même déclinaison. C'est ainsi que les astronomes de l'Antiquité ont pu déduire que le Soleil traverse au cours de l'année une douzaine de constellations situées sur une bande faisant le tour du ciel. Ce sont les constellations bien connues du **zodiaque** (figure 0.8a). La trajectoire annuelle du Soleil dans le ciel (le cercle suivant le centre de la bande du zodiaque) se nomme **écliptique** (figure 0.8b). Ce nom vient du fait que les éclipses de Soleil ou de Lune se produisent toujours sur ce cercle.

0.4 LES SAISONS

Tout le monde sait que, par rapport à l'hiver, l'été se caractérise par une température plus élevée et des jours plus longs. En revanche, moins de gens connaissent l'explication de ce phénomène. Plusieurs l'attribuent à la variation de la distance de la Terre au Soleil. Mais alors comment expliquer que l'été a lieu dans l'hémisphère Nord au moment même où l'hiver sévit dans l'hémisphère Sud? En fait, la distance de la Terre au Soleil (qui ne varie que de 1,7 % au cours de l'année) est plus grande pendant l'été que pendant l'hiver dans l'hémisphère Nord! Il y a donc une autre explication. Nous allons voir que c'est l'*inclinaison* de la position du Soleil par rapport à l'axe nord-sud de la Terre qui nous la fournit.

Les anciens astronomes comprenaient fort bien le mécanisme des saisons, et ce même s'ils pensaient que c'était le Soleil qui tournait autour de la Terre. C'est pourquoi nous allons d'abord décrire le changement des saisons du point de vue **géocentrique**, c'est-à-dire en prenant la Terre pour centre. Nous envisagerons ensuite la question du point de vue **héliocentrique**, c'est-à-dire avec le Soleil pour centre.

Le point de vue géocentrique

Nous avons vu que le Soleil traverse les constellations du zodiaque dans son mouvement annuel sur l'écliptique. Or, l'écliptique est inclinée de 23° par rapport à l'équateur céleste. Ainsi, la déclinaison (δ) du Soleil varie de -23° à $+23^\circ$ au cours de l'année (figure 0.8b).

Le 21 juin, le jour du **solstice* d'été**, le Soleil est à son plus haut par rapport à l'équateur céleste: $\delta = +23^\circ$. Il est alors bien placé pour éclairer et réchauffer l'hémisphère Nord de la Terre et mal placé pour éclairer l'hémisphère Sud. C'est l'été au nord et l'hiver au sud. Six mois plus tard, le 21 décembre, le jour du **solstice d'hiver**, le Soleil est à $\delta = -23^\circ$, et la situation s'est inversée: c'est l'été dans le sud et l'hiver dans le nord.

Le 21 mars et le 21 septembre sont les dates respectives de l'**équinoxe** de printemps** et de l'**équinoxe d'automne**. La déclinaison du Soleil est alors nulle, et les deux hémisphères de la Terre sont également éclairés.

La figure 0.9 illustre les trajectoires du Soleil aux solstices et aux équinoxes dans le ciel des mêmes lieux que ceux qui apparaissent à la figure 0.7. On remarque que les figures 0.9a, b et c ressemblent beaucoup aux figures 0.7b, d et f. En effet, le jour du solstice d'été ($\delta = +23^\circ$), le Soleil a une trajectoire similaire à celle de Castor ($\delta = +32^\circ$); aux équinoxes ($\delta = 0^\circ$), il a une trajectoire identique à celle de Mintaka; enfin, le jour du solstice d'hiver ($\delta = -23^\circ$), sa trajectoire est similaire à celle de Fomalhaut ($\delta = -30^\circ$).

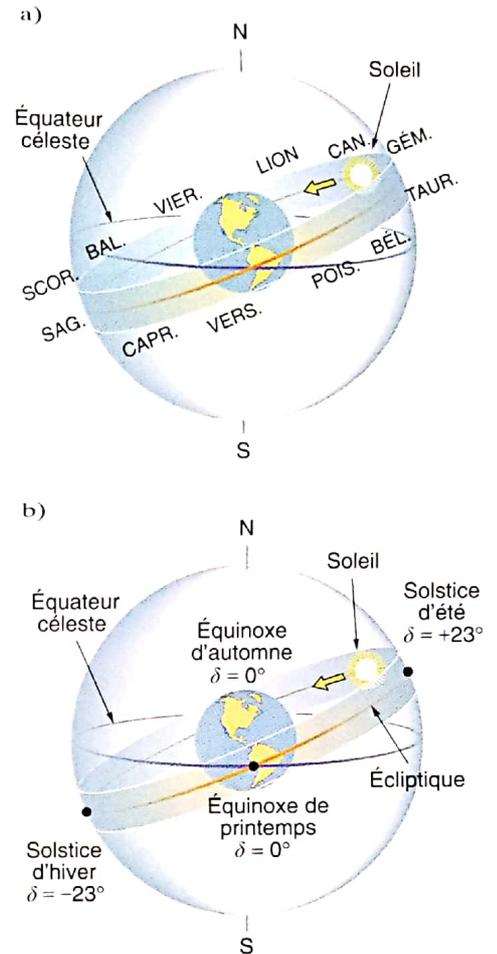


Figure 0.8

- a) Au cours de l'année, la trajectoire apparente du Soleil traverse 12 des 88 constellations du ciel: Sagittaire, Capricorne, Verseau, Poissons, Bélier, Taureau, Gémeaux, Cancer, Lion, Vierge, Balance et Scorpion. L'ensemble de ces constellations se nomme le zodiaque.
- b) Le Soleil se déplace au cours de l'année selon le cercle passant par le centre du zodiaque, que l'on nomme écliptique. L'écliptique est inclinée de 23° par rapport à l'équateur céleste. La déclinaison du Soleil au cours de l'année varie donc de -23° à $+23^\circ$.

* Étymologiquement, solstice signifie «soleil immobile». C'est que, pendant le solstice d'été ou le solstice d'hiver, la déclinaison du Soleil passe par un maximum ou un minimum et se trouve par le fait même à varier très peu pendant quelques jours.

** Le mot équinoxe signifie étymologiquement «nuits égales»: aux équinoxes, la durée de la nuit est égale à la durée du jour, soit 12 h, partout sur Terre.

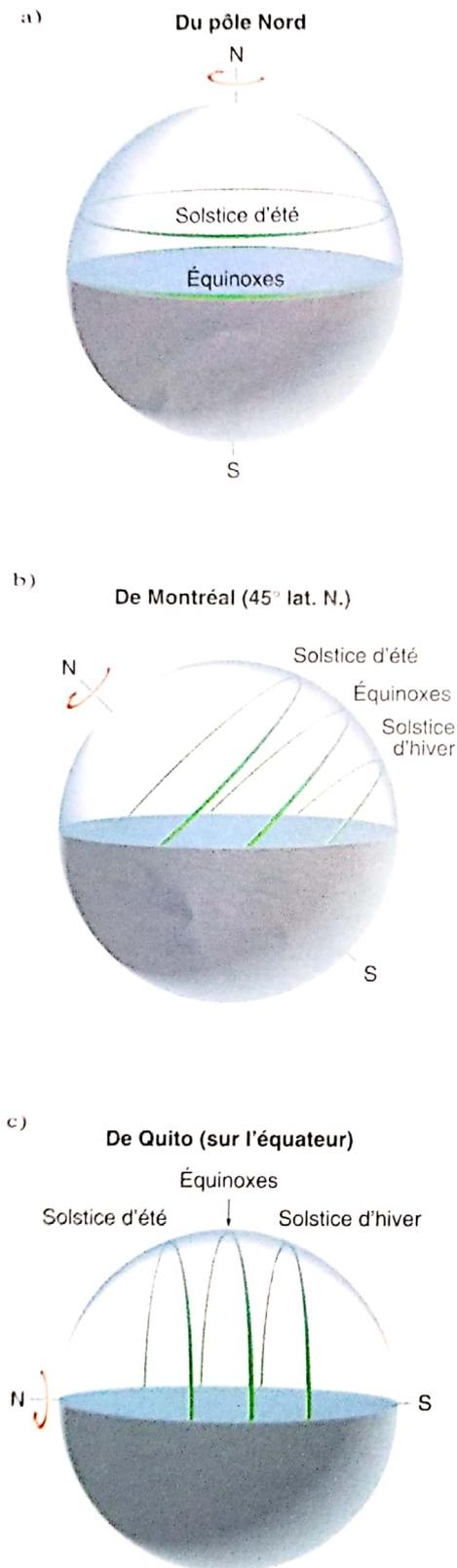


Figure 0.9

Trajectoire du Soleil dans le ciel a) du pôle Nord, b) de Montréal et c) de Quito, au solstice d'été, aux équinoxes et au solstice d'hiver.

La figure 0.9a montre qu'au pôle Nord le Soleil parcourt une trajectoire horizontale au cours de la journée. Entre l'équinoxe de printemps et l'équinoxe d'automne, il est constamment au-dessus de l'horizon: le jour dure six mois. Pendant le reste de l'année, il demeure sous l'horizon, et le pôle Nord est plongé dans l'obscurité.

La figure 0.9b représente la situation typique des latitudes tempérées de l'hémisphère Nord. Elle illustre trois phénomènes facilement observables:

1. La position du lever et du coucher du Soleil change au cours de l'année. Le Soleil se lève et se couche plus au nord en été qu'en hiver.
2. Le Soleil passe plus de temps dans le ciel en été qu'en hiver: les journées sont donc plus longues.
3. L'altitude maximale du Soleil au-dessus de l'horizon est plus grande en été qu'en hiver. La figure 0.10 montre que plus l'altitude du Soleil est grande, plus la surface éclairée par une quantité donnée de lumière solaire est petite, et plus l'intensité de la lumière et son pouvoir chauffant sont élevés.

La figure 0.9c illustre la situation à l'équateur: la trajectoire du Soleil a pratiquement la même longueur tout au long de l'année, et il n'y a presque pas de variation de la durée du jour. Le Soleil atteint son altitude maximale aux équinoxes.

Lorsqu'un corps céleste (le Soleil, une étoile) atteint son altitude maximale, on dit qu'il *culmine*. Au complément 0.3, on montre que le Soleil culmine chaque jour, vers midi, à une altitude α qui varie selon les saisons et la latitude. Pour une latitude L de l'hémisphère Nord, on a:

$$\text{midi, solstice d'été:} \quad \alpha = (90^\circ - L) + 23^\circ \quad (0.2a)$$

$$\text{midi, équinoxes:} \quad \alpha = 90^\circ - L \quad (0.2b)$$

$$\text{midi, solstice d'hiver:} \quad \alpha = (90^\circ - L) - 23^\circ \quad (0.2c)$$

Pour les latitudes de l'hémisphère Sud, on intervertit les formules du solstice d'hiver et du solstice d'été. Pour certaines latitudes tropicales, on obtient une valeur de α plus grande que 90° . Ces altitudes équivalent à l'altitude symétrique par rapport à 90° : par exemple, $\alpha = 100^\circ$ équivaut à $\alpha = 80^\circ$ (en pratique, on calcule $180^\circ - \alpha$).

EXEMPLE 0.2

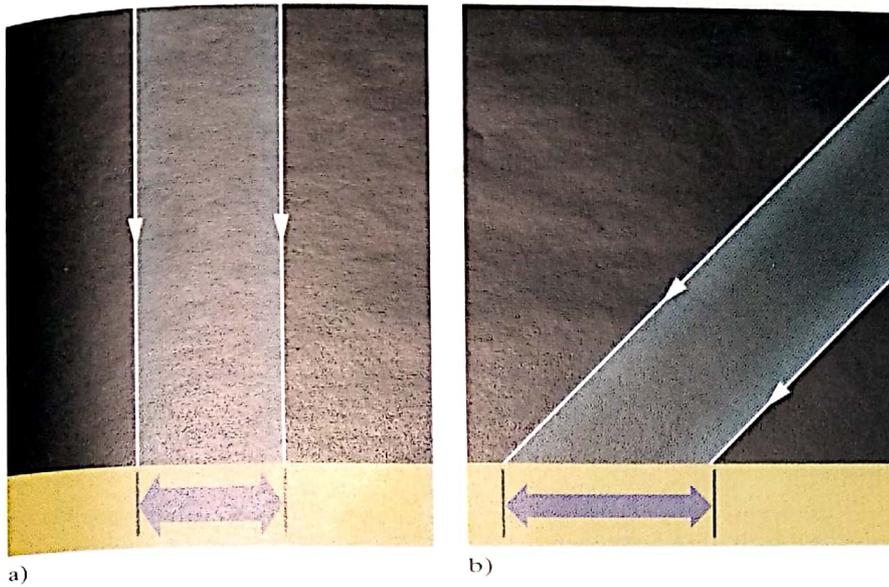
Calculez l'altitude à laquelle culmine le Soleil à Pointe-à-Pitre (16° de latitude nord), le 21 décembre, le 21 mars et le 21 juin.

Solution

Le 21 décembre (solstice d'hiver), $\alpha = (90^\circ - 16^\circ) - 23^\circ = 51^\circ$.

Le 21 mars (équinoxe de printemps), $\alpha = 90^\circ - 16^\circ = 74^\circ$.

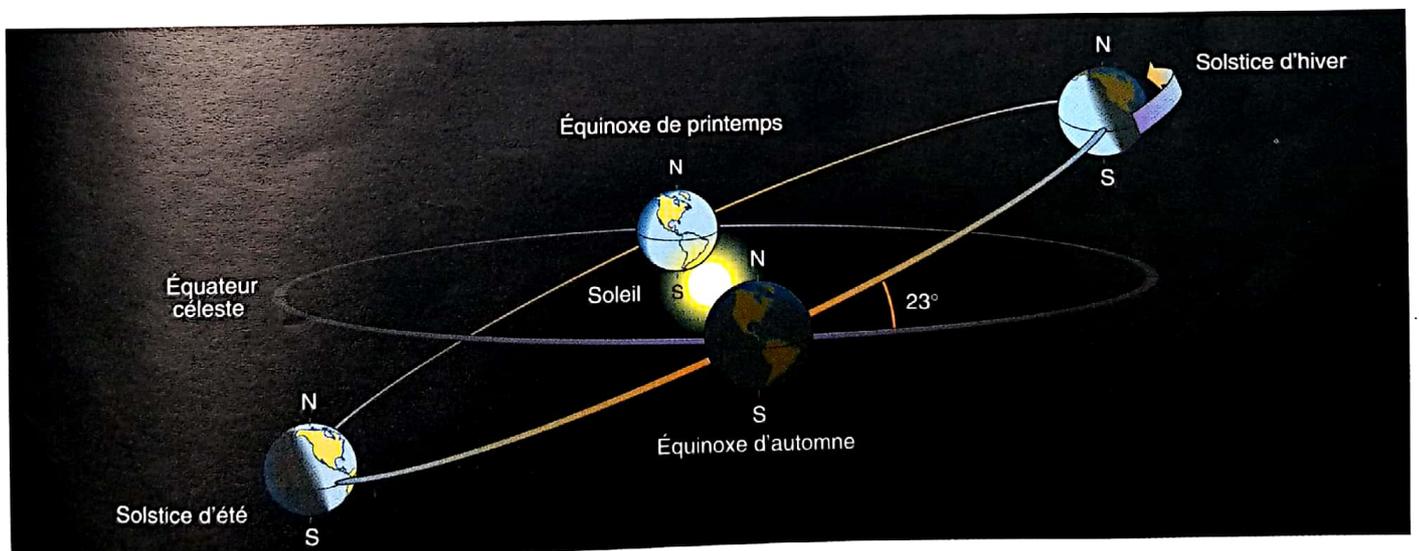
Le 21 juin (solstice d'été), $\alpha = (90^\circ - 16^\circ) + 23^\circ = 97^\circ$, ce qui équivaut à $180^\circ - 97^\circ = 83^\circ$.

**Figure 0.10**

La même quantité de lumière solaire frappe le sol en a) et en b). En a), l'altitude du Soleil est de 90° ; en b), elle est de 45° . La surface éclairée en a) est plus petite qu'en b); la lumière est donc plus concentrée en a), et y réchauffe le sol davantage.

Le point de vue héliocentrique

Nous venons de décrire le phénomène des saisons tel qu'il apparaît depuis notre plate-forme d'observation, la Terre. Considérons à présent la situation depuis un point de l'espace immobile par rapport au Soleil, quelque part au-delà de l'orbite de la Terre (figure 0.11). Gardons la même orientation qu'à la figure 0.8, c'est-à-dire avec le nord en haut: on s'aperçoit alors que l'orbite de la Terre autour du Soleil est inclinée de 23° par rapport à l'équateur céleste. Évidemment, c'est à cause de cette inclinaison que, vu de la Terre, le Soleil a une trajectoire apparente inclinée de 23° .

**Figure 0.11**

Le phénomène des saisons du point de vue héliocentrique. L'orbite de la Terre est inclinée de 23° par rapport à l'équateur céleste. Ainsi, au solstice d'été, le pôle Nord est éclairé toute la journée, tandis qu'au solstice d'hiver il est plongé dans l'obscurité. Aux équinoxes, le Soleil éclaire également les deux hémisphères de la Terre. (Les dimensions du Soleil et de la Terre ne sont pas à l'échelle.)

Prenez le temps de comparer les figures 0.11 et 0.8b, pour vous convaincre qu'il s'agit bien du même phénomène décrit selon deux points de vue différents.

Que l'on se situe du point de vue géocentrique ou du point de vue héliocentrique, l'explication du cycle des saisons reste essentiellement la même. Le Soleil est mieux placé pour éclairer l'hémisphère Nord de la Terre au solstice d'été. C'est alors l'été dans l'hémisphère Nord et l'hiver

dans l'hémisphère Sud. Au solstice d'hiver, le Soleil est mieux placé pour éclairer l'hémisphère Sud, et c'est le contraire qui se produit. On notera que les appellations solstice d'été et solstice d'hiver correspondent aux saisons de l'hémisphère Nord: ce n'est pas surprenant, ce sont des astronomes habitant l'hémisphère Nord qui les ont définies!

0.5 LES PHASES DE LA LUNE

Le cycle des **phases** de la Lune, c'est-à-dire le changement de son aspect au cours du mois, est l'un des phénomènes astronomiques les plus facilement observables. Déjà, les Grecs de l'Antiquité savaient que la Lune est sphérique et qu'elle ne brille pas par elle-même. Ils avaient compris que les parties de la Lune qui nous apparaissent lumineuses reflètent la lumière du Soleil.

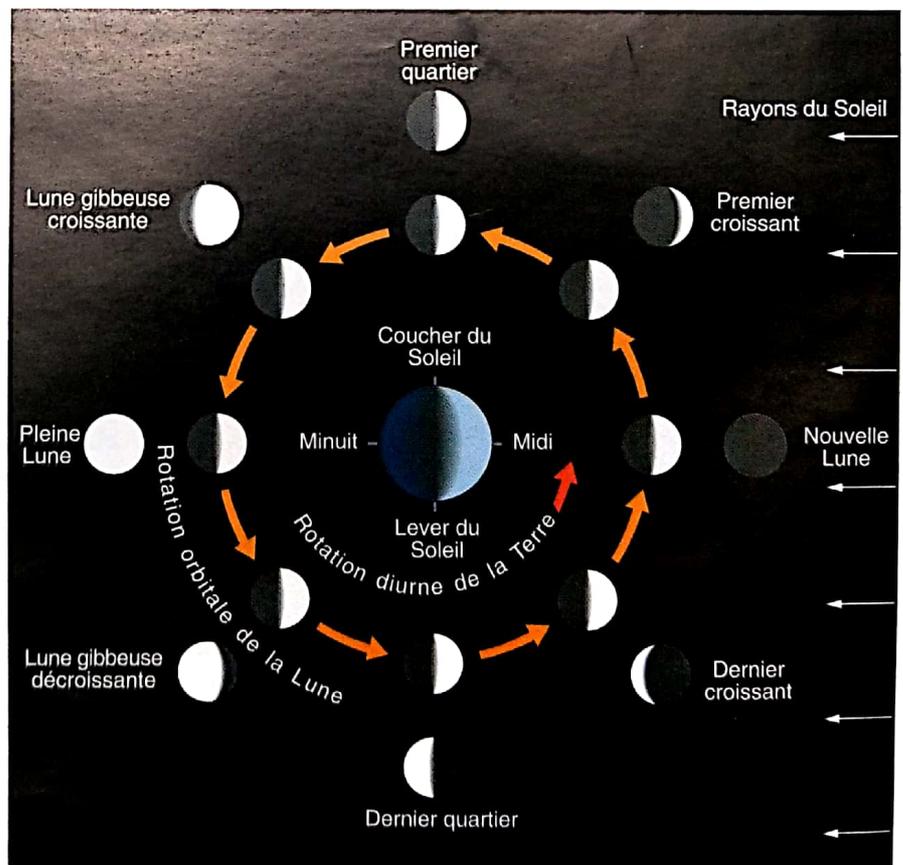
La Lune tourne autour de la Terre en un mois environ, période au cours de laquelle sa position change par rapport au Soleil (figure 0.12). Lorsque la Lune est diamétralement opposée au Soleil, on peut apercevoir de la Terre la totalité de sa zone éclairée: il s'agit de la **pleine Lune**. Lorsque la Lune passe entre la Terre et le Soleil, la partie éclairée de la Lune n'est pas visible, et c'est la **nouvelle Lune**. Entre ces deux extrêmes, il y a les phases intermédiaires: le **croissant**, le **quartier** (demi-Lune) et la **Lune dite «gibbeuse»**, dont plus de la moitié de la partie éclairée est visible (figure 0.13).

Contrairement à une croyance assez répandue, les phases de la Lune sont fonction des positions relatives du Soleil et de la Lune; elles n'ont rien à voir avec l'ombre de la Terre. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à

Figure 0.12

Les phases de la Lune en fonction de sa position sur son orbite. Le point de vue de la figure est celui d'un observateur regardant le système Terre-Lune à partir d'un endroit situé directement au-dessus du pôle Nord terrestre. La lumière du Soleil vient de la droite. À l'extérieur de l'orbite lunaire, on a dessiné l'apparence de la Lune pour un observateur de l'hémisphère Nord de la Terre. (Pour connaître le point de vue d'un observateur de l'hémisphère Sud, on n'a qu'à regarder les dessins à l'envers.)

Les moments de la journée à la surface de la Terre sont indiqués sur la figure. Lorsque la Lune est à son premier quartier, elle culmine dans le ciel au coucher de Soleil. Lorsque la Lune est pleine, elle culmine à minuit; à son dernier quartier, elle culmine au lever du Soleil.



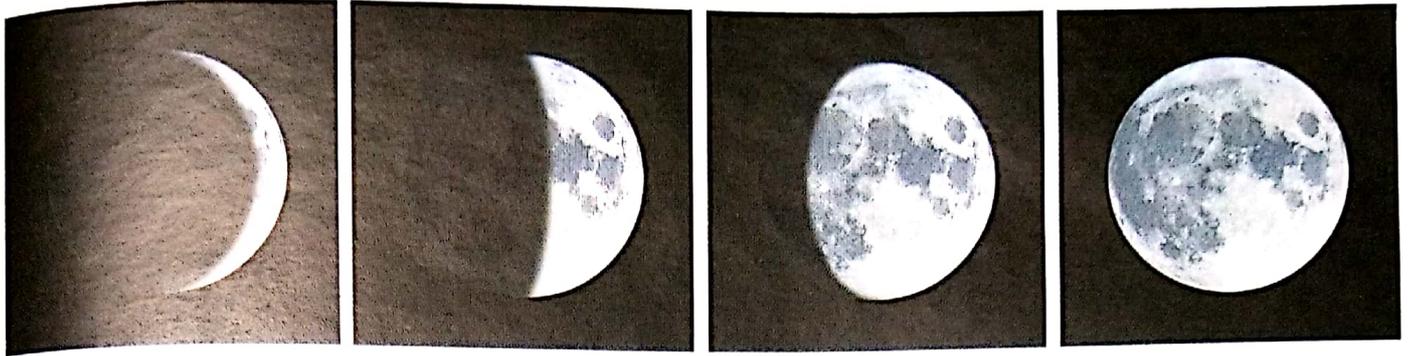


Figure 0.13

Quatre phases de la Lune : premier croissant, premier quartier, Lune gibbeuse croissante, pleine Lune.

observer la forme de la Lune gibbeuse (figure 0.13) : l'ombre circulaire de la Terre projetée sur la face éclairée de la Lune ne pourrait donner ce résultat ! Néanmoins, il arrive une ou deux fois par année que l'ombre de la Terre touche la Lune : c'est l'éclipse de Lune. Nous en reparlerons à la section 0.7.

La figure 0.12 permet de déduire les heures de visibilité de la Lune en fonction de sa phase. On n'a qu'à imaginer un observateur à la surface de la Terre, entraîné par la rotation diurne de celle-ci (dans le sens anti-horaire sur la figure). La Lune prenant près d'un mois pour parcourir son orbite, sa phase ne change pas de manière appréciable au cours d'une journée.

EXEMPLE 0.3

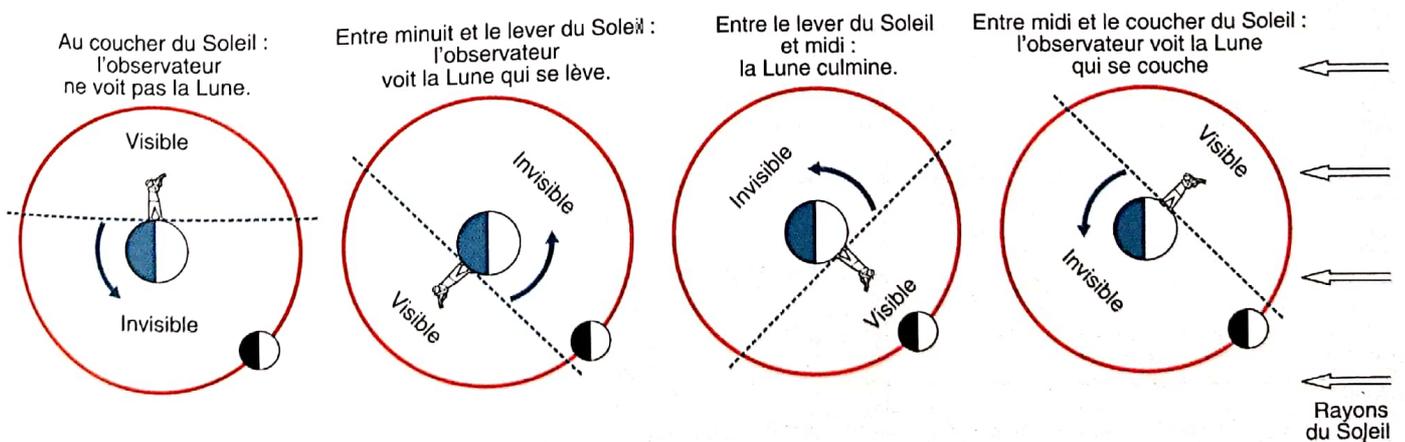
Supposons qu'aujourd'hui la Lune est à son dernier croissant. Vers quelle heure se lève-t-elle ? Vers quelle heure culmine-t-elle ? Vers quelle heure se couche-t-elle ?

Solution

On commence par dessiner la Terre, l'orbite de la Lune, et la Lune à la position qui nous intéresse, soit le dernier croissant (figure 0.14). On dessine ensuite un observateur à la surface de la Terre, ainsi que sa ligne d'horizon. On fait tourner la Terre dans le sens anti-horaire, ce qui fait basculer l'observateur de même que l'horizon. On peut considérer que la Lune est immobile pendant que la Terre effectue sa rotation. En imaginant que l'on se trouve à la place de l'observateur, on peut facilement

Figure 0.14

Position d'un observateur terrestre et de la Lune à son dernier croissant, à différents moments de la journée. (Le Soleil se trouve à droite. L'orientation est la même qu'à la figure 0.12.)



déterminer à quels moments de la journée on peut voir ou non la Lune. Il est important de se rappeler que l'observateur ne voit que la portion du ciel située au-dessus de son horizon, et que le mouvement apparent de la Lune au cours de la journée est essentiellement dû au mouvement de l'horizon (lié à la Terre) et non au mouvement de la Lune sur son orbite.

On a choisi la même orientation qu'à la figure 0.12. En étudiant les deux figures, on découvre que, lorsque la Lune est à son dernier croissant, elle est invisible au coucher du Soleil et pendant le début de la nuit; elle se lève passé minuit, vers 3 h; elle culmine vers 9 h; elle se couche vers 15 h.

Pour vous assurer d'avoir bien compris la méthode, refaites cet exercice en prenant une autre phase de la Lune. Par exemple, la pleine Lune: vous devriez trouver qu'elle se lève au coucher du Soleil, qu'elle culmine à minuit et qu'elle se couche au lever du Soleil.

0.6 LA DURÉE DU JOUR ET DU MOIS

Pour éviter la confusion, les astronomes utilisent deux termes pour décrire les mouvements périodiques. Le mot **rotation** est réservé au mouvement périodique d'un objet sur lui-même. Par exemple, on peut parler de la rotation de la Terre sur elle-même, ou de sa rotation tout court, le complément «sur elle-même» étant sous-entendu. Lorsqu'on veut désigner le mouvement périodique orbital d'un objet autour d'un autre objet, on utilise le terme **révolution**. Par exemple, on parle de la révolution de la Terre autour du Soleil et de la révolution de la Lune autour de la Terre.

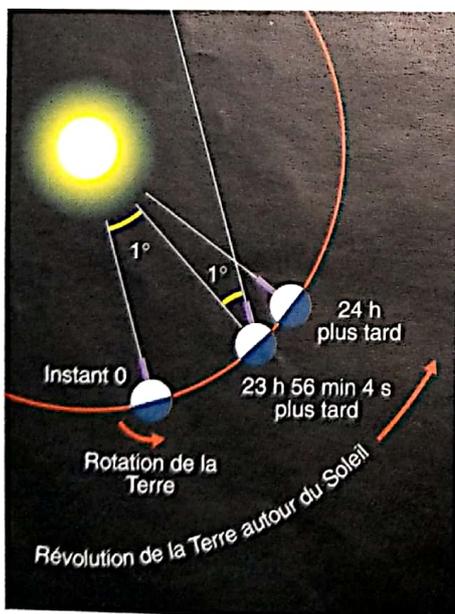


Figure 0.15

La Terre fait un tour sur elle-même en 23 h 56 min. Pendant ce temps, elle se déplace autour du Soleil, de sorte qu'un point donné à sa surface ne revient exactement au même endroit par rapport au Soleil que 4 min plus tard.

L'examen d'un recueil de données astronomiques de base révèle deux faits intrigants:

- La Terre tourne sur elle-même en 23 h, 56 min (et 4 s, pour être précis). Pourtant, nos montres fonctionnent selon un cycle d'exactly 24 h.
- La Lune prend 27,3 jours pour parcourir son orbite autour de la Terre. Pourtant, l'intervalle entre deux pleines Lunes est de 29,5 jours.

Pour comprendre l'origine de ces légères différences de temps, il faut savoir que le calcul de l'intervalle de temps requis pour qu'un phénomène périodique donné se reproduise (par exemple, l'intervalle entre deux pleines Lunes) nécessite souvent la combinaison de différents mouvements périodiques. En effet, notre plate-forme d'observation, la Terre, possède deux mouvements périodiques principaux: une rotation sur elle-même et une révolution autour du Soleil. Et lorsque nous observons la Lune, il faut en plus tenir compte de sa révolution autour de la Terre.

La rotation de la Terre

Observons la rotation de la Terre (sur elle-même) depuis un point immobile dans l'espace, quelque part au-dessus du pôle Nord de la planète (figure 0.15). Imaginons un bâton planté verticalement dans le sol, à l'équateur. Prenons pour instant 0 le moment où le bâton pointe directement vers le Soleil: il est alors

midi, heure solaire. Il faudra attendre 23 h et 56 min avant que le bâton, entraîné par la rotation de la Terre, ne fasse un tour complet autour du centre de la Terre. Mais, pendant ce temps, la Terre s'est déplacée autour du Soleil, de sorte que le bâton ne pointe pas encore vers le Soleil: il n'est pas encore tout à fait midi, comme l'illustre bien la figure.

Voyons comment s'explique la différence de 4 min entre la durée de la rotation de la Terre et la journée de 24 h. La Terre effectue une révolution autour du Soleil (360°) en un an (365 jours et 1/4). En 23 h 56 min, presque un jour, elle parcourt environ 1° sur son orbite. Ainsi, pour que le bâton revienne vis-à-vis du Soleil, il faut que la Terre tourne sur elle-même de 1° de plus. La Terre tourne de 15° à l'heure. Pour tourner de 1° , il lui faut le quinzième d'une heure, soit 4 min. Ainsi, il faut attendre 24 h (23 h 56 min + 4 min) pour qu'il soit de nouveau midi, heure solaire, à l'endroit où se trouve le bâton.

Si nos montres étaient réglées sur la véritable rotation de la Terre par rapport à un point fixe, d'une durée de 23 h 56 min, le Soleil ne culminerait pas toujours dans le ciel à la même heure. Il serait parfois midi le matin, midi le soir ou midi en pleine nuit. En réglant nos montres d'après un cycle de 24 h, on maintient la concordance entre l'heure et le cycle du jour et de la nuit.

Les astronomes nomment **jour sidéral** (du latin *sideris*, « astre ») le cycle de 23 h 56 min, parce que celui-ci se rapporte à la rotation de la Terre mesurée par rapport à l'ensemble des étoiles du ciel pris comme système de référence. Le cycle de 24 h se nomme **jour solaire**. Lorsqu'une astronome veut observer une étoile, elle calcule habituellement l'heure d'après le temps sidéral, puisque celui-ci est fonction de la rotation de la Terre par rapport aux étoiles. Le complément 0.4 explique comment les astronomes définissent le temps sidéral et comment ils repèrent les étoiles qu'ils veulent observer sur la sphère céleste.

La révolution de la Lune

Observons maintenant, du même point de vue, la révolution de la Lune autour de la Terre, qui se meut elle-même autour du Soleil (figure 0.16). Prenons pour instant 0 le moment de la pleine Lune: par rapport à la Terre, la Lune est alors diamétralement opposée au Soleil. La Lune fait une révolution autour de la Terre en 27,3 jours, c'est-à-dire en un **mois sidéral**. Mais, pendant ce temps, la Terre se déplace d'environ 27° sur son orbite. Ainsi, au bout d'un mois sidéral, ce n'est pas encore la pleine Lune. La Lune doit parcourir environ 27° de plus sur son orbite pour être de nouveau diamétralement opposée au Soleil (comme la Terre se déplace elle-même pendant ce mouvement, le parcours supplémentaire s'allonge encore un peu, à environ 29°). Puisque la Lune parcourt 13° par jour ($360^\circ/27,3$ jours), il lui faudra un peu plus de deux jours. Et ainsi, après 29,5 jours, c'est-à-dire après un **mois synodique** (du grec *sunodikos*, « conjonction »), ce sera de nouveau la pleine Lune. Le cycle des phases de la Lune est donc plus long de 2,2 jours que sa période de révolution sidérale.

Fait intéressant, la période de rotation de la Lune (sur elle-même) est également de 27,3 jours. C'est pourquoi elle présente toujours la même face à la Terre, comme la figure 0.13 permet de le constater. Nous verrons pourquoi il en est ainsi à la section 11.9.

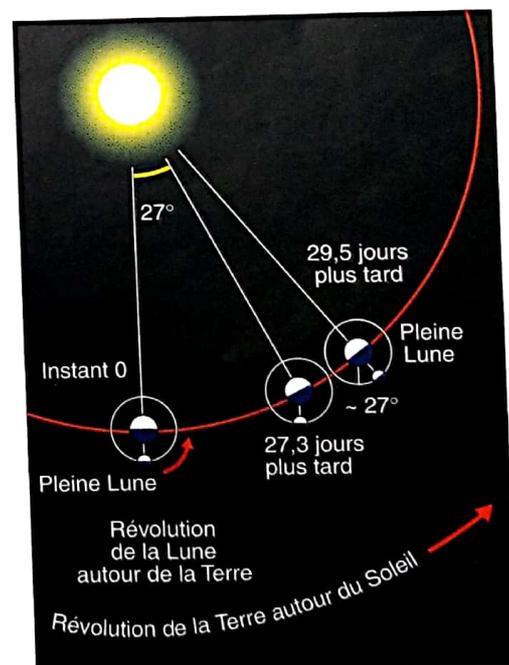


Figure 0.16

La Lune tourne autour de la Terre en 27,3 jours (mois sidéral), mais il faut 29,5 jours (mois synodique) pour qu'une phase donnée se reproduise.

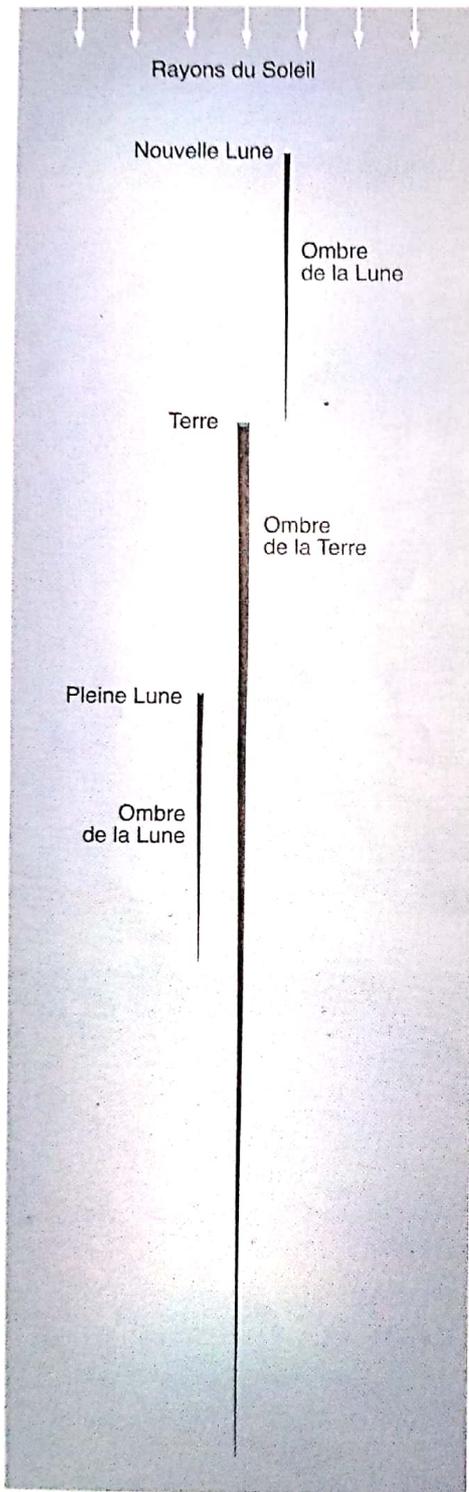


Figure 0.17

La Terre, la Lune et leurs ombres, à l'échelle.

Figure 0.18

a) Le cône d'ombre totale et la pénombre d'une planète éclairée par le Soleil.

b) Éclipses de Lune et de Soleil.

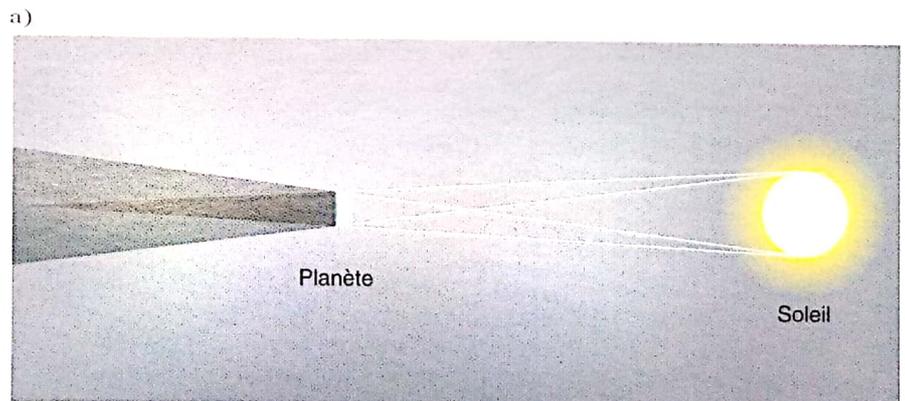
(Les deux dessins ne sont pas à l'échelle.)

0.7 LES ÉCLIPSES DE LUNE ET DE SOLEIL

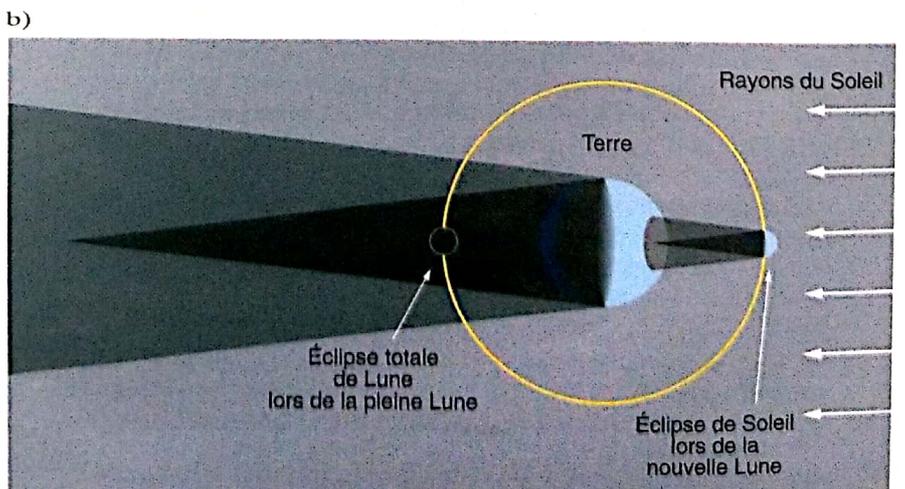
Les éclipses se produisent lorsque la Lune pénètre dans l'ombre de la Terre ou vice versa. Le nom que l'on donne à une éclipse se rapporte à l'apparence qu'elle revêt pour un observateur terrestre. Ainsi, lorsque la Lune passe dans l'ombre de la Terre, il y a **éclipse de Lune**. Lorsque la Terre passe dans l'ombre de la Lune, la Lune nous cache le Soleil et il y a **éclipse de Soleil**.

La figure 0.12 pourrait laisser croire que les éclipses de Lune ont lieu à chaque pleine Lune, et les éclipses de Soleil à chaque nouvelle Lune — soit douze éclipses de chaque type chaque année. En réalité, il n'y a en moyenne que deux éclipses de chaque type au cours d'une année. Pour en comprendre la raison, il faut considérer que la figure 0.12 n'est pas à l'échelle. La véritable échelle du système Terre-Lune est représentée à la figure 0.17: on y voit la Terre, la Lune ainsi que leurs ombres. On constate qu'un alignement quasi parfait de la Lune, de la Terre et du Soleil est nécessaire pour qu'une éclipse se produise. Or, l'orbite de la Lune est inclinée de 5° par rapport à l'orbite terrestre; donc, les alignements parfaits sont relativement rares.

Les éclipses peuvent être partielles ou totales. En effet, l'ombre d'un objet éclairé par une source plus grande que l'objet lui-même a la forme caractéristique illustrée à la figure 0.18a. Un observateur situé dans la zone d'**ombre** ne voit aucune partie de la source lumineuse, tandis qu'un



■ Ombre
■ Pénombre



observateur situé dans la zone de **pénombre** en voit une partie. Le cône d'ombre a une longueur finie, tandis que la pénombre continue indéfiniment; toutefois, plus on s'éloigne du cône d'ombre, plus la pénombre s'atténue.

Une éclipse de Lune se produit lorsque la Lune traverse l'ombre de la Terre (figure 0.18b). Le cône d'ombre de la Terre étant plus grand que la Lune, il est possible, si l'alignement est bon, que se produise une éclipse totale de Lune. Mais, même dans ce cas, la surface de la Lune ne s'assombrit pas totalement: elle garde une teinte rougeâtre (figure 0.19). C'est que, même si la Terre cache le Soleil, une partie de la lumière solaire est déviée par l'atmosphère terrestre et parvient jusqu'à la surface lunaire. Ainsi, un observateur qui se trouverait sur la Lune pendant une éclipse totale de Lune recevrait en même temps la lumière rougeoyante de tous les levers et tous les couchers de Soleil qui ont lieu autour de notre planète!

Une éclipse de Soleil se produit lorsque la Lune passe entre le Soleil et la Terre et que l'ombre de la Lune touche la surface terrestre. Dans les meilleurs cas, l'ombre de la Lune est tout juste assez longue pour se rendre jusqu'à la Terre. Ainsi, la zone d'éclipse totale sur Terre est très petite: elle ne dépasse jamais 270 km de diamètre. À cause des mouvements combinés de la Terre et de la Lune, une éclipse totale ne dure jamais plus de 8 min en un point donné, comme on le montre au complément 0.5. La zone de pénombre couvre une région beaucoup plus grande, jusqu'à 6000 km de diamètre, mais l'éclipse de Soleil n'y est que partielle. Comme le

Figure 0.19

Une éclipse totale de Lune.



Tableau 0.1

Éclipses de Lune pendant la période 2001-2010

Date	Type*
9 janvier 2001	T
5 juillet 2001	P
30 décembre 2001	PS
26 mai 2002	PS
24 juin 2002	PS
20 novembre 2002	PS
16 mai 2003	T
9 novembre 2003	T
4 mai 2004	T
28 octobre 2004	T
24 avril 2005	PS
17 octobre 2005	P
14 mars 2006	PS
7 septembre 2006	P
3 mars 2007	T
28 août 2007	T
21 février 2008	T
16 août 2008	P
9 février 2009	PS
7 juillet 2009	PS
6 août 2009	PS
31 décembre 2009	P
26 juin 2010	P
21 décembre 2010	T

*T: pénétration totale dans l'ombre
 P: pénétration partielle dans l'ombre
 PS: pénétration dans la pénombre seulement

diamètre de la Terre est de 12 700 km, une éclipse de Soleil donnée ne sera visible que d'une partie restreinte de sa surface. En revanche, une éclipse de Lune est visible de tous les endroits de la face nocturne de la Terre (si toutefois il n'y a pas de nuages!). C'est pour cela qu'on a l'impression que les éclipses de Soleil sont plus rares, bien qu'elles se produisent à la même fréquence que les éclipses de Lune, environ deux fois par année (tableaux 0.1 et 0.2). On calcule que, pour un point d'observation donné à la surface de la Terre, il s'écoule en moyenne près de 4 siècles entre deux éclipses totales! La prochaine éclipse de Soleil totale visible dans le sud du Québec aura lieu le 8 avril 2024. Le complément 0.6 traite de la prédiction des éclipses.

L'orbite de la Lune ne forme pas un cercle parfait: pendant sa révolution autour de la Terre, la distance qui la sépare de celle-ci varie entre 350 000 km et 400 000 km. Or, le cône d'ombre totale de la Lune mesure 375 000 km. Ainsi, environ une fois sur deux, l'ombre ne se rend pas jusqu'à la Terre; seule la pénombre y parvient. C'est pourquoi, si on se tient alors au centre de la pénombre, on voit une mince bande de la surface du Soleil qui déborde sur toute la circonférence de la Lune, qui est légèrement inférieure à celle du Soleil dans cette perspective. Il s'agit d'une **éclipse annulaire de Soleil**.

0.8 LA PRÉCESSION DES ÉQUINOXES

Dans les sections qui précèdent, nous avons considéré plusieurs cycles astronomiques (jour, mois, année) dont la durée est petite par rapport à la vie humaine. Nous allons maintenant nous pencher sur un phénomène dont la durée est immense en comparaison, puisqu'elle se mesure en millénaires.

Tableau 0.2

Éclipses de Soleil pendant la période 2001-2010

Date	Zone de visibilité	Type
21 juin 2001	Afrique	Totale
14 décembre 2001	Amérique centrale	Annulaire
10 juin 2002	Amérique centrale	Annulaire
4 décembre 2002	Afrique, Australie	Totale
31 mai 2003	Arctique	Annulaire
23 novembre 2003	Antarctique	Totale
19 avril 2004	—	Partielle
14 octobre 2004	—	Partielle
8 avril 2005	Amérique centrale	Annulaire
3 octobre 2005	Europe, Afrique	Annulaire
29 mars 2006	Afrique, Asie	Totale
22 septembre 2006	Amérique du Sud	Annulaire
19 mars 2007	—	Partielle
11 septembre 2007	—	Partielle
7 février 2008	Antarctique	Annulaire
1 ^{er} août 2008	Arctique, Asie	Totale
26 janvier 2009	Océan Indien	Annulaire
22 juillet 2009	Asie	Totale
15 janvier 2010	Afrique, Asie	Annulaire
11 juillet 2010	Amérique du Sud	Totale

En confrontant ses propres observations à celles prises par ses prédécesseurs plusieurs siècles auparavant, l'astronome grec Hipparque découvrit, vers 150 av. J.-C. que la position du pôle Nord céleste n'est pas fixe. À cette époque, il n'y avait aucune étoile brillante près du pôle Nord céleste; Polaris n'a donc pas toujours été l'étoile Polaire. On sait aujourd'hui que l'axe de rotation de la Terre oscille comme celui d'une toupie. Il reste incliné de 23° par rapport à la perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre, mais il bascule lentement en décrivant un cône (figure 0.20). Cette *précession* est extrêmement lente: un cycle complet dure 26 000 ans. La précession de l'axe de rotation de la Terre entraîne une dérive de la position des pôles célestes, ce qui se traduit par un changement de position de l'équateur céleste. Puisque les équinoxes correspondent à l'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique (voir la figure 0.8b), eux aussi dérivent selon ce cycle. C'est la raison pour laquelle ce phénomène est connu sous le nom de **précession des équinoxes**.

La figure 0.21 illustre la trajectoire du pôle Nord et du pôle Sud céleste par rapport aux étoiles avoisinantes lors d'un cycle de précession. On remarque que, 3000 ans avant notre ère, à l'époque de l'Égypte antique, Thuban était l'étoile Polaire de l'hémisphère Nord. Aujourd'hui, Polaris est à environ 1° du pôle Nord céleste et s'en approche davantage chaque année; elle passera à moins de $1/2^\circ$ du pôle en 2105. Dans 12 000 ans, la 6^e étoile la plus brillante du ciel, Véga, passera à quelques degrés du pôle.

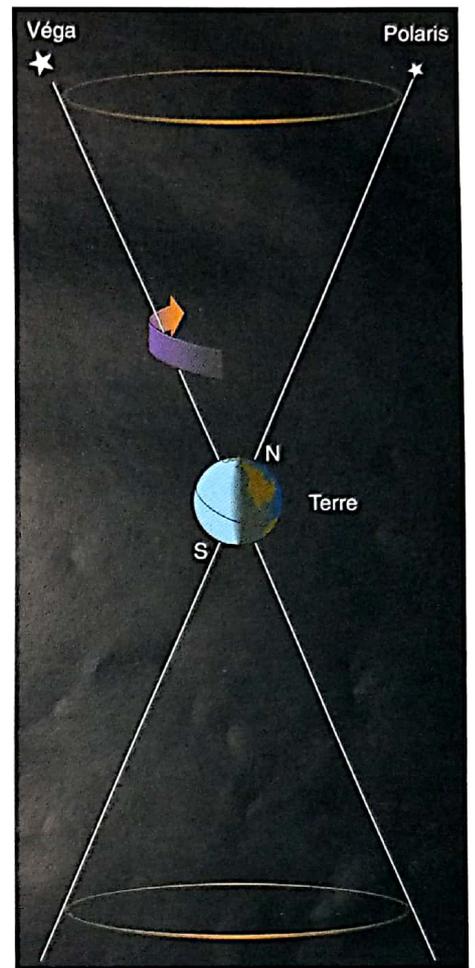


Figure 0.20

L'axe de rotation de la Terre oscille comme celui d'une toupie, décrivant un cône complet en 26 000 ans. À cause de ce phénomène, Polaris ne sera pas toujours l'étoile Polaire.

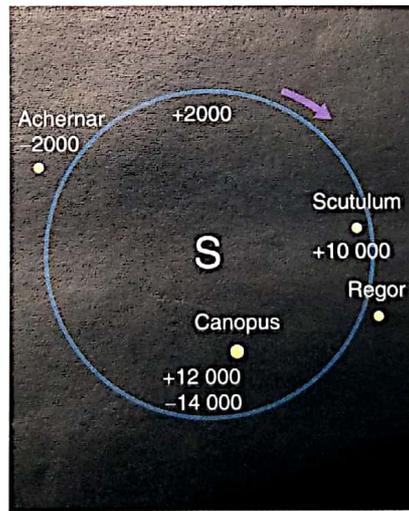
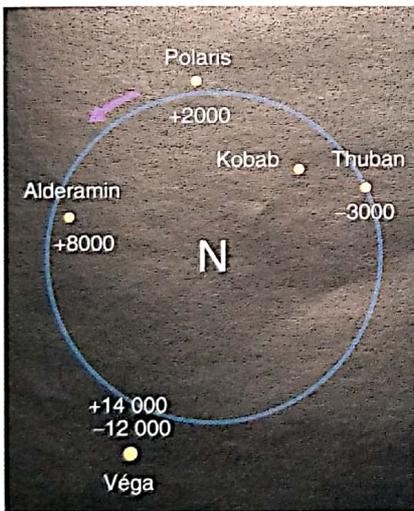


Figure 0.21

La précession des équinoxes modifie la position des pôles célestes par rapport aux étoiles avoisinantes. À notre époque, Polaris se trouve très près du pôle Nord céleste, tandis qu'il n'y a pas d'étoile brillante près du pôle Sud céleste. (Les chiffres négatifs représentent les années précédant notre ère; les chiffres positifs, les années de notre ère.)

0.9 LE CALENDRIER

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction du chapitre, le besoin d'un calendrier précis fut l'une des motivations premières qui poussèrent les êtres humains à étudier les mouvements des astres. Pour réaliser un calendrier, il faut d'abord connaître le nombre exact de jours dans une année, puis inventer un système pratique permettant d'en rendre compte. Or, il n'y a pas un nombre entier de jours dans une année: l'année dure environ 365 jours et $1/4$, et c'est ce quart de jour qui complique joyeusement la tâche!

Tableau 0.3

Les cycles de la Terre, de la Lune et du Soleil

Rotation de la Terre	
par rapport aux étoiles: JOUR SIDÉRAL	23 h 56 min 04 s
par rapport au Soleil: JOUR SOLAIRE	24 h 00 min 00 s
Révolution de la Lune autour de la Terre	
par rapport aux étoiles: MOIS SIDÉRAL	27,3 jours
cycle des phases: MOIS SYNODIQUE	29,5 jours
Révolution de la Terre autour du Soleil	
par rapport aux étoiles: ANNÉE SIDÉRALE	365,2564 jours
cycle des saisons: ANNÉE TROPICALE	365,2422 jours
PRÉCESSION DES ÉQUINOXES	
	26 000 ans

Aux alentours de 4000 av. J.-C., les Égyptiens établirent un calendrier qui comportait exactement 365 jours: l'année était divisée en 12 mois de 30 jours, plus 5 jours supplémentaires à la fin de l'année. Le nombre de jours dans le mois correspondait, au plus proche entier, à la période des phases de la Lune (29,5 jours). Le calendrier égyptien ne tenait pas compte du quart de jour supplémentaire, ce qui peut paraître sans conséquence. Toutefois, les quarts de jour s'accumulent avec les années. Après un siècle, la différence vaut environ un mois. Après plusieurs siècles, les saisons sont complètement décalées. Les agriculteurs ne devaient pas beaucoup apprécier ce calendrier!

Notre calendrier et ses années bissextiles a été conçu par les Romains. Le calendrier romain primitif comportait une alternance de mois de 29 et de 30 jours, afin de suivre le plus près possible les phases de la Lune. Mais 12 de ces mois alternés ne font que 354 jours, et il fallait intercaler un 13^e mois tous les trois ans environ. La confusion que causait ce calendrier incita Jules César, en 45 av. J.-C., à commander une réforme du calendrier à l'astronome Sosigène d'Alexandrie.

Nous utilisons encore de nos jours les divisions de l'année du **calendrier julien** (nommé en l'honneur de Jules César) conçu par Sosigène: les mois ne suivent plus les phases de la Lune et ont 30 ou 31 jours, sauf février qui en compte 28 et auquel on ajoute un jour lors d'une **année bissextile**. Si le mois de février y joue un rôle particulier, c'est qu'il s'agissait du dernier mois de l'année romaine, qui commençait le 1^{er} mars. Cela explique aussi l'origine des noms des mois de septembre (le septième mois romain) à décembre (le dixième mois romain).

Le calendrier julien insérait une année bissextile tous les quatre ans sans exception, ce qui donnait une année moyenne de 365,25 jours. Mais la question du calendrier n'était pas encore tout à fait réglée, car l'année vaut exactement 365,2422 jours. En fait, la Terre prend 365,2564 jours pour faire le tour du Soleil par rapport aux étoiles, soit une **année sidérale**. Mais, en raison de la précession des équinoxes, un calendrier ajusté sur ce rythme dérive selon un cycle de 26 000 ans. Par exemple, si c'est l'été dans l'hémisphère Nord en ce moment, ce sera l'hiver dans 13 000 années sidérales, car l'axe de la Terre aura accompli la moitié de sa précession. Pour tenir compte de celle-ci, on retranche $1/26\,000^e$ à l'année sidérale, ce qui donne ce que les astronomes appellent l'**année tropique**, soit 365,2422 jours. C'est selon ce cycle que reviennent les saisons, et c'est donc ce qu'un calendrier idéal doit chercher à reproduire.

La différence entre l'année du calendrier julien et l'année tropique équivaut à un jour tous les 128 ans. Ainsi, au XVI^e siècle, le décalage entre le calendrier et les saisons était de 10 jours environ. Le pape de l'époque, Grégoire XIII, s'avisait que si les choses continuaient ainsi, on fêterait éventuellement Noël au printemps! L'usage avait établi que toutes les années divisibles par 4 étaient bissextiles. Grégoire commanda une réforme du calendrier et on décida que les années qui se terminent par deux zéros et qui ne sont pas des multiples de 400 (1700, 1800, 1900, 2100, etc.) ne seraient plus bissextiles. Cette modification ramena l'année moyenne à 365,2425 jours, une différence, par rapport à l'année tropique, d'à peine un jour tous les 3300 ans. Pour ne pas être en reste, les astronomes contemporains ont déjà pensé à la prochaine réforme: les années multiples de 4000 (4000, 8000, 12 000, etc.) ne seront pas bissextiles. Cela donne une année

moyenne de 365,242 25 jours et maintient la concordance avec l'année tropique à un jour près pour les prochains 20 000 ans.

Le **calendrier grégorien** fut adopté par la plupart des pays catholiques en 1582. Pour rétablir la concordance entre le calendrier et les saisons, on dut retrancher 10 jours au mois d'octobre : le 4 octobre 1582 fut suivi du 15 octobre. L'Angleterre et ses colonies ne se convertirent au calendrier grégorien qu'en 1752. La Chine, en 1911 et la Russie, en 1917. Cela cause bien des tracas aux historiens, qui doivent souvent vérifier quel calendrier avait cours pour déterminer les dates d'événements antérieurs à 1917. Il est à noter que l'Église orthodoxe grecque ne s'est jamais convertie : elle est restée fidèle au calendrier julien. Le décalage valant 13 jours à l'époque actuelle, elle fête Noël le 7 janvier du calendrier grégorien.

0.10 AUTRES OBJETS CÉLESTES VISIBLES À L'ŒIL NU

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des étoiles, du Soleil et de la Lune. Mais il existe d'autres objets célestes visibles à l'œil nu. Nous allons les décrire brièvement dans cette section ; nous aurons l'occasion de traiter de chacun d'eux dans des chapitres ultérieurs.

La Voie lactée

Lorsque les conditions d'observation sont bonnes, on peut voir une bande blanchâtre lumineuse traversant le ciel nocturne. En raison de sa ressemblance avec une traînée de lait, les anciens Grecs lui donnèrent le nom de *galaxias*, c'est-à-dire « voie de lait », ou encore « Voie lactée » (figure 0.22). Le télescope nous a permis de découvrir que cette bande laiteuse est un effet d'optique dû à la lumière émise par plusieurs millions d'étoiles trop éloignées de nous pour nous apparaître à l'œil nu comme des points individuels (voir le prologue, fenêtre 8). Nous verrons à la section 2.10 comment on est parvenu à découvrir la véritable nature de la Voie lactée.

Les nébuleuses

En plus des étoiles, qui apparaissent à l'œil nu comme des points de lumière bien définis, certaines constellations contiennent des petits objets flous, que l'on nomme *nébuleuses*. Les constellations d'Orion et d'Andromède contiennent les deux nébuleuses les plus connues parmi celles qui sont visibles de l'hémisphère Nord. Certaines nébuleuses, comme celle d'Orion, sont des nuages de gaz et de poussière interstellaire éclairés par des étoiles. Ces nébuleuses sont situées dans notre Galaxie. (La nébuleuse d'Orion est la tache floue qui apparaît sous les trois étoiles qui forment la « ceinture » d'Orion.) D'autres objets qui présentent un aspect nébuleux, même dans un petit télescope, comme la « nébuleuse » d'Andromède, se sont révélés être en réalité des galaxies. L'étude des galaxies constituera le sujet principal du chapitre 8.

Les comètes

Occasionnellement, on peut apercevoir une *comète*, phénomène qui se présente à l'œil nu comme une tache lumineuse de forme allongée se déplaçant lentement de nuit en nuit par rapport aux constellations (figure 0.23). Il s'agit d'un immense « iceberg de l'espace » qui s'évapore



Figure 0.22

Cette photo couvrant 50° dans le ciel et prise avec un appareil photo ordinaire montre une portion de la Voie lactée dans la direction du Sagittaire.



Figure 0.23

La comète West, photographiée lors de son passage en 1976.

Tableau 0.4

Origine astronomique des noms de jours en français

Lundi	Lune
Mardi	Mars
Mercredi	Mercury
Jeudi	Jupiter
Vendredi	Vénus
Samedi	Saturne

Origine astronomique des noms de jours en anglais

Monday (Lundi)	Moon (Lune)
Tuesday (Mardi)	Tiu (Mars)
Wednesday (Mercredi)	Woden (Mercury)
Thursday (Jeudi)	Thor (Jupiter)
Friday (Vendredi)	Freya (Vénus)
Saturday (Samedi)	Saturne
Sunday (Dimanche)	Sun (Soleil)

en se rapprochant trop du Soleil. Une partie de sa masse est alors éjectée sous la forme d'une queue aux contours diffus. En général, une comète reste visible pendant quelques semaines. Nous reviendrons sur le sujet à la section 13.9.

Les astres errants

Tous les objets célestes permanents visibles à l'œil nu — les étoiles, la Voie lactée et les nébuleuses — suivent en bloc la sphère céleste dans sa rotation diurne, sauf sept d'entre eux, auxquels les Anciens donnèrent le nom d'**astres errants**. Dans ce chapitre, nous en avons déjà rencontré deux, le Soleil et la Lune. Les cinq autres astres errants visibles à l'œil nu ressemblent à des étoiles : ce sont les *planètes* (du grec *planêtês*, « errant ») Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Ces objets fort insolites en raison de leur mouvement distinct ont fasciné les astronomes de l'Antiquité. Ce sera le sujet principal du chapitre 1.

Les astres errants ont été vénérés comme des dieux par plusieurs civilisations. D'ailleurs, les noms de planètes sont des noms de dieux romains. La signification mystique et numérologique du chiffre 7 dans diverses cultures tient fort probablement au nombre des astres errants. Dans plusieurs langues, les sept jours de la semaine ont été nommés en l'honneur de ces astres. En français, tous les noms de jours, sauf dimanche, ont une origine astronomique. En anglais, les noms de jours correspondent aux noms des divinités germaniques associées aux astres errants (tableau 0.4).

► **Sujet**
connexe

L'indice UV



À la section 0.3, nous avons vu que l'altitude du Soleil (l'angle que forme le Soleil avec l'horizon) est plus grande en été qu'en hiver (voir la figure 0.9). Cela affecte la durée du jour, mais aussi la quantité de lumière qui frappe chaque mètre carré du sol, d'où les changements de température entre les saisons (voir la figure 0.10). Dans ce sujet connexe, nous allons étudier un autre phénomène qui est fonction de l'altitude du Soleil: le bronzage de la peau.

Les rayons ultraviolets (UV) sont un type de lumière invisible émise par le Soleil. Ils sont responsables du brunissement de la peau ainsi que des coups de soleil. Avec la popularité grandissante des bains de soleil et des vacances à la plage, le nombre de cancers de la peau causés par les rayons ultraviolets ne cesse d'augmenter. Afin de sensibiliser la population aux dangers des rayons UV, les bulletins météo comprennent maintenant une donnée qui exprime l'intensité de ces rayons. Au Canada et dans une vingtaine de pays, on utilise un indice UV qui a été mis au point par Environnement Canada en

1992. Cet indice est proportionnel à l'intensité de la lumière ultraviolette qui frappe le sol*. À l'équateur, lorsque l'altitude du Soleil est de 90° (on dit alors que le soleil est au **zénith**), l'indice UV peut atteindre la valeur de 14. Dans le sud du Canada, au milieu de la journée en été, il peut atteindre 9.

Si la Terre n'avait pas d'atmosphère, l'indice UV atteindrait, à midi à l'équateur, la valeur de 400! Heureusement, la Terre possède une couche d'ozone diluée dans sa haute atmosphère qui absorbe la plus grande partie des rayons UV. La molécule d'**ozone** (O₃), composée de trois atomes d'oxygène, est un remarquable absorbeur d'UV: si on pouvait concentrer tout l'ozone de l'atmosphère en une couche pure équivalente, celle-ci ne mesurerait en moyenne que 3 mm d'épaisseur. L'épaisseur équivalente de la couche d'ozone dépend de l'endroit où on se trouve sur Terre et des saisons. En règle générale, elle est maximale au printemps, et elle augmente à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur (tableau 0.5).

Tableau 0.5

Épaisseur équivalente de la couche d'ozone (en millimètres)

	Mars	Juin	Septembre	Décembre
Équateur	2,6	2,6	2,6	2,6
Miami (26°N)	3,1	2,9	2,7	2,9
Montréal (45°N)	3,6	3,3	3,0	3,3
Oslo (60°N)	3,8	3,4	3,0	3,4
Pôle Nord (90°N)	3,6	3,0	2,3	3,0

* Une unité d'indice UV correspond à une intensité de 2,5 mW/m² (milliwatts par mètre carré). L'intensité est calculée dans le domaine de longueur d'onde qui affecte la peau humaine (entre

290 nm et 400 nm), compte tenu d'un facteur de pondération complexe représentant la sensibilité de la peau en fonction de la longueur d'onde.

Sujet connexe

L'indice UV

Le tableau 0.5 révèle que l'épaisseur de la couche d'ozone peut varier de près de 50 % selon les situations. À cela, il faut ajouter les perturbations de la couche d'ozone causées entre autres par la pollution dans la haute atmosphère. En particulier, le « trou d'ozone » qui se crée chaque année au printemps austral (de septembre à décembre) au-dessus de l'Antarctique est causé par une chute de la concentration de l'ozone de près de 50 %.

L'épaisseur de la couche d'ozone a un effet sur la valeur maximale théorique que l'indice UV peut atteindre au cours de la journée. La valeur effective de l'indice dépend des conditions météorologiques (les nuages peuvent faire chuter l'indice de moitié). De plus, elle varie beaucoup au cours de la journée en fonction de l'altitude du Soleil. Pour comprendre l'effet de l'altitude du Soleil sur l'indice UV, considérons la figure 0.24. Dans le cas A, le Soleil est au zénith et ses rayons traversent la couche d'ozone perpendiculairement à son plan: c'est dans ce cas que la couche offre le moins de protection. Dans le cas B, le Soleil est à une altitude de 30° , et ses rayons doivent traverser la couche d'ozone de manière oblique, ce qui correspond à une épaisseur effective de la couche d'ozone plus grande. Si l'épaisseur de la couche d'ozone (Soleil au zénith) correspond à $E = 1$, l'épaisseur effective lorsque le Soleil est à 30° est deux fois plus grande: $E = 2$.

On pourrait penser qu'une épaisseur deux fois plus grande laisse passer deux fois moins de lumière, mais ce n'est pas aussi simple. Pour calculer l'effet d'une épaisseur deux fois plus grande, il faut multiplier l'effet de chaque épaisseur. Et c'est ici qu'apparaît une

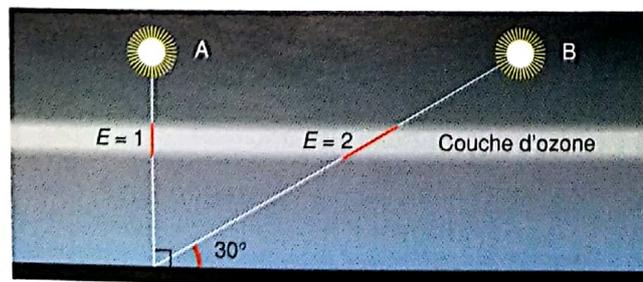


Figure 0.24

L'épaisseur efficace de la couche d'ozone dépend de l'altitude du Soleil.

différence importante entre l'absorption de la lumière visible du Soleil et celle des rayons UV. En lumière visible, une atmosphère d'épaisseur $E = 1$ laisse passer environ 90 % de la lumière. Lorsque $E = 2$, la première épaisseur laisse passer 90 % de la lumière, et la deuxième épaisseur laisse passer 90 % de ce que la première épaisseur n'a pas filtré, soit $0,9 \times 0,9 = 0,81 = 81 \%$. Ainsi, en lumière visible, le Soleil nous paraît presque aussi lumineux en fin d'après-midi qu'à midi.

En revanche, l'effet de l'altitude du Soleil est beaucoup plus prononcé dans le cas des rayons UV, car chaque épaisseur ne laisse passer qu'un pourcentage assez faible de ces rayons. Par exemple, une épaisseur d'atmosphère laisse passer environ 3 % des rayons UV dont la longueur d'onde (voir la section 4.1) se situe entre 300 et 305 nm*, ce qui est suffisant pour causer des coups de soleil importants. Mais lorsque $E = 2$, la deuxième épaisseur laisse passer 3 % de ces 3 %, soit à peine 0,1 % de l'intensité initiale. Si tous les types de rayons UV étaient bloqués de cette manière, on bronzerait 30 fois moins vite lorsque le Soleil est à 30° d'altitude que lorsqu'il est au zénith. En réalité, certains types de rayons UV passent plus facilement à travers la couche d'ozone, ce qui fait que l'indice UV moyen du Soleil à 30° d'altitude est d'environ 4 fois inférieur à celui du Soleil au zénith.

À Montréal (45° de latitude nord), le Soleil n'est jamais au zénith. Le jour du solstice d'été (21 juin) à midi heure normale (ou encore à 13 heures, heure avancée d'été), le Soleil culmine à une altitude de 68° , ce qui correspond à $E = 1,08^{**}$: l'indice UV peut alors atteindre une valeur de 8,5, mais les poussières en suspension dans l'atmosphère et d'autres facteurs font en sorte qu'il dépasse rarement 8. Au solstice d'hiver (21 décembre), le Soleil est à une altitude de d'à peine 22° à midi, ce qui correspond à $E = 2,7$; l'indice UV maximal vaut alors 1,5, ce qui fait qu'il est virtuellement impossible de bronzer et encore moins d'attraper un coup de soleil, même en s'exposant toute la journée aux rayons.

* Les rayons UV les plus énergétiques (dont la longueur d'onde est inférieure à 300 nm) sont absorbés à plus de 99,9 % par la couche d'ozone, et leur contribution à l'indice UV est négligeable, peu importe l'altitude du Soleil.

** Une simple analyse trigonométrique de la figure 0.24 révèle que, pour une altitude du Soleil α , $E = 1/\sin \alpha$.

Comme l'indice UV varie grandement en fonction de l'altitude du Soleil, on peut suivre une règle simple pour éviter de s'exposer au Soleil dans les périodes dangereuses. L'altitude de 45° peut servir de limite approximative entre les moments où l'indice est relativement bas et ceux où il est relativement élevé. À cette altitude, la longueur de l'ombre d'un objet vertical (comme une personne debout ou un bâton planté dans le sable) projetée sur un sol horizontal est égale à la hauteur de l'objet lui-même. Ainsi, *lorsque les ombres des objets sont plus courtes que les objets, l'altitude du Soleil est supérieure à 45° et la prudence est de rigueur* : parasol, crème solaire, lunettes de soleil... En revanche, lorsque les ombres des objets sont plus longues que les objets, on peut se permettre de s'exposer davantage au Soleil (à moins d'avoir une peau très sensible). Si les ombres sont au moins deux fois plus longues que les objets, il n'y a pratiquement plus de danger, peu importe le type de peau. Ainsi, même en plein été, il est inutile de mettre de la crème solaire après 18 h, même s'il fait 33°C : la lumière et la chaleur du Soleil sont encore très présentes, mais les rayons UV sont si atténués qu'ils n'ont presque plus d'effet.



Symboles renvoyant aux sections spéciales:

[] passages encadrés

▶ sujet connexe

● compléments

TERMES IMPORTANTS

altitude	équateur céleste	pénombre
amas d'étoiles	équinoxe d'automne	phase
● angle horaire	équinoxe de printemps	▶ photon
[] année bissextile	[] étoile circumpolaire	▶ pleine Lune
● année éclipse	étoile Polaire	● point vernal
[] année sidérale	géocentrique	Polaris
[] année tropique	héliocentrique	pôles célestes
● ascension droite	● heure sidérale	précession des équinoxes
astre errant	● heure solaire	quartier de Lune
[] calendrier grégorien	[] jour sidéral	révolution
[] calendrier julien	[] jour solaire	rotation
constellation	Lune gibbeuse	rotation diurne
croissant de Lune	magnitude	● saros
déclinaison	● méridien de l'observateur	solstice d'été
éclipse annulaire	[] mois sidéral	solstice d'hiver
de Soleil	[] mois synodique	sphère céleste
éclipse de Lune	nouvelle Lune	▶ zénith
éclipse de Soleil	ombre	zodiaque
écliptique	▶ ozone	

QUESTIONS DE RÉVISION

- Quelle est la différence entre une constellation et un amas d'étoiles?
- Vrai ou faux? Il y a des régions entre les constellations qui ne font partie d'aucune constellation.
- Vrai ou faux? L'étoile la plus brillante d'une constellation se nomme toujours alpha.
- Vrai ou faux? Une étoile de magnitude 4 est plus brillante qu'une étoile de magnitude 5.
- Quelle est la différence entre déclinaison et latitude?
- Quelle est la déclinaison de l'équateur céleste?
- Quelle est la différence entre déclinaison et altitude (dans son sens astronomique)?
- Quelle est l'altitude de l'étoile Polaire à San Francisco (37° de latitude nord)?
 - Un habitant d'Australie peut-il utiliser Polaris pour trouver la direction du nord?
- Dessinez la trajectoire apparente de quelques étoiles dans le ciel du pôle Nord, dans celui d'une ville située à 45° de latitude nord et dans celui d'une ville située sur l'équateur. Dans les trois cas, indiquez la position de l'étoile Polaire.
- Peut-on voir l'étoile Sirius ($\delta = -16^\circ$) à Montréal (45° de latitude nord)?
 - Vrai ou faux? Vu de la Terre, le Soleil traverse parfois la constellation d'Orion.
 - Quelle est l'origine des mots solstice et équinoxe?
 - Quelle est la déclinaison du Soleil le jour du solstice d'hiver?
 - Vrai ou faux? Le Soleil est plus proche de la Terre en janvier qu'en juillet.
- Dessinez la trajectoire apparente du Soleil au solstice d'été dans le ciel du pôle Nord, dans celui d'une ville située à 45° de latitude nord et dans celui d'une ville située sur l'équateur.

- [] 16. Pendant combien de temps le pôle Sud est-il continuellement éclairé?
- [] 17. À l'aide d'un dessin, expliquez pourquoi des rayons de Soleil qui tombent obliquement réchauffent moins le sol que des rayons de Soleil qui tombent perpendiculairement.
18. Dessinez la Terre, l'orbite de la Lune, la Lune et l'orientation des rayons du Soleil dans les situations suivantes:
- premier croissant,
 - Lune gibbeuse décroissante,
 - nouvelle Lune.
- [] 19. Vrai ou faux? On ne peut jamais observer de croissant de Lune à minuit.
20. Quelle différence les astronomes font-ils entre rotation et révolution?
- [] 21. a) Expliquez à l'aide d'un dessin la différence entre le jour solaire et le jour sidéral. Lequel dure le moins longtemps?
b) Expliquez à l'aide d'un dessin la différence entre le mois sidéral et le mois synodique. Lequel dure le moins longtemps?
22. Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse chaque mois?
23. Dessinez la Terre, la Lune, leurs ombres et leurs pénombres lors
- d'une éclipse totale de Soleil,
 - d'une éclipse totale de Lune.
24. Pourquoi la surface de la Lune apparaît-elle rouge lors d'une éclipse de Lune?
25. Pourquoi a-t-on l'impression qu'il y a moins d'éclipses de Soleil que d'éclipses de Lune?
26. Vrai ou faux? Polaris n'a pas toujours été l'étoile Polaire.
- [] 27. Pourquoi février est-il le mois le plus court et comporte-t-il un jour de plus lors des années bissextiles?
- [] 28. Quelle est l'origine du mot «septembre»?
- [] 29. Quelle est la différence entre l'année sidérale et l'année tropique? Quel phénomène est à l'origine de cette différence?
30. Quelle est l'origine du mot «vendredi»?
- ▶ 31. a) Quelle valeur maximale l'indice UV peut-il atteindre à la surface de la Terre? Dans quelles situations cela peut-il se produire?
b) Quelle valeur maximale l'indice UV peut-il atteindre dans le sud du Canada?
c) Quelle valeur maximale l'indice UV atteindrait-il si la Terre n'avait pas d'atmosphère?
- ▶ 32. À quel moment de l'année l'épaisseur de la couche d'ozone dans l'hémisphère Nord est-elle
- minimale?
 - maximale?
- ▶ 33. Vrai ou faux? La couche d'ozone est généralement plus mince à Miami qu'à Montréal.
- ▶ 34. Vrai ou faux? Lorsque l'épaisseur effective de la couche d'ozone double, son pouvoir d'absorption est multiplié par 2.
- ▶ 35. Dans la vie de tous les jours, quelle règle pratique simple peut-on suivre pour savoir à quels moments de la journée l'intensité des rayons ultraviolets est très dangereuse?
- 36. Pourquoi faut-il habituellement attendre, non pas un, mais trois cycles du saros pour revoir une éclipse en un lieu donné?

PROBLÈMES

- [] P1. Quelles sont les déclinaisons des étoiles toujours invisibles depuis Sydney (33° de latitude sud)?
- [] P2. Quelles sont les déclinaisons des étoiles circumpolaires depuis San Francisco (37° de latitude nord)?
- [] P3. Quelle est l'altitude maximale du Soleil
- à San Francisco (37° de latitude nord), le jour du solstice d'hiver?
 - à Sydney (33° de latitude sud), le 21 juin?
 - à l'équateur, le jour du solstice d'été?
 - à Djakarta (6° de latitude sud), le 21 décembre?
- [] P4. Considérez la Lune à son premier croissant. Vers quelle heure se lève-t-elle? culmine-t-elle? se couche-t-elle?
- [] P5. La Lune culmine dans le ciel vers 21 h. Quelle est sa phase?

- [] P6. La Lune se lève vers minuit. Quelle est sa phase?
- [] P7. À quelle heure la pleine Lune se couche-t-elle?
- [] P8. Si l'on n'observe le ciel que lorsqu'il fait nuit, a-t-on plus de chances de voir la Lune alors qu'elle est plus qu'à demi pleine ou alors qu'elle est moins qu'à demi pleine? Pourquoi? Cela concorde-t-il avec votre expérience?
- [] P9. (Valable pour les habitants de l'hémisphère Nord.) Compte tenu des habitudes de sommeil de la plupart des gens, qu'a-t-on le plus de chances de pouvoir observer alors qu'il fait nuit: un croissant de Lune en forme de D (premier croissant) ou un croissant en forme de C (dernier croissant)? Pourquoi? Cela concorde-t-il avec votre expérience?
- [] P10. Si la Terre tournait sur elle-même deux fois plus vite, quelle serait la différence de durée entre le jour solaire et le jour sidéral?
- [] P11. Combien y a-t-il de mois synodiques dans une année? de mois sidéraux? Quelle est la raison de la différence entre ces deux nombres?
- P12. Les zones de visibilité d'éclipses totales de Soleil tombent plus souvent sur les océans que sur les continents. Pourquoi?
- [] P13. a) Combien y a-t-il d'années bissextiles dans la période de 400 ans allant de 1600 à 1999 (inclus) du calendrier grégorien?
b) Combien y a-t-il de jours entre le 1^{er} janvier 1600 et le 31 décembre 1999 (inclus) du calendrier grégorien?
c) Montrez que l'année grégorienne dure en moyenne 365,2425 jours.
- [] P14. Quelle serait la longueur moyenne de l'année du calendrier grégorien si *toutes* les années finissant par 00 n'étaient pas bissextiles?
- [] P15. a) Dressez la liste de toutes les années comprises entre l'an 1 et l'an 1000 qui sont bissextiles d'après le calendrier julien, mais qui ne le sont pas d'après le calendrier grégorien.
b) Combien de millénaires faut-il pour que le calendrier julien décale d'un an complet (365 jours) par rapport au calendrier grégorien?
- P16. Si une épaisseur d'atmosphère ($E = 1$) laisse passer 10% d'un certain type de rayons, quelle fraction laissera passer une épaisseur effective
a) $E = 2$?
b) $E = 3$?
- P17. Trouvez une expression générale pour calculer la fraction f d'un certain type de lumière pouvant traverser une épaisseur effective d'atmosphère $E = N$, sachant qu'une épaisseur $E = 1$ laisse passer une fraction F de ce type de lumière.
- P18. Si une épaisseur d'atmosphère ($E = 1$) laisse passer 3% d'un certain type de rayons, quelle fraction réussira à traverser l'atmosphère
a) à Montréal (45° de latitude nord), au moment où le Soleil culmine, le 21 mars?
b) à Quito (sur l'équateur), au moment où le Soleil culmine, le 21 décembre?
- P19. Si une épaisseur d'atmosphère ($E = 1$) laisse passer 10% d'un certain type de rayons, quelle fraction réussit à traverser l'atmosphère
a) lorsque votre ombre projetée sur une surface horizontale est égale aux deux tiers de votre hauteur?
b) lorsque votre ombre projetée sur une surface horizontale est égale à une fois et demie votre hauteur?
- P20. Quelle est l'heure sidérale à 20 h, le 1^{er} juillet?
- P21. À quelle heure solaire la galaxie d'Andromède (A.D. = 0 h 40 min) culmine-t-elle dans la nuit du 25 au 26 octobre?
- P22. On veut observer Sirius (A.D. = 6 h 43 min) vers minuit. Quel est le meilleur jour de l'année pour le faire?
- P23. Quelle est la meilleure saison pour observer la constellation d'Orion (A.D. = 6 h) en début de soirée (vers 21 h)?
- P24. Quel est l'angle horaire d'Antarès (A.D. = 16 h 26 min) à minuit le 24 juin? L'étoile a-t-elle déjà dépassé le méridien de l'observateur?
- P25. Quelle est l'altitude maximale de Sirius ($\delta = -16^\circ$) à Montréal (45° de latitude nord)? (Voir l'exemple 0.4b.)