2 LE CIEL ÉTOILÉ

Alpha du Centaure est un système de deux étoiles formé d'une étoile ayant une magnitude de 0,01 et d'une étoile ayant une magnitude de 1,33. À l'œil nu, on ne peut pas voir les étoiles séparément et voit le système comme s'il s'agissait d'une seule étoile. Quelle est la magnitude totale de ce système?



scienceblogs.com/startswithabang/2011/03/28/do-you-know-your-nearest-star/

Découvrez comment résoudre ce problème dans ce chapitre.

2.1 LES CONSTELLATIONS

Qu'est-ce qu'une constellation?

On pourrait penser qu'il y a beaucoup d'étoiles dans le ciel, mais, dans les meilleures conditions, on peut voir, à l'œil nu, environ 6000 étoiles dans le ciel. Comme un observateur ne peut voir qu'une seule moitié du ciel à la fois, il peut voir environ 3000 étoiles en même temps dans le ciel. Évidemment, il y a beaucoup plus d'étoiles, mais il faut utiliser un télescope pour les voir.

Pour faciliter le repérage des étoiles et des autres objets dans le ciel, on les a regroupés en constellations. Le ciel est ainsi séparé en 88 constellations. Une constellation regroupe des

étoiles qui sont dans la même région du ciel et il y a des frontières très précises qui délimitent les constellations.

Sur l'image de droite, on voit la région du ciel qui fait partie de la constellation d'Orion. On peut voir (en pointillé jaune) les limites de cette constellation.

Les constellations ne couvrent pas toutes des régions de même grandeur dans le ciel, elles sont de tailles très variables.

Gémaux

NGC 2238

NGC 223

 $commons.wikimedia.org/wiki/File: Orion_constellation_map-fr.png$

Les constellations portent souvent des noms évocateurs comme le Lion, la Grande Ourse, le Taureau ou l'Aigle. Généralement, ces noms ne signifient pas grand-chose, car il est pratiquement impossible de voir l'objet, l'animal ou le personnage en question dans les étoiles de la constellation.



Par exemple, l'image de gauche montre la partie du ciel qui fait partie de la constellation du Taureau. Pas évident d'y voir un taureau.

L'étoile rouge la plus brillante (Aldébaran) est censée être l'œil du taureau...

www.astrosurf.com/astroclic/les_constellations.htm

Quelques constellations remarquables

Il peut être utile de reconnaitre quelques constellations qu'on peut voir dans le ciel du

Québec.

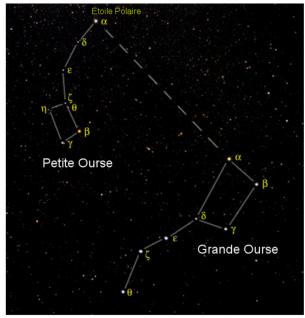
Tout au long de l'année, on peut voir la Grande Ourse et la Petite Ourse. Ces constellations sont dans la région du ciel montrée sur la figure de droite.

Pas facile de voir les ourses...



www.allthesky.de/various/umaumi.html

C'est un peu plus facile à voir si on trace les lignes suivantes.



www.allthesky.de/various/umaumi.html

Les étoiles les plus brillantes de la Grande Ourse dessinent une forme qui ressemble davantage à un chaudron qu'à une ourse, mais bon... La Petite Ourse est plus difficile à repérer, car il y a peu d'étoiles brillantes dans cette constellation. Les étoiles un peu plus brillantes de cette constellation dessinent aussi un genre de chaudron. Au bout de la poignée de ce chaudron, on retrouve Polaris (l'étoile Polaire). Cette étoile est plus facile à trouver en partant des deux étoiles qui forment le côté opposé à la poignée du chaudron de la Grande Ourse (α et β sur la figure) et en prolongeant la ligne qui relie ces deux étoiles comme sur la figure. Cette ligne arrive sur Polaris.

Sachez qu'il y a une autre constellation, la constellation du Serpent, qui passe entre la Grande et la Petite Ourse.

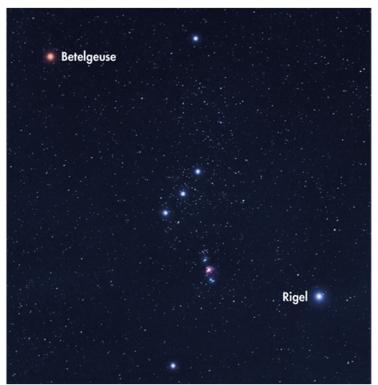
Voici maintenant la constellation de Cassiopée.



starregistration.net/constellations/cassiopeia-constellation.html

Elle se reconnait par le genre de W que forment les étoiles les plus brillantes de la constellation.

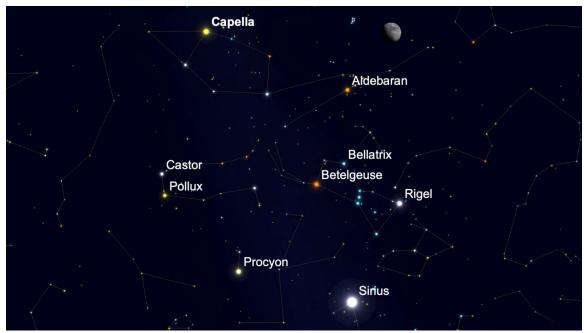
L'hiver, on peut voir la magnifique constellation d'Orion.



www.skyatnightmagazine.com/advice/skills/orion-constellation-best-targets-observe/

Il y a deux étoiles très brillantes dans cette constellation : Bételgeuse dont nous reparlerons souvent et Rigel.

Pas très loin d'Orion, on retrouve plusieurs étoiles brillantes dont l'étoile la plus brillante du ciel : Sirius.



45secondes.fr/comment-voir-le-grand-hexagone-des-etoiles-dhiver-brillantes-ce-week-end/

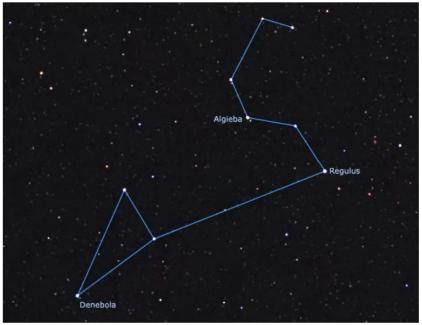
La constellation du Scorpion est peut-être une des rares qui ressemble à l'animal.



utahsadventurefamily.com/find-antares-and-the-scorpius-constellation-scorpio/

Elle est cependant difficile à voir à partir du Québec. On peut la voir l'été au sud, près de l'horizon, mais il manque une partie de la queue du scorpion.

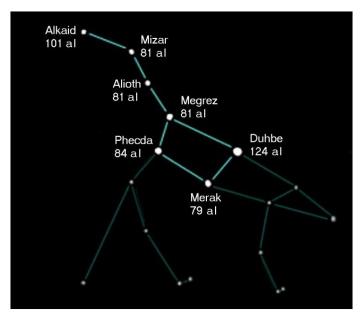
On peut aussi déceler une forme de lion dans la constellation du Lion



www.space.com/5182-leo-lion.html

Les constellations ne sont pas un vrai regroupement d'étoiles

Même si les étoiles d'une constellation forment un regroupement dans le ciel, cela ne veut pas dire que ces étoiles forment un véritable groupe d'étoiles. En effet, voici ce qu'on obtient si on mesure la distance des étoiles de la Grande Ourse.



www.pinterest.com/missjoseyposey/ursa-major/

Les distances sont données en années-lumière. Une année-lumière est la distance parcourue par la lumière, qui se déplace à 299 792,458 km/s, en une année. Cette distance est donc

$$D = vt$$

$$= 299792,458 \frac{km}{s} \cdot \left(1an \cdot 365, 25 \frac{jours}{an} \cdot 24 \frac{h}{jour} \cdot 60 \frac{min}{h} \cdot 60 \frac{s}{min}\right)$$

$$= 9,46073 \times 10^{12} km = 9,46073 \times 10^{15} m$$

Année-lumière

$$1 al = 9.46073 \times 10^{15} m$$

Si une étoile est à 101 al, cela veut dire que ça prend 101 ans pour que la lumière voyage de l'étoile jusqu'à nous. Cela signifie aussi que la lumière qu'on reçoit aujourd'hui de cette étoile est partie de celle-ci il y a 101 ans et qu'on voit donc l'étoile telle qu'elle était il y a 101 ans. Plus on observe quelque chose de lointain, plus on le voit tel qu'il était dans le passé. Plus tard, on verra que l'objet le plus lointain qu'on peut voir à l'œil nu dans le ciel est à 2,5 millions d'années-lumière. On voit donc cet objet tel qu'il était il y a 2,5 millions d'années. Réciproquement, s'il y a des extraterrestres qui vivent à 101 al de nous et qu'ils regardent la Terre avec un télescope, ils voient la Terre telle qu'elle était il y a 101 ans.

Revenons maintenant à notre constellation de la Grande Ourse. Avec les distances, on voit maintenant que ces étoiles ne sont pas véritablement ensemble. Bien que ce soit possible à l'occasion que des étoiles soient à la même distance, comme c'est le cas pour Mizar et Alioth dans la Grande Ourse, les étoiles des constellations sont généralement à des distances différentes et elles ne sont donc pas vraiment près les unes des autres. Elles forment une constellation simplement parce qu'elles sont dans la même direction vue de la Terre. Si on regardait les mêmes étoiles à partir d'une autre planète tournant autour d'une autre étoile, les constellations seraient toutes différentes.

Les constellations ne correspondent donc pas à des structures réelles. Elles ne sont qu'une séparation arbitraire du ciel qui nous aide à nous repérer.

2.2 LA NATURE DES ÉTOILES

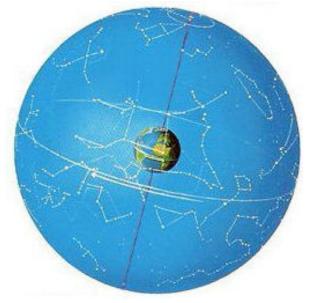
Ce ne fut pas facile d'identifier ce qu'est exactement une étoile. Ce ne sont que des points lumineux et elles restent de simples points lumineux même avec les meilleurs télescopes.

Des points sur la sphère céleste

En regardant le ciel, on peut très bien imaginer que les étoiles sont toutes à la même distance autour de la Terre. Si c'était le cas, les étoiles seraient toutes sur une sphère entourant de la Terre.

C'est d'ailleurs ce qu'avaient imaginé les astronomes de l'Antiquité qui n'avaient aucun

moyen de déterminer la distance des étoiles. Ainsi, dans les premiers modèles d'univers, les étoiles étaient fixées à une sphère entourant la Terre. Cette sphère portait le nom de sphère céleste. Dans certains modèles d'univers, les étoiles étaient des points lumineux fixés sur cette sphère. Dans d'autres modèles, les étoiles étaient de petits trous dans cette sphère qui permettaient de voir ce qu'il y avait de l'autre côté de la sphère. Comme on pensait que le monde des Dieux se trouvait de l'autre côté de la sphère, on affirmait qu'on voyait ce monde très lumineux à travers les trous dans la sphère céleste.



en.quetes.free.fr/archives/la_mer/articles/florent_lamerlenord.htm

D'autres soleils

Un peu plus tard, on trouve une façon de mesurer la distance des étoiles (une méthode qu'on verra dans un chapitre ultérieur). Dès 1550 environ, cette méthode permet d'affirmer que les étoiles sont à plus de 0,3 al de la Terre. Cela signifie une chose : si les étoiles sont si éloignées et qu'on les voit quand même, c'est qu'elles doivent être très lumineuses. Elles doivent en fait être presque aussi lumineuses que le Soleil. Cela en amène certains à conclure que les étoiles doivent être d'autres soleils. Les observations durant les siècles suivants ont effectivement confirmé que les étoiles sont comme le Soleil (mais pas exactement identiques au Soleil).

Les étoiles sont de même nature que le Soleil. Elles peuvent cependant avoir une masse et une luminosité différente du Soleil.

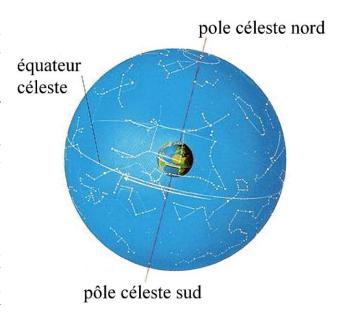
On voit donc apparaitre, à la fin du 16^e siècle, l'idée que l'univers est infini et parsemé d'étoiles et que le Soleil n'est qu'une étoile parmi toutes ces étoiles. Ces idées, très controversées à l'époque, sont défendues principalement par Thomas Digges (1546-1595) et Giordano Bruno (1548-1600). (En fait, l'idée d'un univers infini n'était pas entièrement nouvelle puisque Nicolas de Cuse (1400-1464) l'avait émise auparavant. Ses arguments étaient cependant théologiques puisqu'il affirmait que l'univers devait être infini parce que la puissance de Dieu est infinie.)

À la fin du 17^e siècle, presque tous acceptent l'idée que les étoiles étaient de nature identique au Soleil et plus personne ne croyait en l'existence de la sphère céleste.

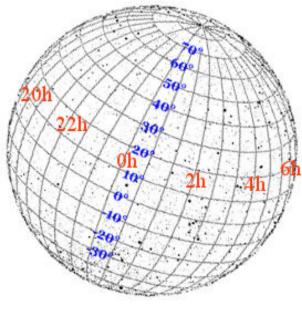
2.3 LA POSITION DES ÉTOILES

La sphère céleste reste cependant une abstraction très utile pour noter la position des étoiles. Pour donner la position, on suppose donc que toutes les étoiles sont sur une sphère entourant la Terre. On trace ensuite des lignes sur cette sphère. Premièrement, on prolonge l'axe de la rotation de la Terre. Les deux points de croisement entre cet axe et la sphère sont les pôles célestes. Près du pôle céleste nord, on retrouve l'étoile Polaris.

À mi-chemin entre ces deux pôles, on retrouve l'équateur céleste. L'équateur céleste est en fait l'intersection entre la sphère céleste et le plan de l'équateur de la Terre.



Pour déterminer la position d'une étoile, on utilise premièrement l'équivalent de la latitude sur la sphère céleste. Cela veut dire qu'on donne l'angle entre l'équateur céleste et l'étoile. On obtient alors la *déclinaison* de l'étoile (notée *dec* ou δ). La valeur est positive si l'étoile est dans l'hémisphère nord et elle est négative si l'étoile est dans l'hémisphère sud. Cet angle est donné en degrés, minutes et secondes. Une minute est $1/60^{\circ}$ de degré et une seconde est $1/60^{\circ}$ de minute.



nightinfocus.wordpress.com/tag/declination/

On utilise ensuite l'équivalent de la longitude. Pour y arriver, on doit utiliser un méridien de référence. Sur Terre. c'est le méridien passant Greenwich l'observatoire de Royaume-Uni qui sert de référence. Dans le ciel, le méridien de référence est celui passant par le point vernal, dont nous verrons la définition plus tard. On 23 autres méridiens trace ensuite uniformément séparés pour obtenir 24 méridiens appelés heures. méridiens portent les valeurs de 0 h (référence), 1 h, 2 h, 3 h et ainsi de suite jusqu'à 23 h. L'espace entre méridiens est ensuite séparé 60 autres méridiens appelés minutes. L'espace entre ces minutes est séparé

ensuite également par 60 autres méridiens appelés *secondes*. La position mesurée avec ces méridiens s'appelle *l'ascension droite* (notée AD ou α).

Ainsi, la position de Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, est

Ascension droite $\alpha = 6 \text{ h } 45 \text{ min } 8,9173 \text{ s}$ Déclinaison $\delta = -16^{\circ} 42' 58,017''$

(' est le symbole des minutes et " est le symbole des secondes.)

2.4 LE NOM DES ÉTOILES

Il existe plusieurs façons de nommer les étoiles.

Des noms particuliers

Les étoiles les plus brillantes du ciel ont reçu un nom particulier, souvent un nom dérivé de celui que leur avaient donné les Arabes au Moyen-Âge.

Les étoiles les plus brillantes portent des noms comme Sirius, Canopus, Arcturus, Véga, Rigel, Procyon, Achernar, Bételgeuse, Hadar, Capella, Altaïr, Aldébaran, Antarès, Pollux, Fomalhaut et Deneb. Seulement 313 étoiles ont un nom officiellement reconnu par l'union astronomique internationale.

En ordre de brillance dans la constellation (Désignation de Bayer)

Dans cette façon de nommer les étoiles, introduite par Johann Bayer en 1603, on classe les étoiles de la constellation en ordre de brillance et on les associe ensuite à l'ordre alphabétique grec (figure).

L'étoile la plus brillante de la constellation du Centaure est donc α du Centaure. La deuxième plus brillante est β du Centaure, la troisième plus brillante est γ du Centaure, et ainsi de suite. Parfois, on utilise le nom de la constellation en latin, ce qui donne α Centauri, β Centauri, γ Centauri et ainsi de suite. (En anglais, on utilise toujours ces noms en latin.) Il y a cependant de nombreuses exceptions. Par

α	alpha	ν	nu
β	bêta	ξ	xi
γ	gamma	o	omicron
δ	delta	π	pi
ε	epsilon	ρ	rhô
ζ	dzéta	σ	sigma
η	êta	τ	tau
θ	thêta	υ	upsilon
ι	iota	φ	phi
К	kappa	χ	khi
λ	lambda	Ψ	psi
μ	mu	ω	oméga

exemple, l'étoile la plus brillante de la constellation d'Orion, Rigel, est β d'Orion, la deuxième plus brillante de la constellation du Grand Chien est ε du Grand Chien et la deuxième plus brillante de la constellation du Scorpion est... λ du Scorpion !

En ordre d'ascension droite dans la constellation (Désignation de Flamsteed)

Dans cette façon de nommer les étoiles, introduite par Flamsteed en 1712 (mais qui n'a été véritablement utilisée qu'à partir de 1783), chaque étoile de la constellation reçoit un numéro. Le numéro est donné en ordre d'ascension droite. Cela revient à assigner un numéro en donnant le numéro 1 à l'étoile la plus à droite dans la constellation et le dernier numéro à l'étoile la plus à gauche. (Ce numéro dépend du nombre d'étoiles considérées dans la constellation. Pour Orion, par exemple, il y en a 75.) Voici les numéros de quelques étoiles importantes d'Orion.



flylib.com/books/en/3.311.1.31/1/

On voit bien que les numéros augmentent à mesure qu'on va vers la gauche.

Le nom de l'étoile est simplement le numéro suivi du nom de la constellation. Ainsi, Rigel est 19 d'Orion ou 19 Orionis.

L'attribution des numéros utilisée actuellement a été faite par Joseph Jérôme de Lalande en 1783 et 2554 étoiles furent ainsi numérotées. On l'utilise souvent pour les étoiles qui n'ont pas de désignation de Bayer. Par contre, elle est rarement utilisée pour les étoiles qui ont une désignation de Bayer.

Un système de numérotation identique, mais couvrant un plus grand nombre de constellations et plus d'étoiles par constellation a été fait en 1875 par Gould. Il s'agit de la désignation de Gould. On la note avec un numéro suivi d'un G. Par exemple, Rigel est 50 G d'Orion, ou 50 G Orionis dans la désignation de Gould. Elle est rarement utilisée.

Numéro de catalogue

De nombreux catalogues d'étoiles ont été faits depuis qu'Hipparque (probablement le plus grand observateur de l'astronomie de l'Antiquité) a fait le premier catalogue au 2^e siècle av. J.-C. (contenant environ 800 étoiles) On désigne souvent les étoiles par le numéro de l'étoile dans le catalogue.

On identifie le nom du catalogue avec une abréviation. Les plus courantes sont

HD	Henry Draper (1918-1924, 225 300 étoiles)
HR	Harvard Revised (1908, 9096 étoiles)
BD	Bonner Durchmusterung (1859-1903 325 000 objets)
SAO	Smithsonian Astrophysical Survey (1966, 258 997 étoiles)
HIP	Hipparcos (1997, 100 000 étoiles)

Les numéros du catalogue BD sont un peu particuliers. Un numéro comme +35° 455 signifie que c'est l'étoile 455 du catalogue pour les étoiles se situant entre 35° et 36° de déclinaison.

Ainsi, l'étoile Bételgeuse porte aussi les noms suivants :

- α d'Orion ou α Orionis
- 58 d'Orion ou 58 Orionis (Flamsteed)
- 152 G d'Orion ou 152 G Orionis (Gould)
- HR 2061
- BD $+7^{\circ}$ 1055
- HD 39801
- SAO 113271
- HIP 27989

Ne croyez pas les sites internet qui vous disent que vous pouvez payer pour donner votre nom ou le nom de votre amoureux ou amoureuse à une étoile. Ces sites n'ont aucun lien avec l'union astronomique internationale qui donne les noms aux objets. Pour un montant d'argent, ils vont vous envoyer un beau certificat qu'ils ont fait eux-mêmes et qui n'a aucune valeur.

Les étoiles variables

Les étoiles variables sont des étoiles dont l'intensité n'est pas constante. La variation peut être périodique ou irrégulière. Évidemment, nous reviendrons plus tard sur les différentes variantes d'étoile variable et sur les causes de telles variations. Pour l'instant, examinons simplement comment on nomme ces étoiles.

La première étoile variable découverte dans une constellation porte le nom de R suivi du nom de la constellation. Ainsi, la première étoile variable découverte dans la constellation

Version 2025b

de la Lyre porte le nom de R de la Lyre (ou R Lyrae). On utilise ensuite la suite des lettres de l'alphabet (S, T, U, V, W, X, Y et Z). Ensuite, on double les lettres pour faire RR, RS, jusqu'à RZ, puis SS, ST, jusqu'à SZ, puis TT, TU et ainsi de suite. Une fois arrivé à ZZ, on retourne au début de l'alphabet pour faire AA, AB jusqu'à AZ, BB, BC jusqu'à BZ, pour aller finalement jusqu'à QZ. (On n'utilise pas la lettre J parce qu'il y a possibilité de confusion avec I.) S'il y a d'autres étoiles variables dans la constellation, on va simplement les noter V335, V336, V337... avec le nom de la constellation. (On commence à 335 parce qu'on a pu faire 334 combinaisons avec les lettres.) Ainsi, nous rencontrerons les noms suivants pour des étoiles variables célèbres :

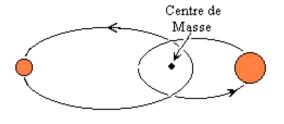
T du Taureau (T Tauri)
T de la Boussole (T Pyxidis)
RR de la Lyre (RR Lyrae)
V838 de la Licorne (V838 Monocerotis)
VY du Grand Chien (VY Canis Majoris)

Notez que certaines étoiles variables sont surtout connues sous leur nom d'étoile variable, comme T Tauri, alors que d'autres étoiles variables sont surtout connues sous un autre nom, comme Polaris.

Les étoiles multiples

Une étoile double est formée de deux étoiles en rotation autour du centre de masse du système.

C'est un peu ce qu'on aurait obtenu avec le Système solaire si Jupiter avait eu une masse 100 fois plus grande. Jupiter serait alors une étoile et nous serions dans un système avec



deux étoiles. L'animation suivante vous montre le comportement d'un système d'étoile double.

https://www.youtube.com/watch?v=erKViZx8Qsc

De tels systèmes d'étoiles doubles ne sont pas rares. Il y a encore beaucoup d'incertitudes, mais on estime que la proportion des étoiles qui font partie d'un système multiple est entre 1/2 et 2/3. Certains vont même jusqu'à 85 %.

Les systèmes peuvent même être composés de plus de 2 étoiles. On connait de nombreux systèmes formés de 3 ou de 4 étoiles. Il y a des systèmes qui ont encore plus d'étoiles. QZ Carinae est un système de 9 étoiles! Ce sont les *systèmes multiples*.

Généralement, les composantes d'une étoile multiple sont désignées par des lettres majuscules qui suivent le nom de l'étoile. Très souvent, l'étoile la plus brillante est A, la deuxième plus brillante est B et ainsi de suite.



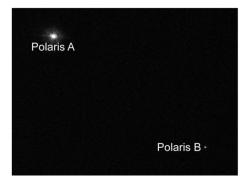
Par exemple, Sirius est en fait une étoile double. Sur cette image du télescope spatial Hubble (à gauche), on peut voir Sirius A, qui est l'étoile la plus brillante, et Sirius B, qui est la petite étoile très peu lumineuse en bas à gauche de Sirius A.

en.wikipedia.org/wiki/Sirius

Un autre système binaire bien connu est Albiréo, formé d'Albiréo A (à droite) et Albiréo B (à gauche).



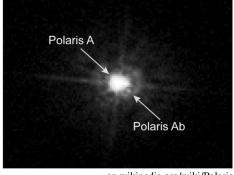
www.astro.princeton.edu/~jeg/sky/pix/albireo.html



Polaris est aussi une étoile multiple.

en.wikipedia.org/wiki/Polaris

Toutefois, Polaris A est aussi une étoile double. Dans ce cas, on a opté pour les noms indiqués sur la figure.



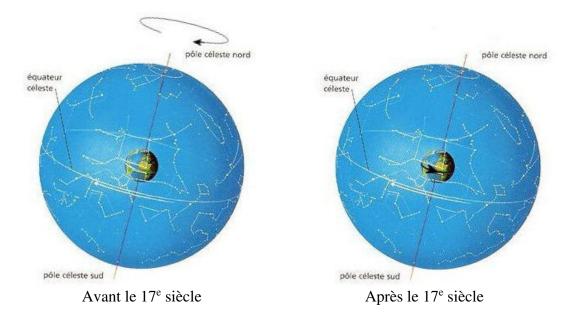
en.wikipedia.org/wiki/Polaris

2.5 LE MOUVEMENT DIURNE

Le mouvement

Si on observe les étoiles pendant toute une nuit. On pourra voir qu'elles se déplacent lentement. On a l'impression que tout le ciel tourne autour de la Terre et qu'il faut 23 heures 56 minutes et 4 secondes (86 164 s) pour qu'il fasse un tour complet. Ce mouvement s'appelle le *mouvement diurne* et la période de ce mouvement s'appelle le *jour sidéral*.

C'est comme si les étoiles étaient toutes fixées sur la sphère céleste et que cette sphère tournait lentement autour de la Terre avec une période de 86 164 s. C'est d'ailleurs ce que pensaient les astronomes de l'Antiquité. Aujourd'hui, on sait que les étoiles sont fixes et que c'est la Terre qui tourne sur elle-même en 23h 56 min 4 s.



Cette rotation de la Terre donne l'impression que les étoiles tournent autour de la Terre.

Vu de la Terre, la rotation de la Terre fait en sorte qu'on a l'impression que toutes les étoiles tournent autour du pôle céleste. Si une étoile était directement située au pôle, elle ne déplacerait pas. C'est ce qu'on peut voir sur cette photo qui montre cette rotation du ciel pendant une période de 2 heures.



www.astrosurf.com/luxorion/rapport-quel-tel-acheter-monture.htm

(Cette photo est obtenue en laissant l'appareil photographique capturer de la lumière pendant 2 heures.) On voit très bien la rotation du ciel et on remarque facilement la position du pôle céleste nord. Vous pouvez aussi voir ces films qui montrent cette rotation en accéléré.

https://www.youtube.com/watch?v=0Z3cVQcfb-whttps://www.youtube.com/watch?v=0vTMsCQ9RCshttps://www.youtube.com/watch?v=tp6UkqIwVfk

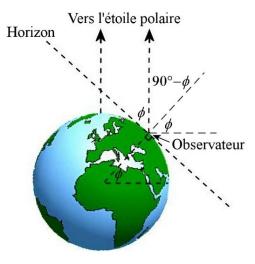
Comme la période est de 23 h 56 min et 4 s et non pas de 24 h. la position des étoiles décale lentement chaque jour. Si on examine le ciel à 23 h un soir, on verra que le ciel n'est pas exactement le même le lendemain à 23 h. On va observer que la sphère céleste aura fait un peu plus qu'un tour (environ 361°) par rapport à la nuit précédente. Si on observe le ciel chaque jour à 23 h, il y aura un décalage de tel décalage de près de 1° qui va s'ajouter chaque jour. C'est pour cela qu'on ne voit pas du tout les mêmes étoiles en été et en hiver. Au bout d'un an, on revient à la même configuration.

L'étoile Polaire

On peut voir qu'il y a une étoile qui reste presque toujours à la même place pendant le

mouvement diurne. Elle demeure immobile puisqu'elle est tout près du pôle céleste nord, qui est l'endroit où l'axe de rotation rencontre la sphère céleste. Cette étoile est *Polaris*, l'étoile Polaire. Ainsi, quand on regarde vers cette étoile, on regarde vers le pôle nord de la Terre. On peut donc facilement trouver la direction du nord en trouvant Polaris dans le ciel.

On peut même trouver notre latitude avec Polaris. L'angle entre l'horizon et l'étoile Polaire correspond à la latitude de l'observateur puisque les angles ϕ sur la figure de droite sont tous identiques.





Avant l'invention de tous les instruments modernes pour déterminer la latitude et la longitude, les navigateurs trouvaient facilement leur latitude dans l'hémisphère nord en mesurant simplement l'angle entre l'horizon et Polaris. Pour ce faire, ils utilisaient un *sextant*, qui est un appareil qui permet de mesurer précisément l'angle entre deux objets.

sextantbook.com/2010/01/24/restoring-a-c-platt-drei-kreis-sextant/

Si vous vous dirigez vers le nord, votre latitude augmente, ce qui fait que l'angle entre Polaris et l'horizon augmente. Plus vous allez vers le nord, plus l'angle entre Polaris et l'horizon augmente. Le rythme constant avec lequel l'angle entre l'horizon et Polaris augmente quand on se déplace vers le nord est aussi une solide preuve de la sphéricité de la Terre.

Dans l'hémisphère sud, il n'y a pas d'étoile brillante près du pôle céleste. Voici une image montrant le mouvement diurne près du pôle sud de la sphère céleste. On remarque qu'il n'y a pas d'étoile très brillante au centre de ce mouvement circulaire.



open.abc.net.au/explore/185739

Même s'il n'y a pas d'étoile brillante à cet endroit, les marins des siècles précédents pouvaient quand même trouver la position du pôle céleste sud pour déterminer leur latitude dans

l'hémisphère sud. Pour y arriver, ils utilisaient, par exemple, la constellation de la Croix du Sud qui pointe directement vers le pôle Sud.

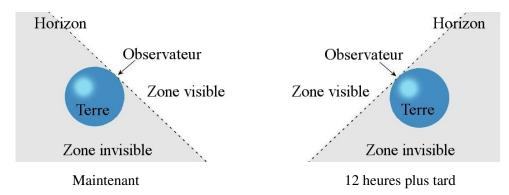


le-blog-de-eric-g.forumactif.com/t438-mise-en-station-dans-l-hemisphere-sud

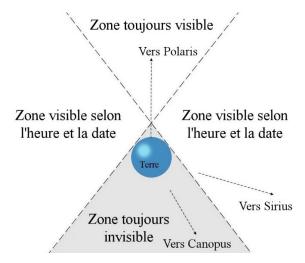
2.6 VISIBILITÉ DES ÉTOILES

Un observateur sur Terre ne peut pas voir toutes les étoiles du ciel. Il y a des étoiles qui sont visibles à tout moment de l'année, des étoiles qui sont visibles seulement pendant certaines périodes de l'année et d'autres qui ne sont jamais visibles.

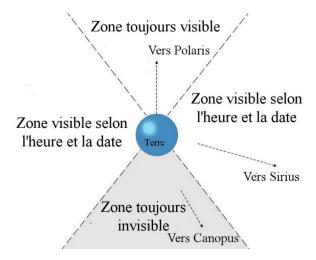
Pour simplifier l'explication, imaginons qu'il n'y a pas de Soleil et que c'est toujours la nuit. Examinons alors ce qu'un observateur situé dans l'hémisphère nord peut voir. Pendant que la Terre tourne sur elle-même, l'horizon de l'observateur tourne aussi avec la Terre, ce qui change les étoiles visibles selon cet observateur.



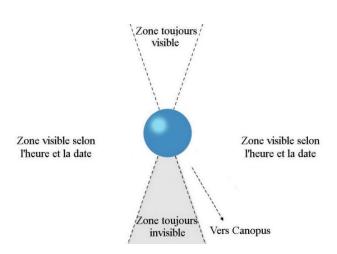
En fait, avec la rotation continuelle, l'horizon trace deux cônes qui délimitent les zones suivantes.



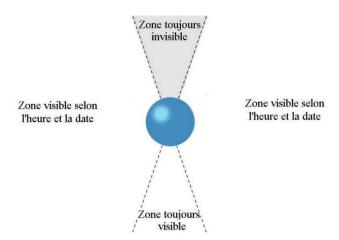
Les pointes des deux cônes se rencontrent au-dessus du pôle nord, mais, quand on examine la visibilité des étoiles, ça ne change pas grand-chose si on déplace les cônes pour qu'ils se rencontrent au centre de la Terre. En effet, les étoiles sont si loin qu'un déplacement des cônes de quelques milliers de kilomètres a un effet tout à fait négligeable. On peut donc représenter les zones de visibilité ainsi.



Ces zones changent selon la position de l'observateur. Pour un observateur situé un peu plus au sud, on a les zones montrées à droite. On remarque que la zone toujours invisible a fortement diminué. Cet observateur pourrait voir l'étoile Canopus qui est maintenant hors de la zone toujours invisible.



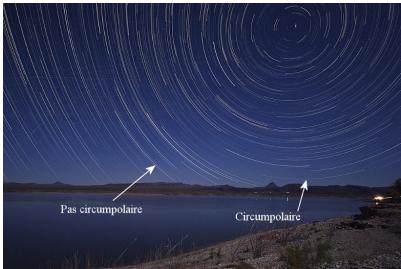
Si on allait encore plus au sud et qu'on traversait l'équateur, on aurait alors la situation montrée à droite. Polaris se retrouve maintenant dans la zone invisible. Impossible de voir Polaris si vous êtes dans l'hémisphère sud. Par contre, vous pouvez maintenant voir toutes les étoiles près du pôle sud de la sphère céleste.



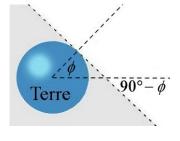
Ainsi, les étoiles que l'on peut voir varient selon notre latitude. Cette une preuve de la sphéricité de la Terre et ce fait était déjà bien connu plusieurs siècles av. J.-C.

Étoiles toujours visibles

Examinons maintenant la zone où les étoiles sont toujours visibles. Polaris fait partie de ces étoiles toujours visibles, avec les étoiles près de celle-ci, pour un observateur situé dans l'hémisphère nord. Peu importe le moment de l'année, cet observateur peut voir Polaris la nuit. Les étoiles toujours visibles pour un observateur s'appellent les *étoiles circumpolaires*. Ces étoiles restent toujours au-dessus de l'horizon, même quand elles passent au point le plus bas de leur trajectoire circulaire autour du pôle.

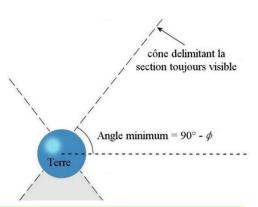


www.flickr.com/photos/radicalretinoscopy/6250431077



Pour un observateur à une latitude ϕ , l'angle entre l'équateur et son horizon est de 90° - ϕ .

Ainsi, les lignes du cône qui délimite les régions sont à 90° - ϕ de l'équateur. Pour qu'une étoile soit toujours visible pour un observateur dans l'hémisphère nord, il faut donc que sa déclinaison δ soit plus grande que 90° - ϕ .



La règle générale est

Étoile circumpolaire

On calcule $\theta = 90^{\circ} - |\phi|$ où ϕ est la latitude de l'observateur.

Une étoile est circumpolaire autour du pôle nord pour un observateur situé dans l'hémisphère nord si

$$\delta > \theta$$

Une étoile est circumpolaire autour du pôle sud pour un observateur situé dans l'hémisphère sud si

$$\delta < -\theta$$

Cela signifie que toutes les étoiles ayant une déclinaison supérieure à 44° sont circumpolaires pour un observateur à Québec ($\phi = 46^{\circ}$).

Exemple 2.6.1

Bjorn habite à Stockholm en Suède (latitude $\phi = 59.3^{\circ}$ nord). Est-ce que l'étoile Véga (déclinaison $\delta = +38^{\circ}$ 47') est toujours visible pour Bjorn ?

On a

$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

= 90° - 59,3°
= 30,7°

La déclinaison des étoiles toujours visibles à partir de Stockholm doit donc être plus grande que 30,7°. Puisque la déclinaison de Véga est plus grande que 30,7°, elle est circumpolaire autour du pôle nord.

Exemple 2.6.2

Mike habite à Sydney en Australie (latitude $\phi = 33.9^{\circ}$ sud). Est-ce que l'étoile Canopus (déclinaison $\delta = -52^{\circ}$ 42') est toujours visible pour Mike?

On a

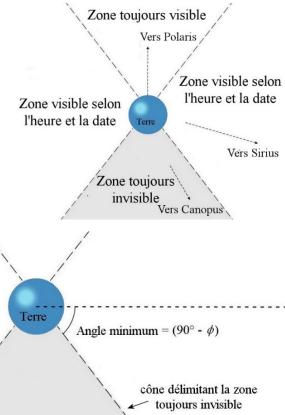
$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

= $90^{\circ} - |-33, 9^{\circ}|$
= $56, 1^{\circ}$

La déclinaison des étoiles toujours visibles à partir de Sydney doit donc être plus petite que -56,1°. Puisque la déclinaison de Canopus n'est pas plus petite que -56,1°, elle n'est pas circumpolaire autour du pôle Sud.

Étoiles qui ne sont jamais visibles

Il y a des étoiles qui ne sont jamais visibles pour un observateur. Ce sont celles qui sont situées dans la zone toujours invisible dans cette figure.



Pour qu'une étoile ne soit jamais visible pour un observateur dans l'hémisphère nord, il faut que sa déclinaison soit plus petite que $-(90^{\circ} - \phi)$.

La règle générale est

Étoiles qui ne sont jamais visibles

On calcule $\theta = 90^{\circ} - |\phi|$ où ϕ est la latitude de l'observateur.

Une étoile n'est jamais visible pour un observateur situé dans l'hémisphère nord si $\delta < -\theta$

Une étoile n'est jamais visible pour un observateur situé dans l'hémisphère sud si $\delta > \theta$

À Québec, toutes les étoiles ayant une déclinaison inférieure à -44° ne sont jamais visibles

Exemple 2.6.3

Bjorn habite à Stockholm en Suède (latitude $\phi = 59,3^{\circ}$ nord). Bjorn peut-il voir l'étoile Canopus (déclinaison $\delta = -52^{\circ} 42'$)?

On a

$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

= 90° - 59,3°
= 30,7°

La déclinaison des étoiles qui ne sont jamais visibles à partir de Stockholm doit donc être plus petite que -30,7°. Puisque la déclinaison de Canopus est plus petite que -30,7°, elle n'est jamais visible à partir de Stockholm.

Exemple 2.6.4

Mike habite à Sydney en Australie (latitude $\phi = 33.9^{\circ}$ sud). Mike peut-il voir l'étoile Véga (déclinaison $\delta = +38^{\circ}$ 47') ?

On a

$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$
= 90° - |-33,9°|
= 56.1°

La déclinaison des étoiles qui ne sont jamais visibles à partir de Sydney doit donc être plus grande que 56,1°. Puisque la déclinaison de Véga n'est pas plus grande que 56,1°, elle est visible à partir de Sydney.

Étoiles visibles selon le moment de l'année

Il y a finalement une zone où les étoiles peuvent être visibles selon le moment du jour ou de l'année. Pour un observateur au Québec ou en Europe, Sirius fait partie de ces étoiles. On peut la voir la nuit dans le ciel l'hiver, mais pas l'été.

On retrouve dans cette zone toutes les étoiles qui sont visibles et qui ne sont pas circumpolaires.

Par exemple, à Québec, les étoiles visibles ont une déclinaison supérieure à -44° et les étoiles

Zone toujours visible

Vers Polaris

Zone visible selon
l'heure et la date

Vers Sirius

Zone toujours
invisible
Vers Canopus

circumpolaires ont une déclinaison supérieure à 44°. Ainsi, toutes les étoiles ayant une déclinaison entre -44° et 44° sont dans cette zone. Ainsi, Sirius, dont la déclinaison est de -16° 43′, se retrouve dans la zone des étoiles visibles selon l'heure et la date.

Version 2025b

Exemple 2.6.5

Kyoko habite à Kagoshima au Japon (latitude $\phi = 31,6^{\circ}$ nord). Comment se classe (circumpolaire, visible selon le moment de l'année ou invisible) l'étoile Antarès (déclinaison $\delta = -26^{\circ}$ 26')?

On a

$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

= 90° - 31,6°
= 58.4°

La déclinaison des étoiles qui sont circumpolaires à partir de Kagoshima doit donc être plus grande que 58,4°. Puisque la déclinaison d'Antarès n'est plus grande que 58,4°, elle n'est pas circumpolaire.

La déclinaison des étoiles qui ne sont jamais visibles à partir de Kagoshima doit donc être plus petite que 58,4°. Puisque la déclinaison d'Antarès n'est plus petite que -58,4°, elle est visible.

Puisque l'étoile est visible et qu'elle n'est pas circumpolaire, elle est visible selon le moment de l'année.

2.7 LA BRILLANCE DES ÉTOILES

La magnitude apparente

Les étoiles n'ont pas toutes la même brillance. On peut donc les classer selon leur brillance dans le ciel. Hipparque est un des premiers à faire une telle classification (au 2^e siècle av. J.-C.). Dans son catalogue de 850 étoiles, Hipparque classe les étoiles en 6 catégories allant de

étoiles de première magnitude = étoiles les plus brillantes

à

étoiles de sixième magnitude = étoiles les moins brillantes.

Depuis l'arrivée du télescope en 1610, on peut voir des étoiles impossibles à voir auparavant. Le système de magnitude a donc été prolongé pour ajouter des étoiles de 7^e, 8^e, 9^e... magnitude.

Remarquez que la magnitude donne une mesure de la brillance dans laquelle l'étoile est de moins en moins brillante à mesure que la valeur de la magnitude augmente.

Par exemple, voici la magnitude de quelques étoiles dans la constellation d'Orion dans cette classification un peu approximative.

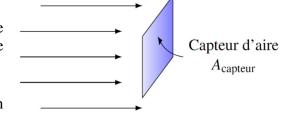
Version 2025b

Étoile	Magnitude
Rigel (étoile la plus brillante de la constellation)	1
Alnitak (5 ^e étoile la plus brillante de la constellation)	2
Pi d'Orion (9 ^e étoile la plus brillante de la constellation)	3
Mu d'Orion (19 ^e étoile la plus brillante de la constellation)	4
69 d'Orion (48 ^e étoile la plus brillante de la constellation)	5

L'intensité lumineuse

L'évaluation de la brillance ou de la magnitude d'une étoile reste un peu subjective jusqu'à l'invention du photomètre au 19^e siècle. Un photomètre est un appareil qui mesure l'intensité de la lumière (en W/m²). Il faudrait donc définir ce qu'est l'intensité de la lumière.

Dans la situation montrée sur la figure de droite, de la lumière se dirigeant vers la droite arrive sur un capteur ayant une aire $A_{capteur}$.



Évidemment, on captera plus d'énergie si on capte l'énergie de la lumière pendant plus de

temps. La quantité d'énergie captée doit donc être proportionnelle au temps pendant lequel on capte l'énergie.

Aussi, on captera plus d'énergie si l'aire du capteur est plus grande. La quantité d'énergie captée doit donc être proportionnelle à l'aire du capteur.

Finalement, on aura un facteur qui va dépendre de l'énergie de la lumière. On va appeler ce facteur l'*intensité de la lumière*. On capte peu d'énergie avec une lumière de faible intensité et beaucoup avec une lumière de grande intensité. La quantité d'énergie captée doit donc être proportionnelle à l'intensité de l'onde.

On arrive donc à

$$E_{capt\acute{e}e} = IA_{capteur}t$$

où I est l'intensité de la lumière. La puissance est l'énergie reçue divisée par le temps. Ainsi, on pourrait diviser la formule précédente par t pour obtenir une formule de la puissance captée.

Puissance captée $P_{captée} = IA_{capteur}$

(Cette équation est en fait la définition de l'intensité.) Pour que la puissance captée soit en watts, il faut que les unités de l'intensité soient des W/m².

L'intensité indique donc la quantité d'énergie reçue par m² chaque seconde. Ainsi, si l'intensité lumineuse est de 100 W/m², cela signifie qu'un capteur ayant une aire de 1 m² recevra 100 joules chaque seconde. Si le capteur a une aire de 2 m², il recevra 200 joules chaque seconde.

On voit que si on utilise toujours le même capteur (notre œil par exemple), la puissance captée est plus grande si l'intensité de la lumière est plus grande. Ainsi, plus l'intensité I de la lumière reçue d'une étoile est grande, plus l'étoile est brillante vu de la Terre.

La brillance d'une étoile peut donc se mesurer avec l'intensité de la lumière. Voici l'intensité lumineuse de la lumière provenant de quelques étoiles.

Étoile	Intensité de la lumière (W/m 2) (I_V)
Sirius (étoile la plus brillante)	1,19 x 10 ⁻⁸
Véga (5 ^e étoile la plus brillante)	0.30×10^{-8}
Bételgeuse (9 ^e étoile la plus brillante)	0.19×10^{-8}
Fomalhaut (18 ^e étoile la plus brillante)	0.11×10^{-8}
Polaris (48 ^e étoile la plus brillante)	0.048×10^{-8}
Étoile de Barnard (5 ^e étoile la plus près)	0,000047 x 10 ⁻⁸
Limite de visibilité à l'œil nu	≈10 ⁻¹¹
Limite de visibilité des grands télescopes	≈10 ⁻²²

(L'intensité I_V désigne l'intensité visuelle. On comprendra plus loin pourquoi il est nécessaire d'avoir cet indice V.)

La magnitude apparente à partir de l'intensité

On pourrait croire que les astronomes utilisent maintenant la valeur de l'intensité pour indiquer la brillance d'une étoile, mais ce n'est pas le cas. La classification en magnitude a tellement eu de succès que les astronomes continuent de l'utiliser encore aujourd'hui. Toutefois, ils utilisent une version moins subjective dans laquelle on détermine la magnitude à partir de l'intensité de la lumière reçue de l'étoile.

Définition de l'échelle des magnitudes

Avec les premières mesures d'intensité au 19^e siècle, William Herschell remarque que l'intensité lumineuse d'une étoile est environ 100 fois plus grande qu'une autre étoile si la différence de magnitude est de 5. Par exemple, l'intensité de la lumière provenant d'une étoile ayant une magnitude de 2 est environ 100 fois plus grande que celle provenant d'une étoile de magnitude 7.

C'est cette observation qui est à la base d'une mathématisation plus précise de l'échelle des magnitudes proposée par Norman Robert Pogson en 1856. (Pogson introduit aussi le nom *magnitude*. Auparavant, on utilisait *grandeur*.) Dans ce système, on a défini que

l'intensité de la lumière provenant d'une étoile est exactement 100 fois plus grande que celle provenant d'une autre étoile ayant 5 unités de magnitude de plus. Cela signifie que

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = (100)^{(m_2 - m_1)/5}$$

Cette formule peut également être écrite sous la forme suivante.

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = (10^2)^{(m_2 - m_1)/5}$$

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = (10)^{2(m_2 - m_1)/5}$$

Rapport des intensités à partir des magnitudes

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = 10^{0.4 \cdot (m_2 - m_1)}$$

On peut également l'écrire sous la forme suivante.

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = (10^{0.4})^{(m_2 - m_1)}$$

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = (2.512)^{(m_2 - m_1)}$$

Ce qui veut dire que l'étoile est 2,512 fois **moins** brillante chaque fois qu'on **augmente** d'une unité la valeur de la magnitude. Si on augmente la magnitude de 3, on divise donc l'intensité lumineuse de 2,512 trois fois. En fait, ce 2,512 est $\sqrt[5]{100}$, de sorte que si on augmente la magnitude de 5, l'étoile est exactement 100 fois moins brillante puisqu'on a divisé l'intensité par 2,512 cinq fois. Le nombre 2,512 est appelé le rapport de Pogson.

Point de référence des magnitudes

La formule précédente ne donne que les rapports d'intensité en fonction des différences de magnitude. Pour avoir une échelle des magnitudes, il faut définir une valeur de référence. C'est l'étoile Véga qui a été choisie comme référence pour m = 0.

$$m = 0$$
 pour Véga

En fait, il y a plusieurs variantes pour définir la valeur de référence, mais toutes ont une référence qui s'approche de l'intensité de la lumière visible provenant de Véga. Dans le système de magnitude AB, la référence est tout près de l'intensité de la lumière visible provenant de Véga, mais elle n'est pas exactement égale à cette intensité. C'est pourquoi la magnitude de Véga est de 0,03 dans la table plus loin.

Version 2025b

Pourquoi a-t-on choisi l'étoile Véga ? C'est parce que ce choix redonne approximativement les magnitudes données par Hipparque et parce que Véga est une étoile dont l'intensité est relativement stable.

Calcul de la magnitude

Selon la référence choisie, la magnitude de l'étoile Véga est de 0,03. Puisque l'intensité de la lumière visible en provenance de Véga est de 0,298 x 10⁻⁸ W/m², on a

$$\begin{split} \frac{I_{V1}}{I_{V2}} = &10^{0.4 \cdot (m_2 - m_1)} \\ \frac{I_{V1}}{0.298 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}} = &10^{0.4 \cdot (0.03 - m_1)} \\ I_{V1} = &0.298 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} 10^{0.4 \cdot (0.03)} \cdot 10^{0.4 \cdot (-m_1)} \\ I_{V1} = &0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4m_1} \end{split}$$

La formule pour calculer la magnitude à partir de l'intensité est donc

Lien entre l'intensité visuelle et la magnitude apparente

$$I_V = 0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4m}$$

(Pour plus de détails sur la calibration pour cette formule : cliquez <u>ici</u>.)

La magnitude obtenue à partir de l'intensité de la lumière donne une valeur de magnitude assez conforme à la classification faite par Hipparque. Par exemple, une étoile de 3^e magnitude selon Hipparque a généralement une magnitude entre 2,5 et 3,5. Toutefois, le résultat n'est pas toujours conforme pour des étoiles très brillantes. Dans ce cas, certaines étoiles sont tellement brillantes qu'elles « débordent » de la catégorie des étoiles de première magnitude (qui aurait dû se situer entre des magnitudes de 0,5 et 1,5) et ont des magnitudes inférieures à 0,5. Il n'y a que 9 étoiles qui ont des magnitudes inférieures à 0,5. Sirius est si brillante qu'elle a une magnitude de -1,47.

Voici ce qu'on obtient pour la magnitude apparente de quelques étoiles.

Étoile	Magnitude apparente m
Sirius (étoile la plus brillante)	-1,47
Véga (5 ^e étoile la plus brillante)	0,03
Bételgeuse (9 ^e étoile la plus brillante)	0,50
Fomalhaut (18 ^e étoile la plus brillante)	1,16
Polaris (48 ^e étoile la plus brillante)	2,01
Étoile de Barnard (5 ^e étoile la plus près)	9,54
Limite de visibilité (œil nu)	6
Limite de visibilité (meilleur télescope)	34

(Notez que Polaris est une étoile variable et que sa magnitude varie de 0,05 avec une période de 3,97 jours.)

Exemple 2.7.1

L'étoile Altaïr a une magnitude de 0,8. Quelle est l'intensité de la lumière visible reçue de cette étoile ?

Selon notre équation, on a

$$I_V = 0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot 0.8}$$
$$= 0.15 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}$$

Exemple 2.7.2

La lumière visible reçue de l'étoile Phecda (voir l'image de la Grande Ourse) a une intensité de 3,35 x 10⁻¹⁰ W/m². Quelle est la magnitude de cette étoile ?

Selon notre équation, on a

$$I_{V} = 0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^{2}} \cdot 10^{-0.4m}$$

$$3.35 \times 10^{-10} \frac{W}{m^{2}} = 0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^{2}} \cdot 10^{-0.4m}$$

$$0.1095 = 10^{-0.4m}$$

$$\log(0.1095) = -0.4m$$

$$m = -\frac{\log(0.1095)}{0.4}$$

$$m = 2.4$$

Exemple 2.7.3

L'étoile Phedca a une magnitude de 2,43 et l'étoile Sirius a une magnitude de -1,47. Sirius est combien de fois plus brillante que Phecda ?

Selon notre équation, on a

$$\frac{I_{V1}}{I_{V2}} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$$

$$\frac{I_{VSirius}}{I_{VPhecda}} = 10^{0.4 \cdot (2.43 - 1.47)}$$

$$\frac{I_{VSirius}}{I_{VPhecda}} = 36.3$$

Sirius est donc 36,3 fois plus brillante que Phecda vu de la Terre. Notez que n'est pas vraiment ce qu'on va percevoir si on les regarde à l'œil nu puisque la réponse de l'œil

à la lumière n'est pas linéaire. Cela signifie que les lumières fortes semblent moins fortes et les lumières faibles semblent plus fortes qu'elles sont en réalité.

Exemple 2.7.4

Alpha du Centaure est un système de deux étoiles est formé d'une étoile ayant une magnitude de 0,01 et d'une étoile ayant une magnitude de 1,33. À l'œil nu, on ne peut pas voir les étoiles séparément et on voit le système comme s'il s'agissait d'une seule étoile. Quelle est la magnitude totale de ce système ?

Trouvons l'intensité de l'étoile A (celle qui a une magnitude de 0,01). L'intensité est

$$I_{VA} = 0,306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4m_A}$$
$$= 0,306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot 0.01}$$
$$= 0,303 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}$$

Trouvons l'intensité de l'étoile B (celle qui a une magnitude de 1,33). L'intensité est

$$\begin{split} I_{VB} &= 0,306 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 m_B} \\ &= 0,306 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot 1,33} \\ &= 0,089 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \end{split}$$

L'intensité totale est donc

$$\begin{split} I_{Vtot} &= I_{VA} + I_{VB} \\ &= 0.303 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} + 0.089 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \\ &= 0.393 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \end{split}$$

La magnitude totale est donc

$$I_{Vtot} = 0,306 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2} \cdot 10^{-0.4m_{tot}}$$

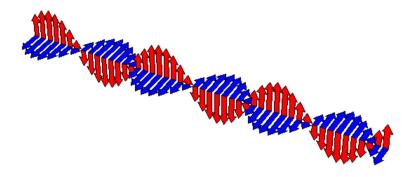
$$0,393 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2} = 0,306 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2} \cdot 10^{-0.4m_{tot}}$$

$$m_{tot} = -0,27$$

Toutefois, il y a quelques complications parce que la lumière visible n'est qu'une petite partie du spectre électromagnétique.

Le spectre électromagnétique

La lumière est une onde électromagnétique, ce qui veut dire que c'est une perturbation des champs électrique et magnétique qui se propage. On peut voir ici une onde électromagnétique qui se propage vers la droite. Vous avez en rouge le champ électrique et en bleu le champ magnétique.

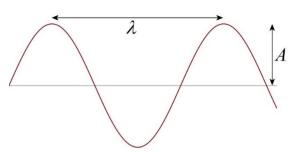


www.molphys.leidenuniv.nl/monos/smo/index.html?basics/light_anim.htm

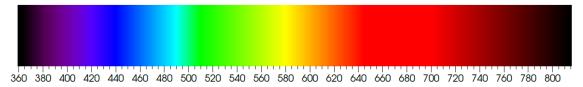
Comme on n'a pas vu les concepts de champ électrique et de champ magnétique, nous n'explorerons pas davantage cette idée. On a seulement besoin de savoir que c'est une onde.

Cette onde a une amplitude (A) et une longueur d'onde (λ). La figure de droite vous montre ce que sont ces quantités.

L'amplitude est reliée à l'intensité de l'onde. Plus la lumière a une intensité (I) élevée, plus l'amplitude de l'onde est grande (en fait, la relation est $I \propto A^2$).



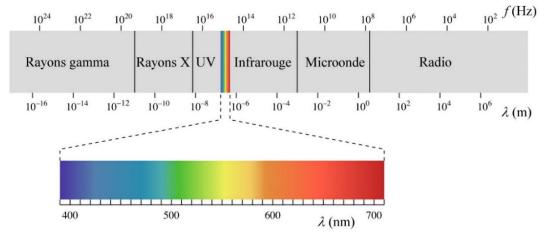
La longueur d'onde est plutôt reliée à la nature du rayonnement électromagnétique. Par exemple, si la longueur d'onde est de 450 nm, on a de la lumière bleue et si la longueur d'onde est de 650 nm nous avons de la lumière rouge. La figure suivante nous montre la couleur de la lumière en fonction de sa longueur d'onde en nanomètres.



On peut superposer des ondes lumineuses. Quand on superpose une quantité égale de toutes les couleurs de la figure, on obtient de la lumière blanche.

Cette séparation en fonction de la longueur d'onde s'appelle un *spectre*. Toutefois, le spectre montré ici n'est qu'une petite partie du spectre de la lumière. Nos yeux ne perçoivent que les ondes qui ont une longueur d'onde entre 400 nm et 750 nm. C'est la partie visible du spectre électromagnétique.

En réalité, ce spectre se prolonge de chaque côté et une bonne partie du spectre est composée de lumière que nos yeux ne peuvent pas percevoir. On a classé ces ondes en catégories selon leur longueur d'onde. La figure suivante vous montre ce classement.



fr.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum

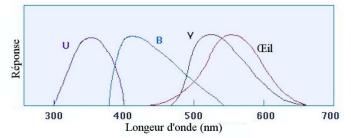
Mesure de l'intensité lumineuse

C'est là que les choses se compliquent un peu. Les photomètres qui mesurent l'intensité lumineuse n'ont pas la même sensibilité que l'œil. Certains de ces appareils sont aussi sensibles aux rayons ultraviolets proches du visible, alors que notre œil ne l'est pas.

Pour s'assurer d'obtenir une intensité mesurée qui correspond à ce qui est perçu par l'œil, les astronomes utilisent des filtres qui ne laissent passer qu'une partie du spectre. Voici les caractéristiques de ces filtres standardisés. (On ne donne que les valeurs pour les filtres dans le visible ou près du visible, il y en a 9 autres.)

Filtre	Longueur	Largeur de la plage de longueurs d'onde
	d'onde effective	(Limites à 50 % du maximum de sensibilité)
U (ultraviolet)	365 nm	66 nm
B (bleu)	445 nm	94 nm
V (visible)	551 nm	88 nm
R (rouge)	658 nm	138 nm

C'est le filtre V qui donne les intensités qui ressemblent le plus à ce que perçoit l'œil. C'est donc avec ce filtre qu'on mesure la brillance des étoiles.



wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rst/Sect20/A7.html

Pour le filtre V, on a la moitié de la sensibilité maximale à 490 nm environ et à 580 nm environ. Cela donne une plage de longueur d'onde de 90 nm environ (la valeur exacte est de 88 nm.) La longueur d'onde effective est une moyenne pondérée de la longueur d'onde mesurée par le filtre (moyenne de la longueur d'onde pondérée par la sensibilité). C'est avec ce filtre V qu'on mesure une intensité de 1,19 x 10^{-8} W/m² pour Sirius. Cette intensité obtenue avec le filtre V est notée I_V .

La magnitude bolométrique

La magnitude donnée précédemment est la magnitude apparente. Elle mesure la brillance de l'étoile dans une partie restreinte du spectre électromagnétique qui correspond assez bien au domaine de sensibilité de l'œil. Toutefois, l'énergie captée dans cette partie du spectre n'est qu'une partie de l'énergie totale émise par l'étoile puisque celle-ci peut aussi émettre de l'énergie sous forme d'ultraviolet, d'infrarouge ou d'autres formes de rayonnement invisibles à l'œil nu. Quand on inclut l'énergie de toutes les formes de rayonnement électromagnétique, on obtient *la magnitude bolométrique*.

En fait, aucun appareil ne peut mesurer la totalité de l'énergie émise sur toutes les longueurs d'onde. Bien souvent, on déduit la magnitude bolométrique avec une formule obtenue à partir d'un modèle théorique d'étoile qui permet de faire le lien entre la magnitude apparente et la magnitude bolométrique. L'écart entre la magnitude apparente et la magnitude bolométrique s'appelle la *correction bolométrique* (notée *BC*).

Correction bolométrique

$$BC = m_{bol} - m$$

Voici la correction bolométrique de quelques étoiles.

Étoile	m	BC	m_{bol}
Sirius (étoile la plus brillante)	-1,47	-0,17	-1,64
Véga (5 ^e étoile la plus brillante)	0,03	-0,13	0,16
Bételgeuse (9 ^e étoile la plus brillante)	0,50	-2,24	-1,74
Fomalhaut (18 ^e étoile la plus brillante)	1,16	-0,04	1,12
Polaris (48 ^e étoile la plus brillante)	2,01	-0,59	2,60
Étoile de Barnard (5 ^e étoile la plus près)	9,54	-2,35	7,19

Pour la mesure de la magnitude bolométrique, la référence n'est pas l'étoile Véga, mais le Soleil. On verra la définition exacte dans un chapitre ultérieur parce qu'elle fait référence à la magnitude absolue qui sera vue quand on parlera de la distance des étoiles. Toutefois, la définition fait en sorte que le lien entre la magnitude bolométrique et l'intensité de la lumière reçue est

Lien entre la magnitude bolométrique et l'intensité bolométrique

$$I = 2,518 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 m_{bol}}$$

Cette intensité s'appelle l'intensité bolométrique et elle est notée tout simplement *I*.

Notez qu'avec l'intensité et la magnitude bolométrique, le rapport des intensités reste aussi de 100 quand il y a une différence de magnitude de 5. Cela signifie qu'on a

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{0.4 \cdot (m_{bol2} - m_{bol1})}$$

Étoile	I
Sirius (étoile la plus brillante)	11,41 x 10 ⁻⁸ W/m ²
Véga (5 ^e étoile la plus brillante)	$2,18 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$
Bételgeuse (9 ^e étoile la plus brillante)	12,58 x 10 ⁻⁸ W/m ²
Fomalhaut (18 ^e étoile la plus brillante)	$0.90 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$
Polaris (48 ^e étoile la plus brillante)	$0.23 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$
Étoile de Barnard (5 ^e étoile la plus près)	$0.0034 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$

Voici l'intensité bolométrique de la lumière reçue de quelques étoiles.

Exemple 2.7.5

Polaris a une magnitude bolométrique de 2,60 et une magnitude apparente de 2,01. Quelle est la proportion de la lumière émise par cette étoile est dans le visible ?

L'intensité bolométrique est

$$I = 2,518 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot m_{bol}}$$
$$= 2,518 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot 2.60}$$
$$= 2,29 \times 10^{-9} \frac{W}{m^2}$$

L'intensité dans le visible est

$$\begin{split} I_V &= 0,306 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot m} \\ &= 0,306 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 \cdot 2.01} \\ &= 0,048 \times 10^{-8} \, \frac{W}{m^2} \end{split}$$

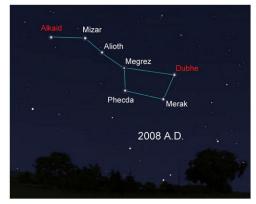
La proportion dans le visible est donc

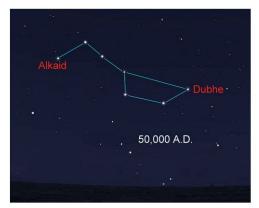
$$\frac{0.048 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}}{0.229 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2}} = 0.210$$

Ainsi, 21 % de l'énergie est dans le visible (du moins dans la partie que laisse passer le filtre V).

2.8 LE MOUVEMENT PROPRE

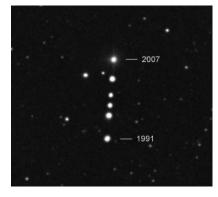
En observant la position des étoiles pendant une très longue période, on se rend compte qu'elles changent très lentement de position les unes par rapport aux autres. Ce phénomène a été découvert par Edmund Halley en 1718 quand il a comparé les positions des étoiles Sirius et Arcturus mesurées à son époque et les positions de ces mêmes étoiles mesurées par Hipparque au 2^e siècle av. J.-C. Il remarque alors que ces étoiles se sont déplacées de près de ½° (qui est environ la largeur de la Lune vue de la Terre) par rapport à d'autres étoiles. Cela signifie que la configuration des étoiles change lentement. Ainsi, la configuration des étoiles de la Grande Ourse sera un peu différente en l'an 50 000.





astrobob.areavoices.com/2008/10/19/and-i-thought-youd-never-change/

Vous pouvez également admirer, sur cette image, le mouvement de l'étoile de Barnard par rapport aux autres étoiles entre 1991 et 2007. L'étoile de Barnard est une des étoiles les plus près de la Terre et c'est l'étoile qui a le déplacement angulaire le plus rapide dans le ciel (10,4" par année, ce qui donne un déplacement égal à la largeur angulaire de la Lune en un peu plus de 170 ans).

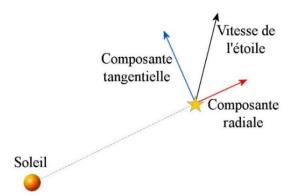


www.fornax.pwp.blueyonder.co.uk/barnards_star.html

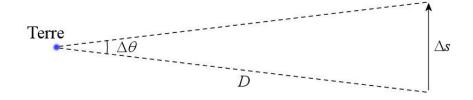
Ce mouvement propre est dû au déplacement de l'étoile par rapport au Système solaire. Le déplacement angulaire de l'étoile permet même de calculer la vitesse tangentielle des

étoiles. La vitesse tangentielle est une des composantes de la vitesse d'une étoile. La figure de droite nous montre les deux composantes de la vitesse d'une étoile : la vitesse radiale et la vitesse tangentielle.

Nous verrons dans un autre chapitre comment trouver la vitesse radiale. Pour l'instant, contentons-nous de déterminer la vitesse tangentielle à partir du mouvement propre de l'étoile.



De la Terre, on mesure le changement de position de l'étoile en angle par unité de temps. On peut représenter cette mesure par la figure suivante.



Généralement, l'angle est très petit, ce qui signifie qu'on peut considérer que la ligne Δs est un arc de cercle. L'angle (en radians) est donc

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{D}$$

En divisant par le temps, on obtient

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{1}{D} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

À droite, on retrouve $\Delta s/\Delta t$, qui est la vitesse tangentielle de l'étoile. À gauche, on retrouve $\Delta \theta/\Delta t$, qui est la vitesse angulaire de l'étoile (ω). On a donc

$$\omega = \frac{v_t}{D}$$
$$v_t = \omega D$$

Dans cette formule, la vitesse angulaire est en rad/s et la distance est en mètres. Généralement, on mesure la vitesse angulaire en seconde d'arc par an et la distance en année-lumière. De plus, on veut souvent la vitesse en km/s. On va donc écrire la formule pour pouvoir travailler avec ces unités.

$$v_{t} = \omega D$$

$$= \omega \cdot \frac{2\pi rad}{360 \cdot 60 \cdot 60''} \cdot \frac{1an}{365 \cdot 25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60s} \cdot D \cdot \frac{9,46073 \times 10^{12} km}{1al}$$

On a donc la formule suivante.

Composante tangentielle de la vitesse d'une étoile

$$v_t = 1,4534 \frac{km}{s} \cdot \frac{\omega}{1 \frac{n}{an}} \cdot \frac{D}{1al}$$

Exemple 2.8.1

L'étoile Sirius a un mouvement propre de 1339 millièmes d'arc de seconde par année et elle est à une distance de 8,71 al. Quelle est la vitesse tangentielle de Sirius ?

La vitesse tangentielle est

$$v_{t} = 1,4534 \frac{km}{s} \cdot \frac{\omega}{1 \frac{n}{an}} \cdot \frac{D}{1al}$$

$$= 1,4534 \frac{km}{s} \cdot \frac{1,339 \frac{n}{an}}{1 \frac{n}{an}} \cdot \frac{8,71al}{1al}$$

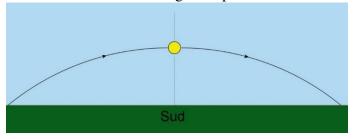
$$= 1,4534 \frac{km}{s} \cdot 1,339 \cdot 8,71$$

$$= 16,95 \frac{km}{s}$$

2.9 LE MOUVEMENT DU SOLEIL DANS LE CIEL

Vue de la Terre, on a l'impression que le Soleil tourne autour de la Terre. Tout comme pour les étoiles, le Soleil suit le mouvement diurne des étoiles généré par la rotation de la

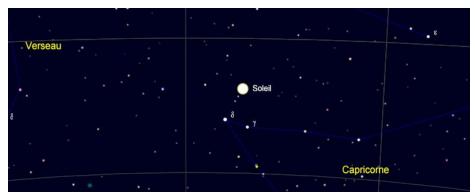
Terre. On voit donc le Soleil se lever à l'est, être directement vers le sud à midi (pour un observateur situé à une latitude supérieure à 23° de latitude nord) et se coucher à l'ouest chaque jour.



L'écliptique

Toutefois, le Soleil ne suit pas exactement le même mouvement que les étoiles. Le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre est un peu plus lent que celui des étoiles. Alors que les étoiles prennent 23 h 56 min et 4 s pour faire le tour de la Terre, le Soleil fait ce mouvement en 24 h (en moyenne). La période de 23 h 56 min et 4 s est le *jour sidérale*, et la période de 24 h est le *jour solaire*.

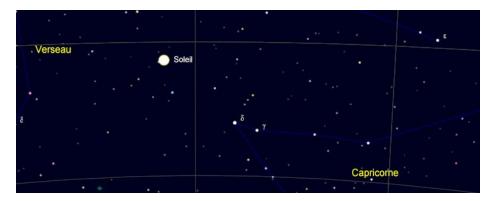
Comme Soleil est un peu plus lent que les étoiles, la position du Soleil dans le ciel par rapport aux étoiles change lentement. Ce n'est pas évident de voir ce changement de position puisqu'on ne voit pas les étoiles en même temps que le Soleil, mais on peut la trouver en faisant quelques calculs pour déterminer quelles sont les étoiles qui sont près de la position du Soleil dans le ciel. On peut aussi déduire devant quelle constellation se retrouve le Soleil. Par exemple, voici ce qu'on pourrait voir le 11 février de chaque année si on pouvait voir les étoiles en même temps que le Soleil.



Fait avec le programme Cartes du ciel

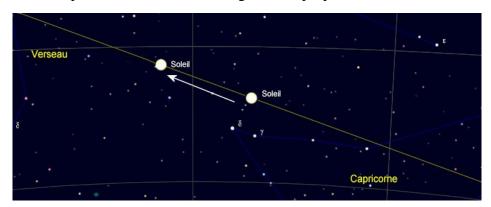
À ce moment, le Soleil est devant la constellation du Capricorne. Le Soleil n'est pas physiquement près des étoiles de la constellation du Capricorne puisque les étoiles sont loin derrière le Soleil. Le Soleil est simplement aligné avec la constellation.

La position du Soleil une semaine plus tard, le 18 février, montre bien que le Soleil a changé de position par rapport aux étoiles.

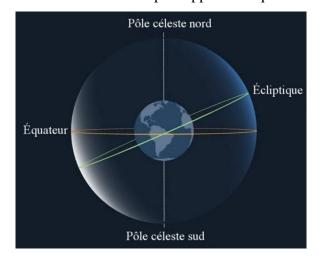


À cette date, le Soleil est maintenant devant la constellation du Verseau (ce n'est pas évident, car la frontière entre les constellations n'est pas indiquée, mais le Soleil est bien devant la constellation du Verseau à ce moment).

Si on note la position du Soleil par rapport aux étoiles, on remarque que le Soleil suit en fait une trajectoire très précise dans le ciel. Cette trajectoire porte le nom d'écliptique. Chaque jour, le Soleil se déplace de près d'un degré sur l'écliptique. Sur la figure suivante, on peut voir le déplacement du Soleil le long de l'écliptique entre les 11 et 18 février.



Voici une image qui montre l'ensemble de cette trajectoire du Soleil sur la sphère céleste. On voit que l'écliptique est un cercle qui entoure la Terre et qu'il est incliné par rapport à l'équateur. L'angle d'inclinaison est de 23° par rapport à l'équateur.



Chaque année, le Soleil revient à la même position sur l'écliptique après avoir fait un tour complet sur l'écliptique. Tous les 11 février de chaque année, le Soleil est devant la constellation du Capricorne, à la position montrée sur la figure du 11 février. (En fait, ce n'est pas exactement vrai comme on le verra dans un autre chapitre, mais la différence est minime.)

Les constellations du zodiaque

En suivant l'écliptique, le Soleil passe devant seulement 13 constellations. Voici ces constellations ainsi que les dates pendant lesquelles le Soleil est devant chacune de ces constellations.

Constellation	Date	
Capricorne	19 janvier – 15 février	
Verseau	16 février – 11 mars	
Poissons	12 mars – 18 avril	
Bélier	19 avril – 13 mai	
Taureau	14 mai – 20 juin	
Gémeaux	21 juin – 20 juillet	
Cancer	21 juillet – 9 aout	
Lion	10 aout – 16 septembre	
Vierge	17 septembre – 30 octobre	
Balance	31 octobre – 22 novembre	
Scorpion	23 novembre – 30 novembre	
Serpentaire	1 ^{er} décembre – 17 décembre	
Sagittaire	18 décembre – 18 janvier	

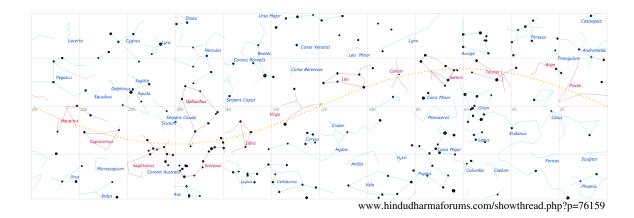
(Ces dates peuvent varier d'un jour parce que l'année ne dure pas un nombre entier de jours et qu'il y a parfois des années bissextiles.)

On reconnait plusieurs noms dans cette liste. Ce sont, à l'exception du Serpentaire, les 12 signes du zodiaque de l'astrologie. D'ailleurs, ces 13 constellations portent le nom de constellations du zodiaque.

Cela signifie donc que le Soleil ne peut pas être devant n'importe quelle constellation. Il est impossible que le Soleil se retrouve devant la constellation d'Orion ou de la Grande Ourse puisque ce ne sont pas des constellations du zodiaque.

Ce mouvement du Soleil sur l'écliptique est connu depuis très longtemps. Déjà en Mésopotamie, plusieurs millénaires av. J.-C., on pouvait calculer la position du Soleil dans le ciel pour n'importe quelle date.

Voici une carte montrant la trajectoire du Soleil (écliptique, en pointillée) devant ces constellations.



L'année sidérale

On sait que le Soleil revient à la même position par rapport aux étoiles chaque année. En fait, ce temps nécessaire pour que Soleil revienne exactement au même endroit dans le ciel porte le nom d'*année sidérale*. La durée exacte de l'année sidérale est

$$1a_{sid} = 31558149,8s$$

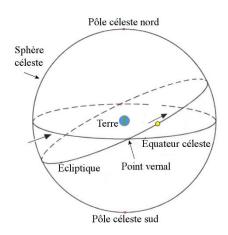
 $1a_{sid} = 365,2565654j$
 $1a_{sid} = 365j6h9m9,8s$

Le point vernal

L'écliptique rencontre l'équateur céleste à deux endroits.

Un de ces points de rencontre correspond à la position du Soleil au début de l'automne. Comme le Soleil est à cette position aux environs du 21 septembre, ce point est dans la constellation de la Vierge.

L'autre point de rencontre correspond à la position du Soleil au début du printemps. Comme le Soleil est à cette position aux environs de 21 mars, ce point est dans la constellation des Poissons. Ce point dans le ciel porte le nom de *point vernal*. C'est ce point qui sert d'origine à la mesure de l'ascension droite (l'équivalent de la longitude) pour déterminer la position des étoiles.



astronomie.skyrock.com/3011572425-Voute-celeste-Sphere-celeste.html

RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

Année-lumière

$$1 al = 9,46073 \times 10^{15} m$$

Étoile circumpolaire

On calcule
$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

Une étoile est circumpolaire autour du pôle nord pour un observateur situé dans l'hémisphère nord si

$$\delta > \theta$$

Une étoile est circumpolaire autour du pôle Sud pour un observateur situé dans l'hémisphère sud si

$$\delta < -\theta$$

Étoiles qui ne sont jamais visibles

On calcule
$$\theta = 90^{\circ} - |\phi|$$

Une étoile n'est jamais visible pour un observateur situé dans l'hémisphère nord si

$$\delta < -\theta$$

Une étoile n'est jamais visible pour un observateur situé dans l'hémisphère sud si $\delta > \theta$

Composante tangentielle de la vitesse d'une étoile

$$v_t = 1,4534 \frac{km}{s} \cdot \frac{\omega}{1 \frac{n}{an}} \cdot \frac{D}{1al}$$

Puissance captée

$$P_{\rm capt\'ee} = I\!A_{\rm capteur}$$

Rapport des intensités à partir des magnitudes

$$\frac{I_1}{I_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$$

Lien entre l'intensité visuelle et la magnitude apparente

$$I_V = 0.306 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4m}$$

Correction bolométrique

$$BC = m_{bol} - m$$

Lien entre la magnitude bolométrique et l'intensité bolométrique

$$I = 2,518 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0.4 m_{bol}}$$

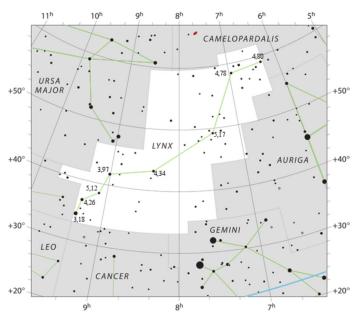
EXERCICES

2.1 Les constellations

- 1. Quelle est la distance, en année-lumière, de l'étoile Antarès, si sa distance est de 5,676 x 10¹⁵ km?
- 2. Quelle est la distance (en al et en km) de l'étoile Aldébaran s'il faut 65 ans pour que lumière émise par l'étoile arrive sur Terre ?

2.4 Le nom des étoiles

3. Voici une carte de la constellation du Lynx. (La constellation, c'est la zone en blanc.) On a écrit les magnitudes des 8 étoiles les plus brillantes de la constellation. (On verra plus loin que l'étoile est plus brillante si sa magnitude est plus petite.)



- a) Quelle devrait être le nom de l'étoile ayant une magnitude de 4,34 selon la désignation de Bayer ?
- b) En supposant qu'il n'y a pas d'autres étoiles que celles montrées sur la figure (tous les points, pas seulement celles qui ont une magnitude), quelle devrait être le nom de l'étoile ayant une magnitude de 4,34 selon la désignation de Flamsteed?

- 4. Une étoile variable est la 16^e qui fut découverte dans la constellation de l'Aigle. Quel est le nom de cette étoile variable ?
- 5. L'étoile Gliese 667 est une étoile triple (formé de 3 étoiles). Quels sont les noms de ces 3 étoiles si elles sont à peu près la même importance dans le système d'étoiles ?

2.5 Le mouvement diurne

6. Abdul est à Casablanca (latitude = 33,6 nord, longitude = 7,58 ouest). Quel est l'angle entre l'horizon et Polaris pour Abdul ?

2.6 La visibilité des étoiles

- 7. Abdul est à Casablanca (latitude = 33,6 nord). Classez les étoiles suivantes dans la bonne catégorie : étoile circumpolaire, étoile qui n'est jamais visible, étoile visible selon le moment de l'année.
 - a) Rigel (déclinaison = $-8^{\circ} 12'$)
 - b) Alpha du centaure (déclinaison = $-60^{\circ} 50'$)
 - c) Dubhé (déclinaison = $61^{\circ} 45'$)
 - d) Antarès (déclinaison = $-26^{\circ} 26'$)
 - e) Arcturus (déclinaison = $19^{\circ} 12'$)
 - f) Canopus (déclinaison = $-52^{\circ} 42'$)
- 8. La déclinaison de Canopus est de -52° 42′. Selon la ville d'observation, classez cette étoile dans la bonne catégorie : étoile circumpolaire, étoile qui n'est jamais visible, étoile visible selon le moment de l'année.
 - a) Québec (latitude = 46.8° nord)
 - b) Miami (latitude = 25.8° nord)
 - c) Nairobi (latitude = 1.3° sud)
 - d) Melbourne (latitude = 37.8° sud)

2.7 La brillance des étoiles

- 9. Calculer les intensités visuelles lumineuses (I_V en W/m²) de la lumière visible des étoiles suivantes à partir de leur magnitude.
 - a) Rigel (m = 0.12)
 - b) Antarès (m = 1,09)

- c) Alphard (m = 1.98)
- d) Wolf 359 (m = 13,44)
- 10. Calculer la magnitude des étoiles suivantes à partir de l'intensité de la lumière visible.
 - a) Canopus ($I_V = 5.94 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$)
 - b) Achernar ($I_V = 1.93 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$)
 - c) Mizar ($I_V = 3.92 \times 10^{-10} \text{ W/m}^2$)
 - d) L'étoile de Barnard ($I_V = 4.72 \times 10^{-13} \text{ W/m}^2$)
- 11. On veut capter toute l'énergie provenant de Sirius pour faire fonctionner une ampoule de 60 W. Le capteur est de forme circulaire. Quel diamètre devrait avoir le capteur pour faire fonctionner l'ampoule si la lumière provenant de Sirius sachant qu'elle a une magnitude bolométrique de -1,64 ?
- 12. Quand deux étoiles sont très près l'une de l'autre, il arrive qu'on ne puisse pas distinguer séparément les deux étoiles à partir de la Terre. Dans ce cas, on perçoit le système comme une seule étoile dont l'intensité lumineuse est la somme des intensités lumineuses de chaque étoile. Quelle est la magnitude totale du système 61 Cygni, formé d'une étoile dont la magnitude est de 5,21 et d'une autre dont la magnitude est de 6,03 si on ne peut pas distinguer séparément les deux étoiles ?
- 13. Un amas est formé de 10 000 étoiles. 100 de ces étoiles ont une magnitude de 8 et les autres ont une magnitude de 12. Quelle est la magnitude totale de l'amas ?
- 14. Canopus a une magnitude de -0,72 alors que Mizar a une magnitude de 2,23. Canopus est combien de fois plus brillante que Mizar ?
- 15. Une image d'une région du ciel obtenu avec le filtre V montre qu'on a reçu 30 000 photons en provenance de l'étoile A et 4000 photons en provenance de l'étoile B. Sachant que le nombre de photons est proportionnel à l'intensité lumineuse et que la magnitude de l'étoile A est de 16, déterminez la magnitude de l'étoile B.
- 16. Pollux a une magnitude de 1,14 et la correction bolométrique de -0,50.
 - a) Quelle est la magnitude bolométrique de Pollux ?
 - b) Quelle est l'intensité bolométrique de la lumière provenant de Pollux ?
 - c) Quel pourcentage de la lumière émise par cette étoile est dans le visible ?

17. Une étoile émet 10 % de son énergie dans la partie visible du spectre que laisse passer le filtre V. Quelle est la correction bolométrique de cette étoile ?

2.8 Le mouvement propre

- 18. L'étoile Altaïr a un mouvement propre de 0,6603 seconde d'arc par année. Quelle est sa vitesse tangentielle si l'étoile est à 16,73 al de la Terre ?
- 19. Une étoile située à 15 al a une vitesse tangentielle de 20 km/s. Combien lui faudrat-elle de temps pour se déplacer de 1° dans le ciel par rapport aux autres étoiles ?

RÉPONSES

2.1 Les constellations

- 1. 600 al
- 2. $65 \text{ al} = 6.149 \times 10^{14} \text{ km}$

2.4 Le nom des étoiles

- 3. a) Delta du Lynx b) 35 du Lynx
- 4. RX de l'Aigle
- 5. Gliese 667 A, Gliese 667 B et Gliese 667 C

2.5 Le mouvement diurne

6. 33,6°

2.6 La visibilité des étoiles

- 7. a) Visible selon le moment de l'année
- b) Jamais visible c) Circumpolaire
- d) Visible selon le moment de l'année
- e) Visible selon le moment de l'année
- f) Visible selon le moment de l'année
- 8. a) Jamais visible b) Visible selon le moment de l'année c) Visible selon le moment de l'année d) Circumpolaire

2.7 La brillance des étoiles

9. a) 2,74 x 10^{-9} W/m² b) 1,12 x 10^{-9} W/m² c) 4,94 x 10^{-10} W/m² d) 1,29 x 10^{-14} W/m²

Version 2025b

10. a) -0,72 b) 0,50 c) 2,23 d) 9,53

11. 25,88 km

12. 4,79

13. 1,64

14. 15,1 fois plus brillante

15. 18,19

16. a) 0,64 b) 1,397 x 10⁻⁸ W/m² c) 7,7 %

17. -0,21

2.8 Le mouvement propre

18. 16,06 km/s

19. 3924 ans