

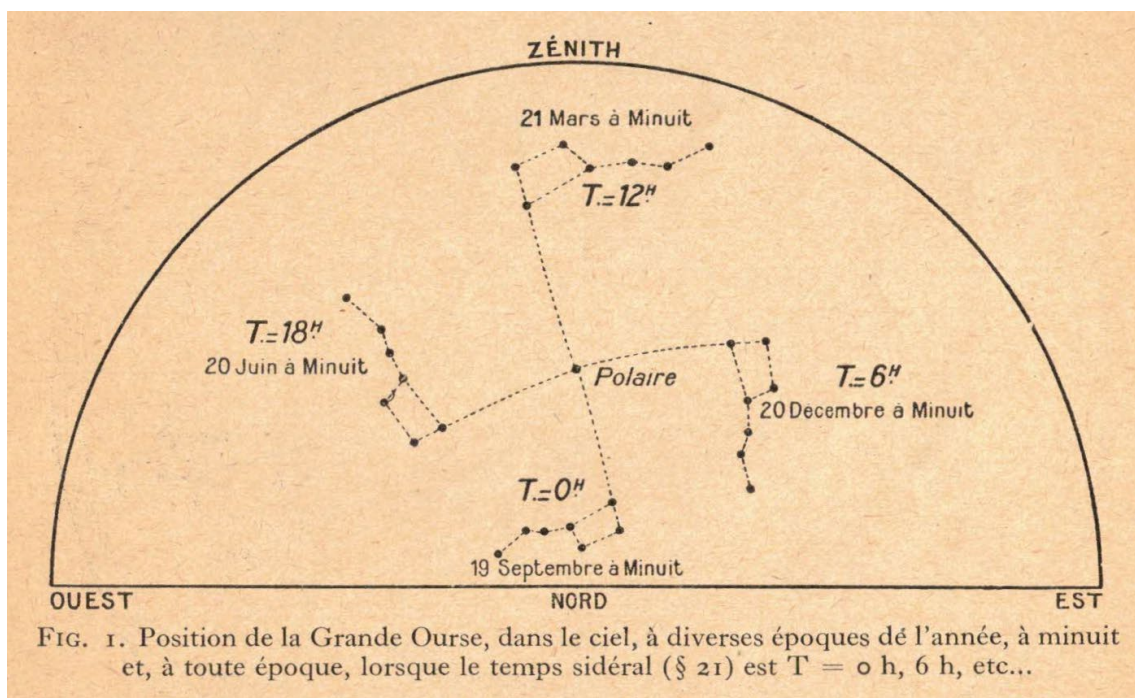


cité

**sciences
et industrie**

L'étoile Polaire

Enseignants de collège et de lycée



Sommaire

1	Ce que n'est pas l'étoile Polaire	3
2	Comment trouver l'étoile Polaire ?	3
3	Propriétés physiques de l'étoile Polaire	5
4	α Ursae Minoris en tant qu'étoile polaire	7
5	Y a-t-il une étoile polaire dans l'hémisphère sud ?	10
6	Hauteur de l'étoile Polaire et latitude	11
7	Idées d'activités pour les élèves	12

Image de couverture : extrait de l'introduction au cours de cosmographie pour la classe de philosophie d'André Danjon, membre de l'Institut et Directeur de l'Observatoire de Paris, 1950. Ouvrage conforme aux programmes du 26 juin 1945 et du 18 avril 1947.

1. Ce que n'est pas l'étoile Polaire

Il convient d'abord de dire **ce que n'est pas** l'étoile Polaire :

- **l'étoile Polaire n'est pas l'étoile du Berger.** Cette dernière désigne la planète Vénus, souvent visible le soir ou le matin sous la forme d'un point étincelant ;
- **l'étoile Polaire n'est pas, loin s'en faut, l'étoile la plus brillante du ciel nocturne.** Près d'une cinquantaine d'étoiles sont plus lumineuses qu'elle. Il s'agit d'une étoile variable dont l'éclat fluctue très légèrement selon une période proche de 4 jours.

2. Comment trouver l'étoile Polaire ?

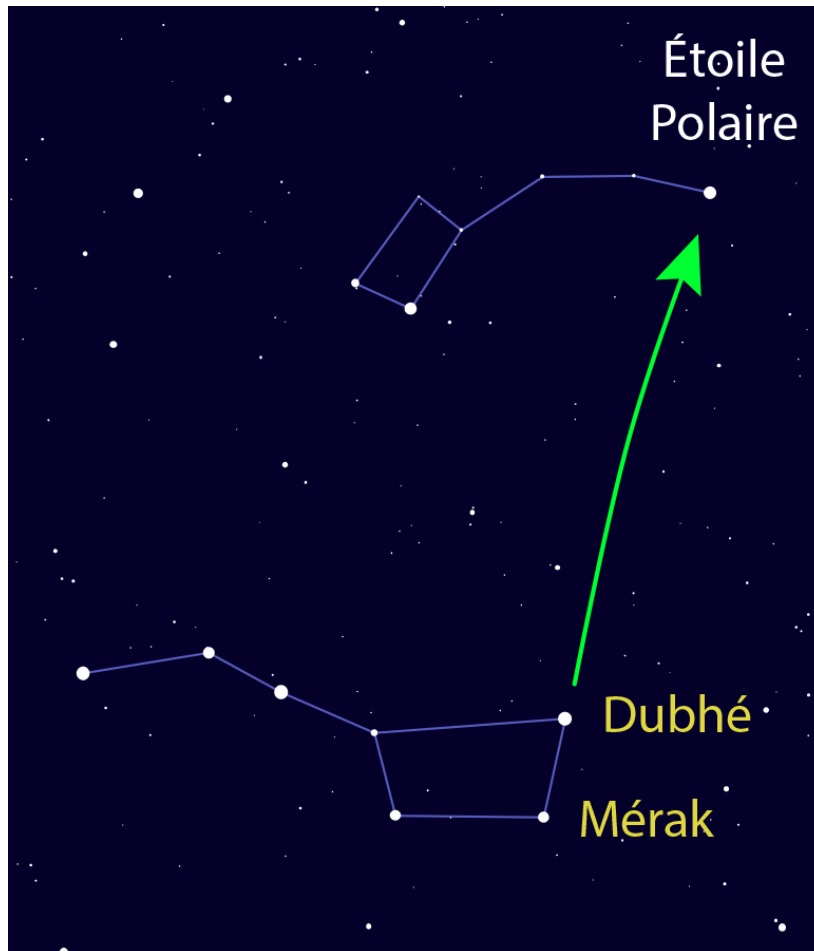
Localiser l'étoile Polaire est facile, même au cœur des grandes villes. Il faut commencer par repérer la célèbre constellation de la Grande Ourse et plus concrètement, sept étoiles parmi les plus brillantes de la Grande Ourse. Celles-ci forment une figure remarquable que, dans nos contrées, on appelle la Grande Casserole.



Ces sept étoiles de la Grande Ourse constituent une figure connue de tous, appelée la Grande Casserole.

Sous nos latitudes, la Grande Casserole ne se couche jamais. Elle demeure visible toute la nuit et toutes les nuits de l'année. Une telle figure est dite *circumpolaire*.

Pour trouver l'étoile Polaire, il suffit de faire passer une ligne par les deux étoiles de l'extrémité de la Casserole, Dubhé et MéraK, vers le haut de la Casserole. La première étoile relativement brillante sur laquelle vous tomberez n'est autre que l'étoile Polaire. Pour être plus précis, il vous suffit de prolonger le segment MéraK-Dubhé d'une distance égale environ à cinq fois la distance entre ces deux étoiles. Cette méthode fonctionne quelle que soit la position de la Grande Casserole dans notre ciel, qu'elle frôle l'horizon ou trône près du zénith.



Comment trouver l'étoile Polaire à partir de la Grande Casserole.

Faites face à l'étoile Polaire puis, à partir d'elle, abaissez une ligne sur l'horizon le plus proche : vous tombez sur le point cardinal nord. Derrière vous, le sud. À votre gauche, l'ouest et à votre droite, l'est. Vous voilà orienté !

L'étoile Polaire, dont le nom officiel est *Polaris* ou α *Ursae Minoris*, est l'étoile principale de la Petite Ourse (*Ursa Minor* en latin). Cette constellation circumpolaire peu spectaculaire contient une bonne vingtaine d'étoiles visibles à l'œil sous un ciel de qualité, loin des villes.



La constellation de la Petite Ourse et ses limites, définies par l'Union astronomique internationale en 1930. α désigne l'étoile Polaire, β est une étoile orangée nommée Kochab et γ une étoile blanche appelée Pherkad. Ne trouvez-vous pas que la Petite Ourse possède quelque ressemblance avec la Grande Casserole ? On la surnomme d'ailleurs parfois... la Petite Casserole.

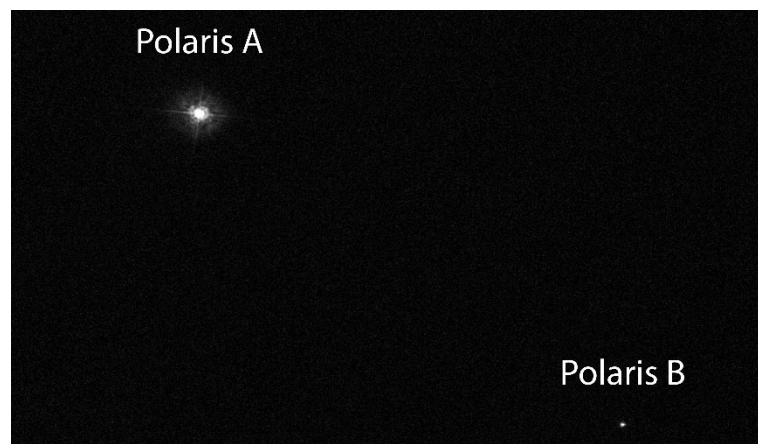
3. Propriétés physiques de l'étoile Polaire

L'étoile Polaire est en réalité un système de trois étoiles jaune-blanc liées par la gravitation. L'astre principal, Polaris Aa, est une supergéante de 5,4 masses solaires près de 1300 fois plus lumineuse que le Soleil. Avec Polaris B, une étoile de 1,4 masse solaire, elle forme une binaire visuelle facilement séparable à l'aide d'un instrument d'optique d'amateur. Polaris B fut découverte en 1779 par le grand astronome William Herschel (1738 – 1822). Enfin, Polaris Aa possède un compagnon très proche de 1,3 masse solaire, Polaris Ab, qui ne fut décelé indirectement qu'au XX^e siècle par l'étude du spectre de Polaris Aa (effet Doppler). On parle alors d'étoile double spectroscopique.

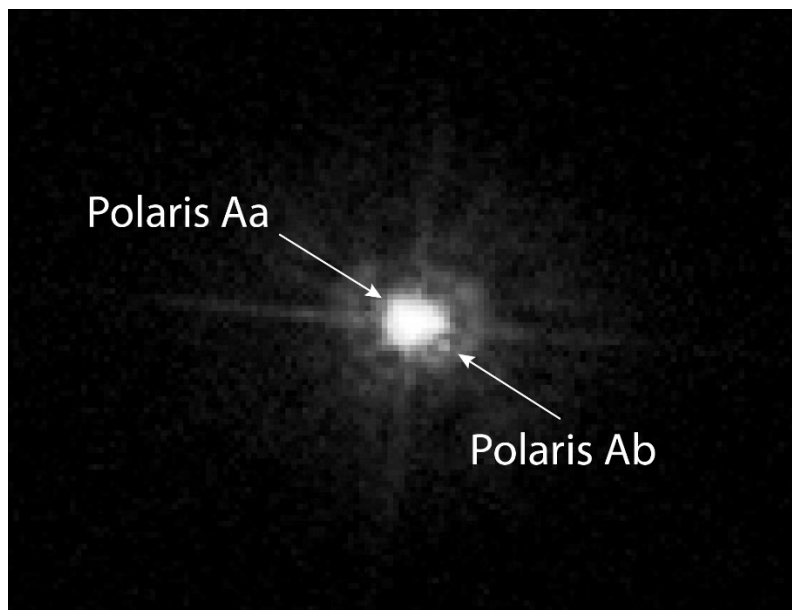
Polaris A et Polaris B observées par le télescope spatial *Hubble* en 2005.

2 400 unités astronomiques séparent en moyenne les deux astres, soit 360 milliards de kilomètres.

Crédit : [NASA](#) / [ESA](#) / N. Evans (Harvard-Smithsonian CfA) et H. Bond ([STScI](#)).



L'effet Doppler consiste en un déplacement en longueur d'onde des raies spectrales par rapport aux mêmes raies observées en laboratoire. Le décalage d'une raie vers les petites longueurs d'onde indique que l'astre se rapproche de nous et un décalage vers les grandes longueurs d'onde, que l'astre s'éloigne. L'effet Doppler est donc très précieux en astronomie car il renseigne sur le mouvement des astres et sur les mouvements de matière à l'intérieur de ces astres.



Polaris A, résolue en Polaris Aa et Polaris Ab par le télescope spatial *Hubble* en 2005. 18,5 unités astronomiques séparent en moyenne les deux astres, soit 2,8 milliards de kilomètres. Crédit : [NASA](#) / [ESA](#) / N. Evans (Harvard-Smithsonian CfA) et H. Bond ([STScI](#)).

Polaris Aa est une *céphéide*, c'est-à-dire une étoile massive, jeune, très brillante et dont l'éclat varie selon une période bien définie du fait de la contraction et de la dilatation régulière de ses couches externes. On sait, depuis les travaux d'Henrietta Leavitt (1868 – 1921), que plus une céphéide est intrinsèquement lumineuse, plus sa période est longue. Il suffit donc de mesurer la période d'une céphéide de distance inconnue pour en déterminer la luminosité intrinsèque. En comparant cette dernière à son éclat apparent, on en déduit sa distance.

Très brillantes et donc visibles de loin, les céphéides sont détectées depuis les années 1920 dans d'autres galaxies que la nôtre et jusqu'à une centaine de millions d'années-lumière aujourd'hui.

L'accès direct à la distance de l'étoile Polaire se fait par triangulation, avec une base nécessairement très grande en raison de la distance gigantesque qui nous sépare des autres étoiles que le Soleil. Une telle base est fournie par l'orbite de la Terre dans sa révolution autour du Soleil. On mesure alors l'angle dont semble avoir bougé l'étoile Polaire par rapport au fond du ciel, en raison du changement de position de l'observateur en six mois. L'angle, appelé *parallaxe annuelle*, est minuscule et ne s'élève qu'à deux millièmes de degré !

Cela place l'étoile Polaire à environ 450 années-lumière. Pensez-y lorsque vous l'observerez dans le ciel : la lumière qui frappe votre œil a vraisemblablement été émise alors que Charles IX régnait sur la France...

4. α Ursae Minoris en tant qu'étoile polaire

La particularité d'une étoile polaire est de se situer quasiment dans le prolongement de l'axe des pôles (d'où son nom), c'est-à-dire de l'axe de rotation de la Terre. Elle est donc pratiquement dénuée de mouvement et tous les autres astres – Soleil, Lune, étoiles, planètes – semblent lui tourner autour dans un grand mouvement circulaire d'ensemble, d'est en ouest, un *mouvement diurne* qu'ils effectuent en une journée.

L'axe de rotation de la Terre intercepte la sphère céleste en deux points appelés pôles célestes. Il se trouve que l'étoile α Ursae Minoris se situe actuellement à environ 39' du pôle céleste Nord, soit deux-tiers de degré. Nous avons ainsi la chance de vivre à une époque où une étoile relativement brillante matérialise le pôle céleste Nord de façon très correcte. L'étoile Polaire de 2021 remplit bien son rôle !



Une pose de 45 minutes du ciel étoilé met en évidence sa rotation apparente approximative autour de l'étoile Polaire. Ce type de photographie longue pose s'appelle un filé d'étoiles. La chapelle au premier plan est Sankt-Walburgis-Kapelle, dans le Jura franconien (Bavière, Allemagne). Crédit : [Udo Kügel](#).

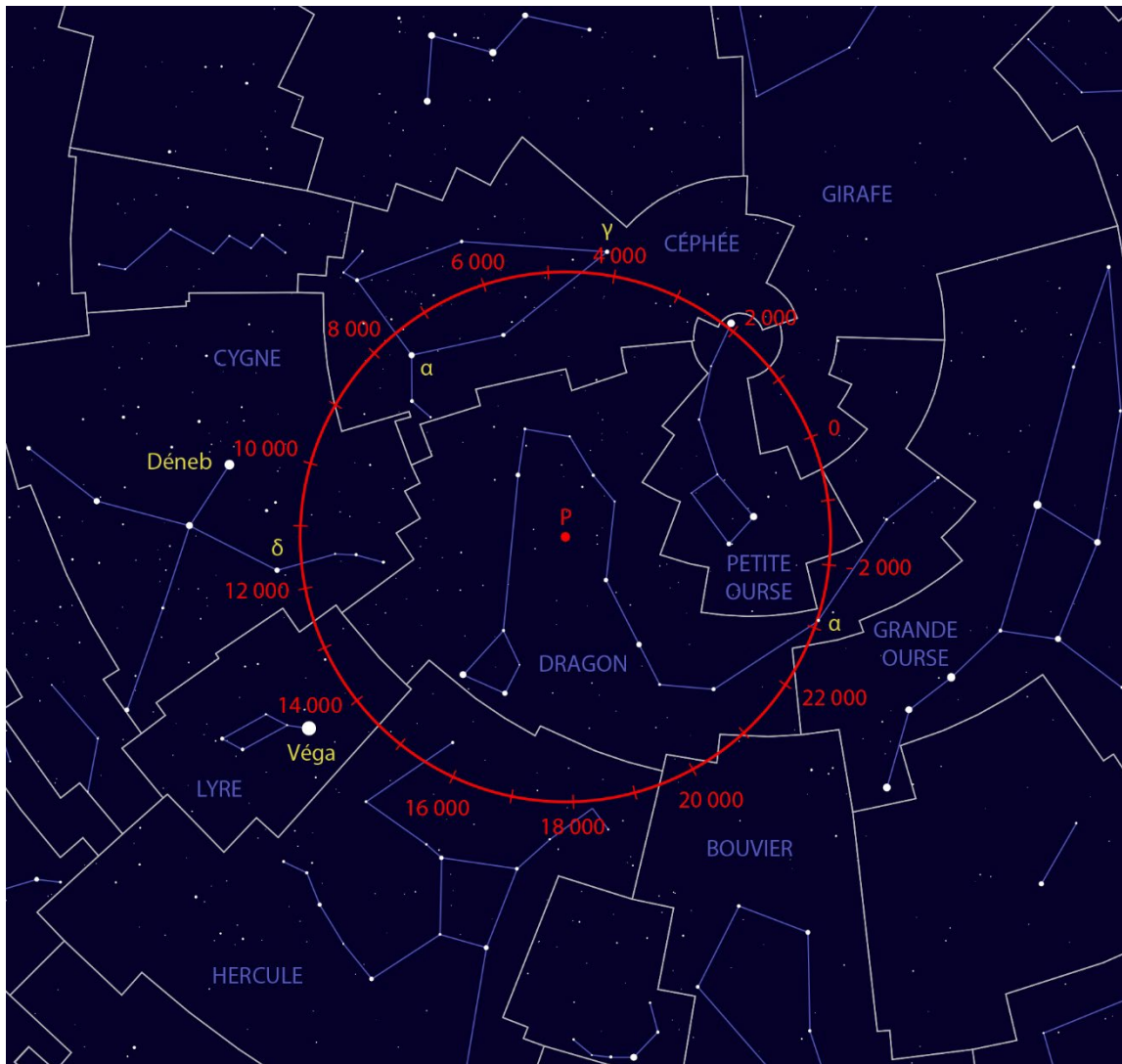
Mais pourquoi a-t-on ajouté « actuellement » ? α Ursae Minoris n'a-t-elle pas toujours été étoile polaire ? Bien que William Shakespeare ait fait dire à Jules César dans la tragédie du même nom, « mais je suis constant comme l'étoile du nord, qui, pour l'immobilité et l'obéissance à sa loi de fixité, n'a pas son égale dans le firmament », d'autres étoiles ont été amenées à jouer ce rôle et d'autres encore le feront. Pourquoi ?

Il faut d'abord se rappeler que la Terre n'est pas rigoureusement sphérique. Elle présente un renflement au niveau de l'équateur, dû à la rotation de notre planète sur elle-même. La Lune et le Soleil exercent un couple de forces sur ce renflement, qui tend à amener l'excès de masse équatorial vers le plan dans lequel la Terre tourne autour du Soleil, c'est-à-dire le plan de l'écliptique (rappelons que l'angle entre les plans de l'équateur et de l'écliptique, un angle appelé *obliquité*, est actuellement de $23^{\circ} 26'$, une valeur diminuant d'environ $0,8'$ par siècle). Comme la Terre tourne sur elle-même, ce couple de forces ne peut modifier l'angle entre les plans de l'équateur et de l'écliptique. Il provoque toutefois un changement graduel de l'orientation de l'axe de rotation, qui décrit un cône en quelque 25 800 ans autour d'un axe perpendiculaire au plan de l'écliptique, à la manière d'une toupie dont l'axe de rotation décrit un cône autour de la verticale. On parle de *précession des équinoxes*. La précession fut découverte par le grand astronome Hipparque au II^e siècle avant notre ère mais ne fut comprise et modélisée qu'au XVIII^e siècle.

La Terre est donc animée de trois mouvements principaux :

- une rotation autour de l'axe des pôles en un jour, qui a pour conséquence le mouvement diurne ;
- une révolution autour du Soleil en un an, qui a pour conséquence le *mouvement annuel*, un léger glissement quotidien du Soleil vers l'est à hauteur de 1° par jour ;
- un mouvement de précession dont la période est de 25 800 ans, qui a pour conséquence un changement de l'orientation de son axe de rotation.

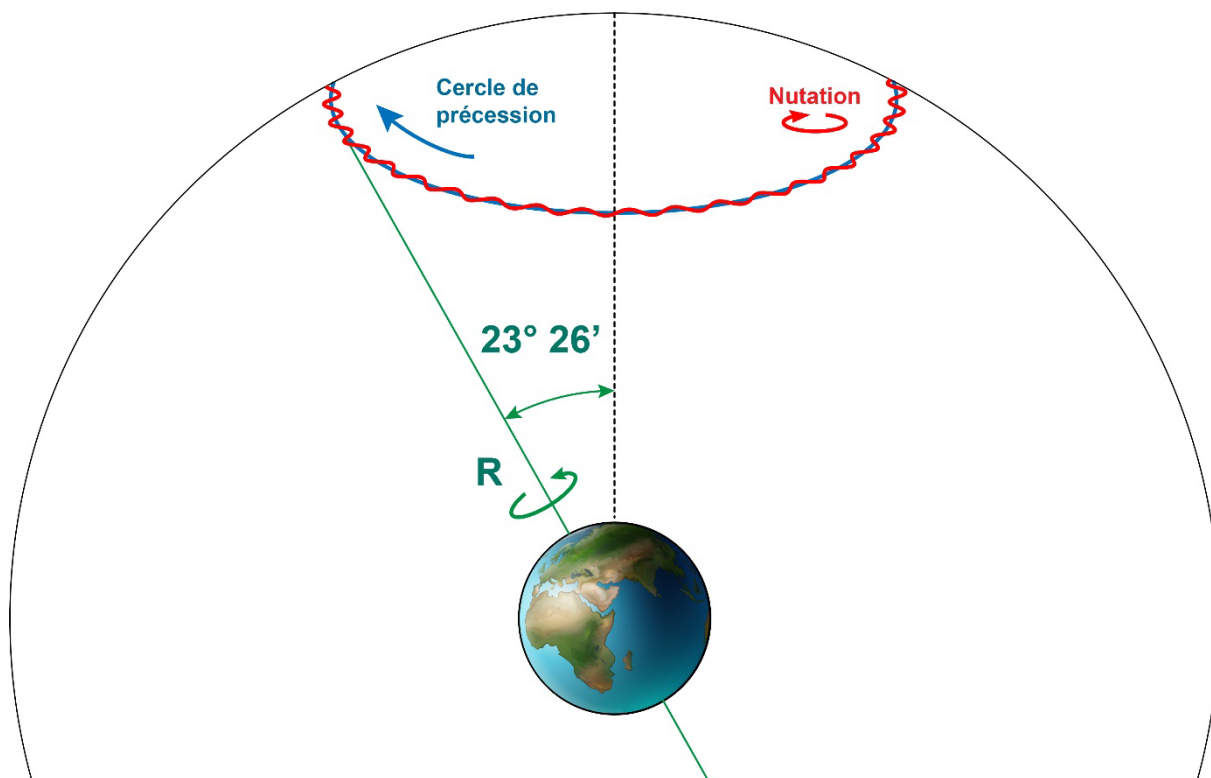
Le pôle céleste Nord décrit ainsi un cercle de rayon $23^{\circ} 26'$ (en toute rigueur, cette valeur varie entre 22° et $24^{\circ},5$ suivant un cycle de 41 000 ans), centré sur le pôle Nord de l'écliptique, situé dans la constellation du Dragon. La figure en page suivante vous présente son trajet pour les millénaires à venir.



Trajet du pôle céleste Nord sur la sphère céleste, dû à la précession et supposant une obliquité et une vitesse de précession constantes. Les années sont indiquées en rouge. Le centre du cercle de précession, *P*, figure le pôle Nord de l'écliptique.

De nos jours, comme nous l'avons vu, le pôle céleste Nord se trouve près de l'étoile α de la Petite Ourse. C'est notre « étoile polaire » du moment. Le rapprochement sera maximal vers 2100 (moins de $\frac{1}{2}^\circ$). Vers l'an 4000, l'étoile γ de Céphée (Errai) aura déjà pris le relais, relais qu'elle passera à α de Céphée (Alderamin) vers 7000-8000. Vers l'an 12 000, ce sera au tour de δ du Cygne (Fawaris), puis vers 14000, de la très brillante Véga de la Lyre, qui sera quand même à 5° du pôle céleste Nord. Ce dernier traversera ensuite les constellations d'Hercule et du Bouvier pour aboutir, vers l'an 23 000, tout près de l'étoile α du Dragon (Thuban)... comme vers l'an $- 3000$. On peut donc penser que lorsque les Égyptiens ont construit les pyramides, ils les ont orientées à l'aide de cette étoile ! Et le cycle se répète...

Notez enfin que l'orbite de la Lune étant inclinée de $5^\circ 9'$ en moyenne par rapport au plan de l'écliptique, notre satellite perturbe très légèrement la précession en y ajoutant de petites oscillations dont la période est de 18,6 ans. C'est la *nutation*, un effet qui fait décrire à l'axe de rotation terrestre des festons autour du cône de précession.



L'amplitude en obliquité de la nutation est de $9,2''$, soit $1/400^\circ$ de degré environ.

5. Y a-t-il une étoile polaire dans l'hémisphère sud ?

Le pôle céleste Sud n'est visible que depuis l'hémisphère austral et il réside dans une constellation moderne assez terne, l'Octant. Située à environ 1° de lui, l'étoile σ de l'Octant est une étoile polaire de piètre qualité en raison de son éclat faible : elle est à peine visible à l'œil nu sous un ciel pur dénué de pollution lumineuse.

Filé d'étoiles réalisé depuis l'observatoire de La Silla au Chili. La rotation du ciel se fait autour du pôle céleste Sud. Il n'est matérialisé par aucune étoile polaire qui soit digne de ce titre.

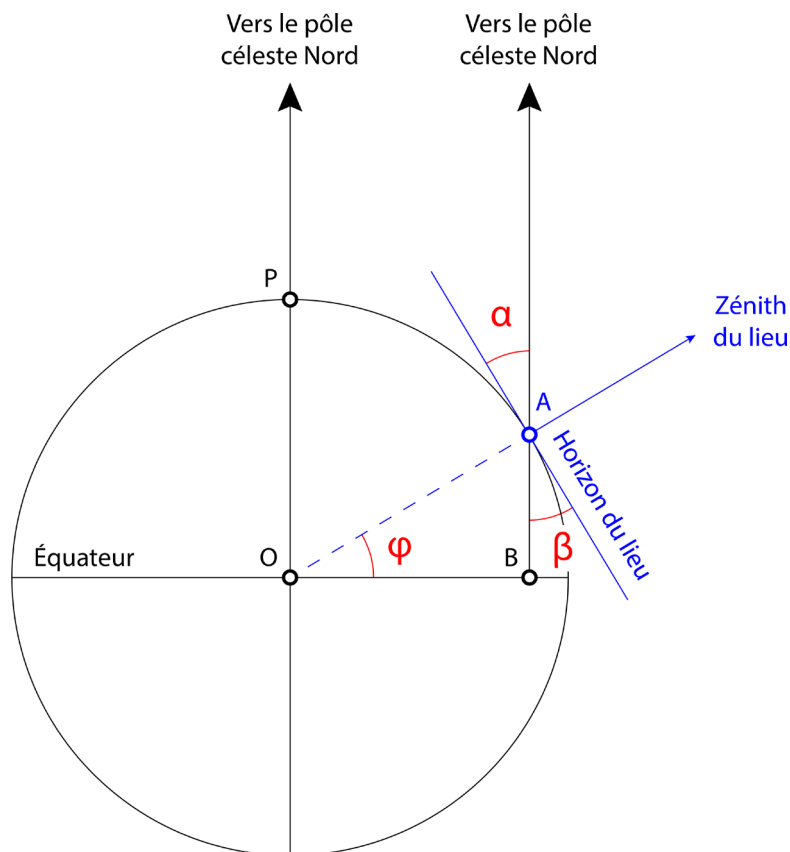
Crédit : [ESO / A. Santerne](#).



6. Hauteur de l'étoile Polaire et latitude

Nous allons montrer que la hauteur de l'étoile Polaire sur l'horizon fournit une bonne approximation de la latitude du lieu où on la mesure, dans l'hémisphère nord.

Le schéma suivant montre une coupe de la Terre, vue dans le plan contenant l'axe des pôles et passant par le point d'observation A . L'équateur, le centre O de la Terre, et le pôle Nord P sont indiqués. L'axe des pôles pointe vers le pôle céleste Nord. La position du point A est défini par l'angle ϕ , qui n'est autre que sa latitude.



Le prolongement du segment $[OA]$ en A pointe vers le zénith de ce lieu. L'horizon, toujours en ce lieu, lui est perpendiculaire et représente la tangente à la surface terrestre en A . Le pôle céleste Nord, attaché à la sphère céleste et rejeté à l'infini, ne voit pas sa direction modifiée, qu'on le regarde depuis le centre O de la Terre ou depuis A . (BA) est donc parallèle à (OP) et par conséquent, perpendiculaire à (OB) .

Dans le triangle (OAB) , la somme des angles en A , O et B vaut 180° . L'angle en A vaut ainsi $180^\circ - (\phi + 90^\circ) = 90^\circ - \phi$.

(OA) étant perpendiculaire à l'horizon du lieu, si on additionne l'angle en A que l'on vient de déterminer à l'angle β , on obtient 90° . Ainsi, $(90^\circ - \phi) + \beta = 90^\circ$. Il vient $\beta = \phi$.

Enfin, α et β étant deux angles opposés par le sommet, ils sont égaux : $\alpha = \beta$. Au final, $\alpha = \phi$.

Mesurer la hauteur du pôle céleste Nord au-dessus de l'horizon vous donne la latitude du lieu d'observation. L'étoile Polaire en étant éloigné de moins de 1° , vous commettrez une erreur inférieure au degré sur l'estimation de votre latitude en mesurant la hauteur de cette étoile.

7. Activités pour les élèves

Les thèmes proposés peuvent faire l'objet d'exposés ou de projets pédagogiques au collège, de travaux personnels encadrés en 1^{re} et de projets pluritechniques encadrés en terminale S.

- ✚ Constellations et astérismes.
- ✚ Constellations et mythologie
- ✚ Le nom des étoiles. Noms propres, désignations de Bayer, de Flamsteed, des étoiles variables. Catalogues d'étoiles.
- ✚ Repérage des astres. Les différents systèmes de coordonnées célestes :
 - horizontales (hauteur et azimut, plan de référence : l'horizon) ;
 - horaires (angle horaire et déclinaison, plan de référence : l'équateur céleste) ;
 - équatoriales (ascension droite et déclinaison, plan de référence : l'équateur céleste) ;
 - écliptiques (longitude écliptique et latitude écliptique, plan de référence : le plan de l'écliptique) ;
 - galactiques (longitude galactique et latitude galactique, plan de référence : le plan galactique).
- ✚ Mesure de l'éclat d'une étoile : l'échelle des magnitudes.
- ✚ Établissement du lien entre la couleur et la température de surface des étoiles.
- ✚ Polaris : un système triple.
- ✚ Polaris Aa : une céphéide.
- ✚ Mesure de la distance des étoiles : parallaxe annuelle et relation période-luminosité des céphéides.
- ✚ Estimation de la masse des étoiles. Mécanique céleste et 3^e loi de Kepler.
- ✚ Spectroscopie et effet Doppler : la découverte de Polaris Ab.
- ✚ Établissement du lien entre la hauteur de l'étoile Polaire et la latitude du lieu d'observation.
- ✚ Détermination précise de la position du pôle céleste Nord.