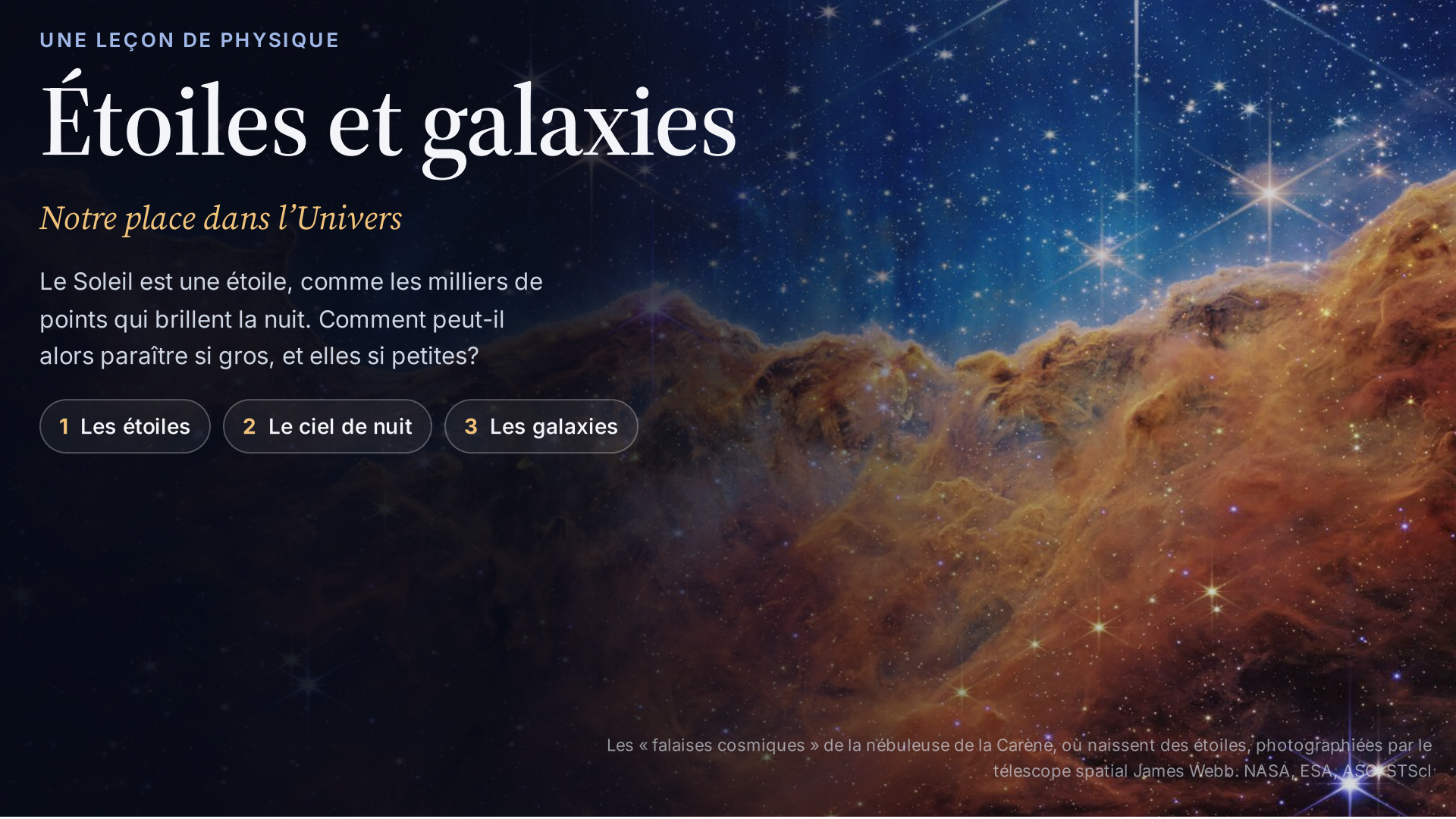
UNE LEÇON DE PHYSIQUE

Étoiles et galaxies

Notre place dans l'Univers

Le Soleil est une étoile, comme les milliers de points qui brillent la nuit. Comment peut-il alors paraître si gros, et elles si petites?

1 Les étoiles
2 Le ciel de nuit
3 Les galaxies



Les « falaises cosmiques » de la nébuleuse de la Carène, où naissent des étoiles, photographiées par le télescope spatial James Webb. NASA, ESA, ASC, STScI

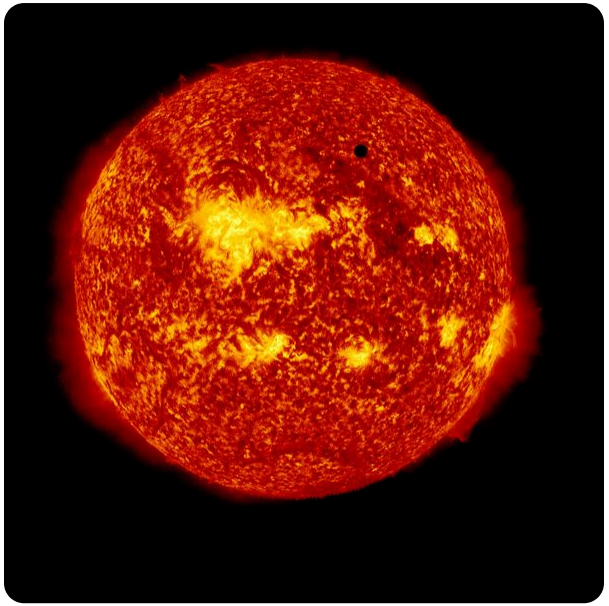
Le Soleil, une étoile parmi d’autres

Une **étoile** est une immense boule de gaz très chaud qui produit sa propre lumière. Le Soleil en est une : c’est l’étoile la plus proche de nous.

- **De l’énergie au cœur :** au centre, à 15 millions de °C, l’hydrogène se transforme en hélium. C’est la **fusion nucléaire** : elle libère la lumière et la chaleur de l’étoile.
- **Taille :** 1,4 million de km de diamètre, 109 Terres côte à côte.
- **Température :** environ 5 500 °C en surface.
- **Âge :** 4,6 milliards d’années. Il brillera encore environ 5 milliards d’années.
- **Étoile ou planète?** Une planète ne produit pas de lumière : elle renvoie seulement celle de son étoile, comme la Lune.

UN DISQUE OU UN POINT

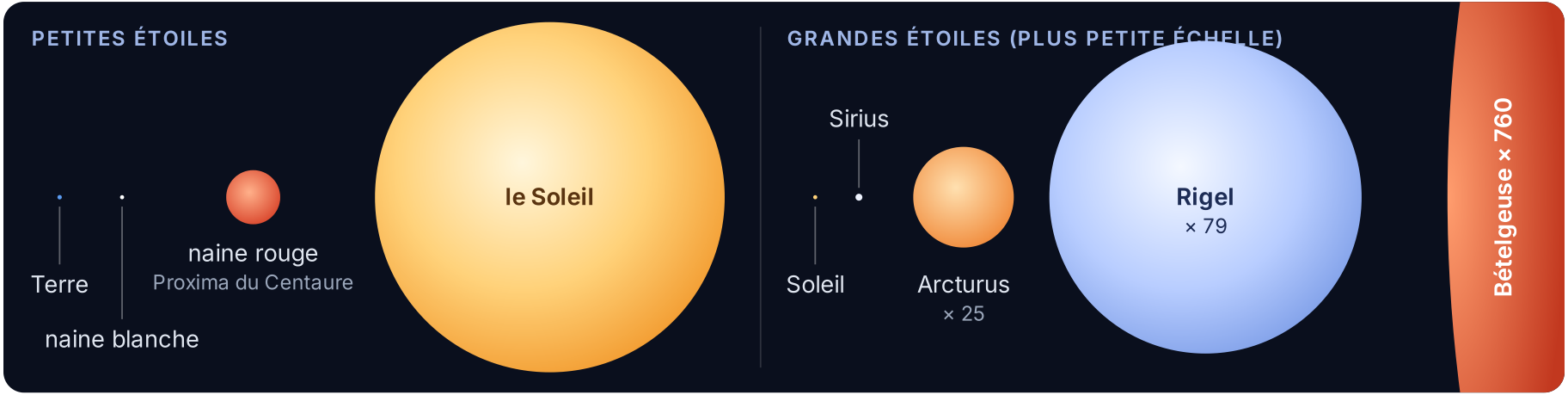
Le Soleil n’est pas une étoile géante : il est simplement très proche. Les autres étoiles sont si loin qu’elles ne sont que des points, même dans les plus grands télescopes. Et elles brillent aussi le jour, mais le ciel bleu éclairé par le Soleil les cache.



Le Soleil vu par la sonde SDO de la NASA le 5 juin 2012, dans une lumière ultraviolette invisible à nos yeux (les couleurs sont ajoutées). Le petit disque noir est Vénus, presque aussi grosse que la Terre, qui passait devant lui. NASA/SDO

Des naines et des géantes

Les étoiles ne sont pas toutes pareilles. Les astronomes les classent selon leur **masse** (la quantité de matière), leur **taille**, leur **température** et leur **luminosité** (la quantité de lumière qu'elles émettent).



Tailles à l'échelle dans chaque moitié. « × 25 » veut dire 25 fois plus large que le Soleil.

Les **naines rouges**, petites, peu chaudes et pâles, sont les plus nombreuses, mais invisibles à l'œil nu.

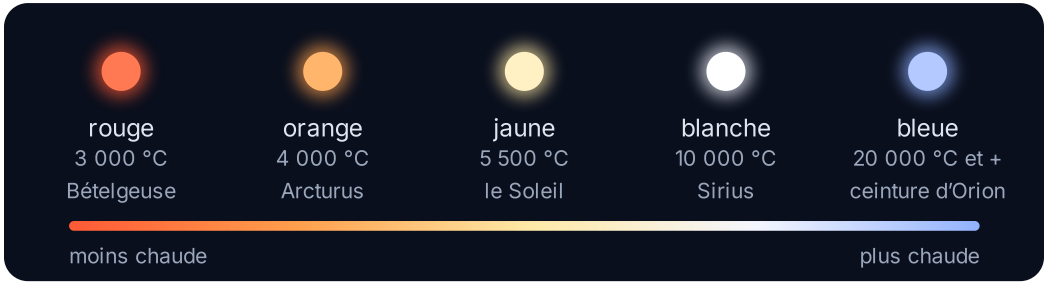
Le Soleil est une naine jaune : une étoile moyenne, plus grosse que la plupart.

Les **supergéantes** comme Bételgeuse, à la place du Soleil, engloutiraient Mercure, Vénus, la Terre et Mars.

Les **naines blanches**, grosses comme la Terre, sont ce qui reste d'une étoile comme le Soleil à sa mort.

La couleur d’une étoile

Regarde bien : certaines étoiles sont rougeâtres, d’autres jaunes, blanches ou bleutées. La couleur d’une étoile révèle sa **température**.

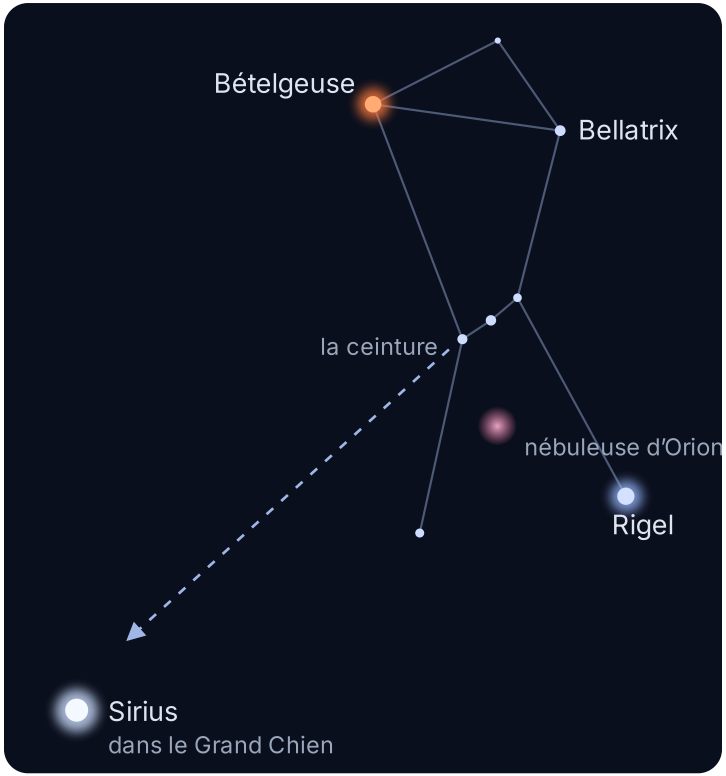


COMME LE MÉTAL CHAUFFÉ

Un morceau de fer dans le feu devient rouge, puis orange, puis jaune, puis blanc à mesure qu’il chauffe. Les étoiles suivent la même règle, jusqu’au bleu : contrairement aux robinets, le bleu est la couleur la plus chaude!

? **Dans Orion, quelle étoile est la plus chaude : Bételgeuse ou Rigel?**

Rigel, d’un blanc bleuté : environ 12 000 °C en surface. Bételgeuse, rouge orangé, n’a qu’environ 3 300 °C.



Orion, haut dans le ciel du sud les soirs d’hiver. Suis sa ceinture vers le bas et la gauche : tu arrives à Sirius, l’étoile la plus brillante de la nuit.

L’année-lumière

Les étoiles sont si loin qu’on mesure leur distance en **années-lumière** : la distance que parcourt la lumière en un an, à 300 000 km par seconde. Regarder une étoile, c’est donc voir dans le passé : la lumière de Sirius, l’étoile la plus brillante de la nuit, l’a quittée il y a 8,6 ans.

1 année-lumière ≈ 9 460 milliards de km

Astre	Distance	La lumière met
la Lune	384 400 km	1,3 seconde
le Soleil	150 millions de km	8 min 20 s
Proxima du Centaure	4,2 années-lumière	4,2 ans
Sirius	8,6 années-lumière	8,6 ans
la nébuleuse d’Orion	1 350 années-lumière	1 350 ans
la galaxie d’Andromède	2,5 millions d’années-lumière	2,5 millions d’années

1 — Jusqu’à Proxima du Centaure, l’étoile la plus proche après le Soleil, en auto à 100 km/h?

4,2 années-lumière, c’est environ 40 000 milliards de km. À 100 km/h, il faut 400 milliards d’heures : environ 46 millions d’années.

2 — Et à la vitesse de la sonde Voyager 1?

À 61 000 km/h, environ 75 000 ans. Voyager 1, lancée en 1977 et aujourd’hui la sonde la plus lointaine, est à environ un jour-lumière de nous : ses messages mettent près d’une journée à atteindre la Terre.

3 — Voit-on Proxima du Centaure au Québec?

Non. C’est une naine rouge, trop pâle pour l’œil nu, et elle est si loin au sud dans le ciel qu’elle ne se lève jamais au-dessus de l’horizon du Québec.

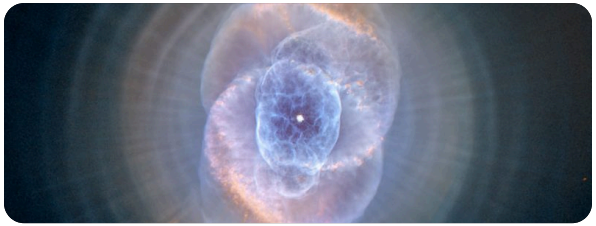
La vie d’une étoile

Les étoiles naissent, brillent des millions ou des milliards d’années, puis meurent. Les plus lourdes vivent le moins longtemps.



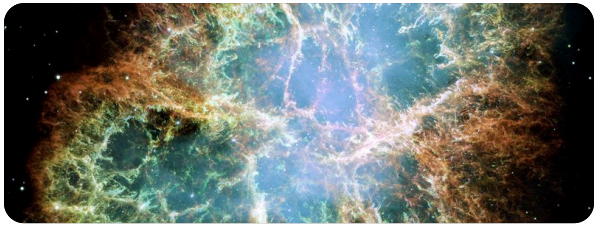
Les « piliers de la Création », dans la nébuleuse de l’Aigle, à 6 500 années-lumière. NASA, ESA, CSA, STScI (Webb)

Naissance. Une étoile naît dans un nuage de gaz et de poussière, une **nébuleuse**. La gravité rassemble la matière en boule, qui chauffe jusqu’à ce que la fusion s’allume.



La nébuleuse de l’Œil de Chat, à 3 300 années-lumière : une étoile mourante rejette son gaz.
ESA, NASA, HEIC, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

La fin d’une étoile comme le Soleil. Dans environ 5 milliards d’années, le Soleil gonflera en **géante rouge**, puis rejettera ses couches extérieures. Il restera son cœur : une **naine blanche**, qui refroidira lentement.



La nébuleuse du Crabe, laissée par une supernova que des astronomes chinois ont vue en 1054, même le jour.
NASA, ESA, J. Hester, A. Loll (ASU)

La fin d’une étoile très lourde. Plus de 8 fois plus lourde que le Soleil, elle explose en **supernova**. Il reste une **étoile à neutrons**, pas plus large qu’une ville, ou un **trou noir**.

DE LA POUSSIÈRE D’ÉTOILES

Le carbone de tes cellules, le calcium de tes os et le fer de ton sang ont été fabriqués dans des étoiles mortes bien avant la naissance du Soleil. Nous sommes faits de poussière d’étoiles.

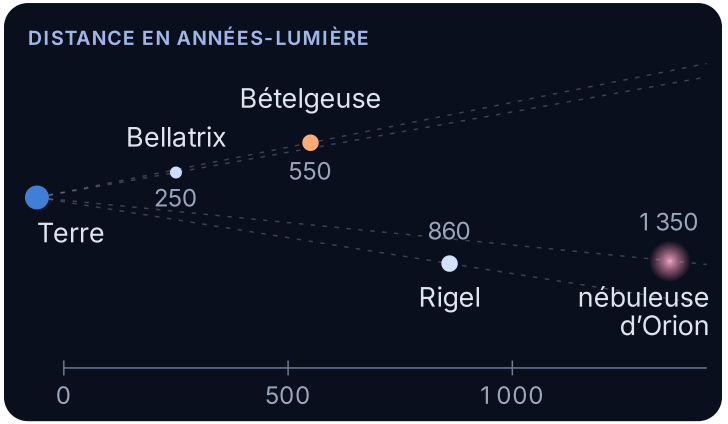
Des dessins dans le ciel

Pour se repérer dans le ciel et en raconter les histoires, les peuples de toutes les époques ont regroupé les étoiles en figures : les **constellations**.

- En 1922, les astronomes du monde entier se sont entendus sur **88 constellations officielles**. Depuis 1930, chaque coin du ciel appartient à l'une d'elles, comme chaque ville appartient à un pays.
- Beaucoup portent un nom d'animal (le Lion, le Cygne, la Grande Ourse) ou viennent des légendes de la Grèce antique (Orion le chasseur, Persée, Andromède).
- Chaque peuple y a vu ses propres dessins. Les sept étoiles brillantes de la Grande Ourse forment une casserole pour les Québécois et une charrue pour les Anglais. Pour les Mi'kmaq, les quatre étoiles du bol sont un ours poursuivi par des chasseurs-oiseaux.

LE CHERCHE-ÉTOILES

Un **cherche-étoiles** est une carte du ciel avec un disque qui tourne : on règle la date et l'heure, on le tient au-dessus de sa tête, le nord vers le nord, et il montre les constellations de la soirée. Sur un écran, Stellarium Web fait la même chose.



Vues de la Terre, les étoiles d'Orion semblent côte à côte. Vues de côté, elles sont à des distances très différentes, en années-lumière : Rigel est plus de trois fois plus loin que Bellatrix.

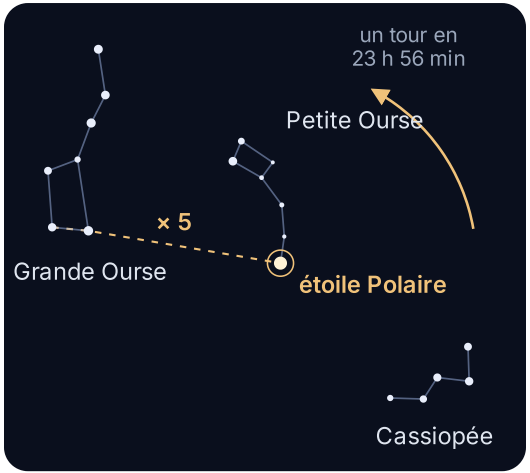
? **Nomme quatre constellations qui portent un nom d'animal.**

Par exemple : la Grande Ourse, la Petite Ourse, le Lion, le Taureau, le Cygne, l'Aigle, le Dragon, le Scorpion, la Baleine, le Grand Chien, le Petit Chien, le Lièvre, le Bélier, le Dauphin, la Girafe…

L’étoile Polaire

Toute la nuit, les étoiles tournent lentement autour d’un point du ciel presque immobile : l’**étoile Polaire**. Elle indique le nord.

- C’est la Terre qui tourne : son axe pointe presque exactement vers l’étoile Polaire, et tout le ciel semble tourner autour d’elle.
- Pour la trouver, prolonge environ cinq fois la ligne des deux étoiles au bout du bol de la casserole, dans la Grande Ourse.
- Elle est au bout de la queue de la Petite Ourse. Elle n’est pas très brillante : une cinquantaine d’étoiles le sont plus qu’elle.



Regard vers le nord. Toute la figure tourne autour de l’étoile Polaire ; au Québec, la Grande Ourse ne se couche jamais.



Une longue pose à Kitt Peak, en Arizona : chaque étoile trace un arc autour de l’étoile Polaire, au centre. KPNO/NOIRLab/NSF/AURA

1 **À quelle hauteur au-dessus de l’horizon est l’étoile Polaire?**

Sa hauteur est égale à ta latitude : environ 45° à Montréal, à mi-chemin entre l’horizon et le zénith. Au pôle Nord, elle est juste au-dessus de la tête ; à l’équateur, sur l’horizon.

2 **L’étoile Polaire sera-t-elle toujours l’étoile du Nord?**

Non. Comme une toupie, l’axe de la Terre décrit lentement un cercle, en 26 000 ans. Dans environ 12 000 ans, il pointera près de Véga.

Ce n’est pas toujours une étoile

Dans le ciel de nuit, tous les points lumineux ne sont pas des étoiles. Voici comment reconnaître les autres.

- **Les planètes :** Vénus, Jupiter, Mars et Saturne ressemblent à des étoiles brillantes qui scintillent moins. De semaine en semaine, elles se déplacent lentement parmi les constellations ; *planète* vient d’un mot grec qui veut dire « errant ». Vénus, l’« étoile du berger », est le point le plus brillant du ciel après la Lune.
- **Les satellites :** un point qui traverse le ciel en quelques minutes, sans clignoter. Le plus brillant est la Station spatiale internationale, à 400 km d’altitude.
- **Les avions :** des lumières qui clignotent, souvent rouges et vertes.
- **Les étoiles filantes :** ce ne sont pas du tout des étoiles, mais des grains de poussière venus de l’espace, souvent plus petits qu’un grain de sable. Ils entrent dans l’air à des dizaines de kilomètres par seconde, vers 100 km d’altitude, et se consument dans un trait de lumière.



Une Perséide au-dessus de Spruce Knob, en Virginie-Occidentale, le 11 août 2021 (pose de 30 secondes). La petite tache floue, à gauche, est la galaxie d’Andromède. NASA/Bill Ingalls

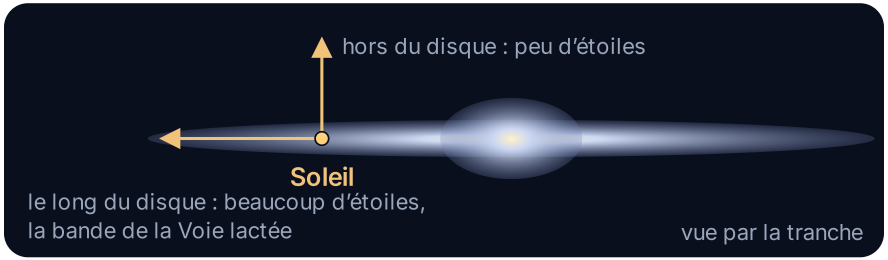
LES PLUIES D’ÉTOILES FILANTES

Quand la Terre traverse la poussière laissée par une comète ou un astéroïde, des dizaines d’étoiles filantes tombent chaque heure. Les **Perséides**, vers le 12 août, viennent de la comète Swift-Tuttle ; les **Géminides**, vers le 14 décembre, de l’astéroïde Phaéton.

La Voie lactée, notre galaxie

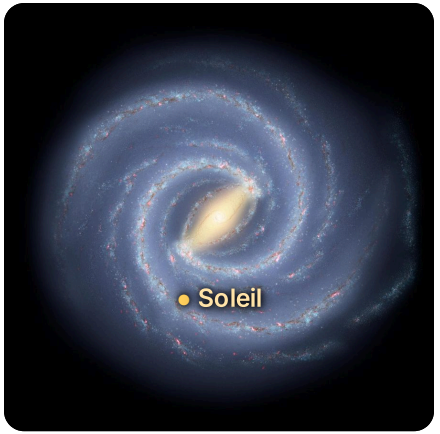
Par une nuit sans lune, loin des lumières des villes, une bande pâle traverse le ciel : la **Voie lactée**. C’est notre galaxie, vue de l’intérieur.

- Une **galaxie** est un immense ensemble d’étoiles, de gaz et de poussière, tenu ensemble par la gravité. La nôtre compte de 100 à 400 milliards d’étoiles.
- C’est un disque plat d’environ 100 000 années-lumière de diamètre, avec une barre d’étoiles au milieu, des bras en spirale et un trou noir géant au centre.
- Le Soleil est dans un petit bras, à 26 000 années-lumière du centre. Il en fait le tour en 230 millions d’années, à plus de 800 000 km/h.





La Voie lactée au-dessus de Spruce Knob, en Virginie-Occidentale. NASA/Bill Ingalls



Notre galaxie vue de dessus, dessinée d’après les mesures du télescope Spitzer de la NASA. NASA/JPL-Caltech/R. Hurt

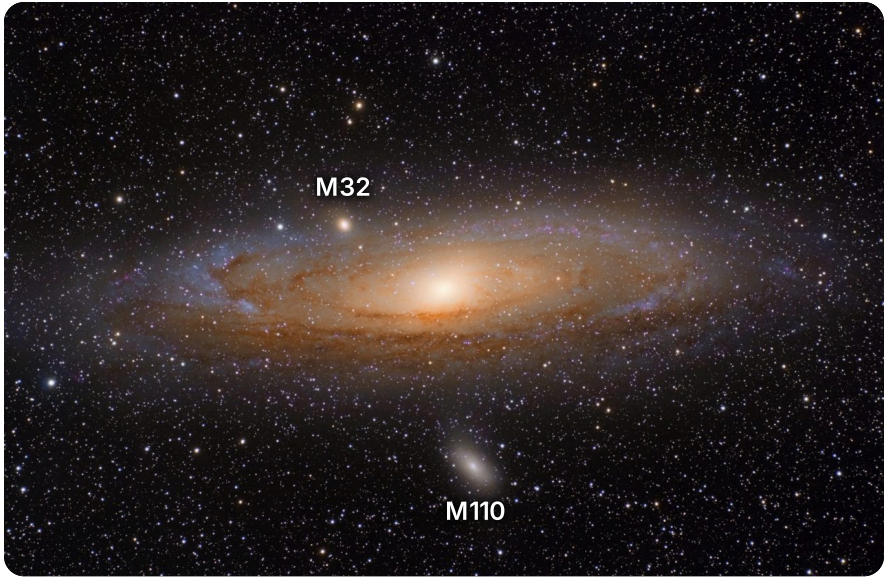
OÙ EST LE CENTRE?

En 1785, William Herschel et sa sœur Caroline comptent les étoiles dans toutes les directions et dessinent la première carte de notre galaxie : un disque aplati, avec le Soleil près du milieu. La poussière leur cachait les étoiles lointaines. En 1918, Harlow Shapley montre que le Soleil est loin du centre.

Andromède, la grande voisine

La grande voisine de la Voie lactée, la **galaxie d'Andromède**, est à 2,5 millions d'années-lumière : la lumière que tu en vois est partie quand nos lointains ancêtres taillaient leurs premiers outils de pierre.

- C'est une spirale, comme la nôtre, mais plus grande : environ mille milliards d'étoiles.
- Les soirs d'automne, loin des villes, on la voit à l'œil nu : une petite tache floue entre le grand carré de Pégase et le W de Cassiopée. Rien de plus lointain ne se voit aussi facilement sans instrument.
- En 1923, Edwin Hubble mesure sa distance : bien trop grande pour qu'elle fasse partie de la Voie lactée. C'est une autre galaxie, et l'Univers devient d'un coup beaucoup plus grand.
- Elle s'approche de nous à environ 110 km/s. Les deux galaxies se fondront peut-être un jour en une seule, mais ce n'est pas certain : environ une chance sur deux d'ici 10 milliards d'années.



La galaxie d'Andromède, avec deux petites galaxies qui tournent autour d'elle, M32 et M110. Brody Wesner (CC0)

Les formes des galaxies

En 1926, Edwin Hubble classe les galaxies selon leur forme. Les astronomes utilisent encore ses quatre grandes familles.



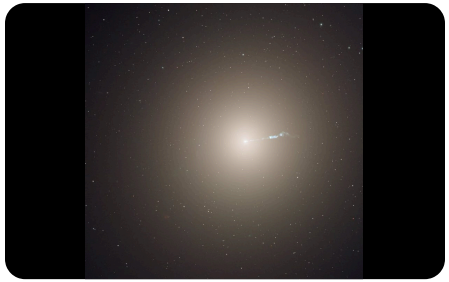
Spirale. Un disque avec des bras où naissent des étoiles jeunes et bleutées. M51, la galaxie du Tourbillon, près de la queue de la Grande Ourse, attire une petite galaxie.

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



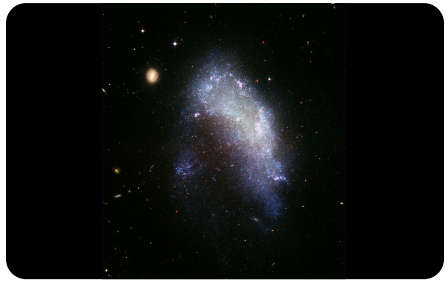
Spirale barrée. Les bras partent des deux bouts d'une barre d'étoiles. NGC 1300 en est une ; la Voie lactée aussi.

NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



Elliptique. Une boule ou un œuf de vieilles étoiles jaunâtres, presque sans gaz. M87 en compte des milliers de milliards ; son trou noir central est le premier qu'on ait photographié, en 2019. Le trait bleu est un jet de matière qu'il projette.

NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)



Irrégulière. Pas de forme précise, beaucoup d'étoiles jeunes. NGC 1427A tombe vers un amas de galaxies, qui l'étire et la déchire.

NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

QUAND LES GALAXIES SE RENCONTRENT

Les étoiles de deux galaxies qui se rencontrent ne se heurtent presque jamais : elles sont trop loin les unes des autres. Mais la gravité déforme les deux galaxies, qui finissent souvent par n'en faire qu'une.

Des centaines de milliards de galaxies

En 2022, le télescope spatial James Webb a photographié un coin de ciel pas plus grand qu'un grain de sable tenu à bout de bras. On y voit des milliers de galaxies.

- Chaque petite tache est une galaxie, avec ses milliards d'étoiles. Les points avec des branches sont des étoiles de notre galaxie, en avant-plan.
- Les arcs étirés sont des galaxies lointaines dont la lumière est courbée par la gravité de l'amas de galaxies du milieu, comme par une loupe.
- La lumière des plus lointaines a voyagé plus de 13 milliards d'années : on les voit telles qu'elles étaient peu après la naissance de l'Univers, il y a 13,8 milliards d'années.
- Dans tout l'Univers observable, il y a des centaines de milliards de galaxies.

TON ADRESSE DANS L'UNIVERS

Ta maison, ta ville, ton pays, la Terre, le système solaire, la Voie lactée, le Groupe local (la Voie lactée, Andromède et des dizaines de petites galaxies), l'Univers.



Le premier champ profond de Webb, autour de l'amas de galaxies SMACS 0723 : 12,5 heures de pose. L'Agence spatiale canadienne a fourni deux instruments de Webb. NASA, ESA, CSA, STScI

RÉVISION

Teste tes connaissances

1 Le Soleil est-il une étoile? Alors, d'où vient qu'il paraisse si différent des points du ciel de nuit?

Oui. Il paraît gros et éblouissant parce qu'il est très proche : sa lumière met 8 minutes à nous parvenir, contre 4,2 ans pour l'étoile suivante.

2 Une étoile bleutée et une étoile rouge : laquelle est la plus chaude?

L'étoile bleutée. Les rouges sont les moins chaudes (environ 3 000 °C), les bleues les plus chaudes (20 000 °C et plus).

3 L'année-lumière est-elle une durée ou une distance?

Une distance : celle que la lumière parcourt en un an, environ 9 460 milliards de km.

4 Comment trouver l'étoile Polaire?

Prolonge environ cinq fois la ligne des deux étoiles au bout du bol de la casserole de la Grande Ourse. Elle est au bout de la queue de la Petite Ourse.

5 Une étoile filante est-elle une étoile?

Non. C'est un grain de poussière venu de l'espace qui se consume dans l'air, vers 100 km d'altitude.

6 Nomme les quatre familles de galaxies. À laquelle appartient la Voie lactée?

Spirale, spirale barrée, elliptique et irrégulière. La Voie lactée est une spirale barrée.

EN RÉSUMÉ

Les grandes idées

1. Une **étoile** est une boule de gaz très chaud qui produit sa lumière par fusion nucléaire. Les étoiles diffèrent par leur taille, leur masse, leur couleur et leur température ; le Soleil est une étoile moyenne, très proche de nous.

2. Les **constellations** sont des dessins imaginaires : 88 officiels. La Terre tourne sur un axe qui pointe vers l'**étoile Polaire**, et le ciel semble tourner autour d'elle.

3. Une **galaxie** rassemble des milliards d'étoiles. La nôtre, la Voie lactée, est une spirale barrée ; Andromède, sa grande voisine, est à 2,5 millions d'années-lumière. L'Univers compte des centaines de milliards de galaxies.

Pour aller plus loin

▶ Le ciel de ce soir dans Stellarium Web

Le système solaire en mouvement

La leçon sur la Lune

La leçon sur la gravité

S'entraîner dans la salle d'entraînement

Photos : NASA, ESA, ASC, STScI (Hubble et Webb), NASA/SDO, NASA/JPL-Caltech, NASA/Bill Ingalls, KPNO/NOIRLab/NSF/AURA (CC BY 4.0), Brody Wesner (CC0). La liste est dans CREDITS.txt.