

Les Grandes Idées en Astronomie

Une définition proposée pour l'Enseignement Fondamental en Astronomie



Les Grandes Idées en Astronomie

Une définition proposée pour l'Enseignement Fondamental en Astronomie

Auteurs:

João Retrê (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal), Pedro Russo (Leiden University, Pays Bas), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, USA), Eduardo Penteado (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brésil), Saeed Salimpour (Deakin University, Australie), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Australie), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Allemagne), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians University of Munich & Haus der Astronomie, Allemagne), Lars Lindberg Christensen (European Southern Observatory), Erik Arends (Leiden University, Pays Bas), Stephen Pompea (NOAO, USA) et Wouter Schrier (Leiden University, Pays-Bas)

Conception: Aneta Margraf-Druc (Science Now/Université de Leyde)

Mise en page: Aneta Margraf-Druc (Science Now/Université de Leyde) & Carmen Müllerthann (Haus der Astronomie/Office d'astronomie pour l'éducation)

Traducteurs

Traducteur: Dr Rulx Narcisse

Relecteur: M. Paya Charley, astronome amateur & professeur d'anglais; Messieurs Schneider Munder et John Masken Larose, astronomes amateurs et étudiants en dernière année de géologie.

ISBN: 978-94-91760-25-9

License: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Remerciements:

Ismael Tereno (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Pedro Figueira (European Southern Observatory), Sérgio Pereira (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Monica Bobra (Stanford University), Piero Bienvenuti (Università di Padova) et Roy Bishop (Acadia University) pour leurs commentaires sur cette version des objectifs. João Retrê reconnaît le soutien financier de la Portuguese Science and Technology Foundation grâce à des subventions de recherche IA2017-09-BGCT et UID/FIS/04434/2013.

Pedro Russo reconnaît le soutien du projet NAOJ Sokendai „Astronomy Literacy“ coordonné par le Prof. Dr. Hidehiko Agata. NOAO est géré par l'Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc en vertu d'un accord de coopération avec la National Science Foundation. Nous aimerions remercier la communauté pour leur feedback sur ce document durant le processus de révision.

Astronomy Literacy Goals est un projet de l'Observatoire de Leiden, de l'Université de Leiden (Pays-Bas) et de l'Institute of Astrophysics and Space Sciences (Portugal) dans le cadre de la Commission C1 de l'UAI: Working Group on Literacy and Curriculum Development.

IAU Commission C1 Astronomy Education and Development, Président: Paulo Bretones

IAU C1 Working Group Astronomy Literacy and Curriculum Development, Président: Robert Hollow ✕

Les Grandes Idées en Astronomie est un projet du Bureau de l'Astronomie pour l'Éducation de l'UAI.



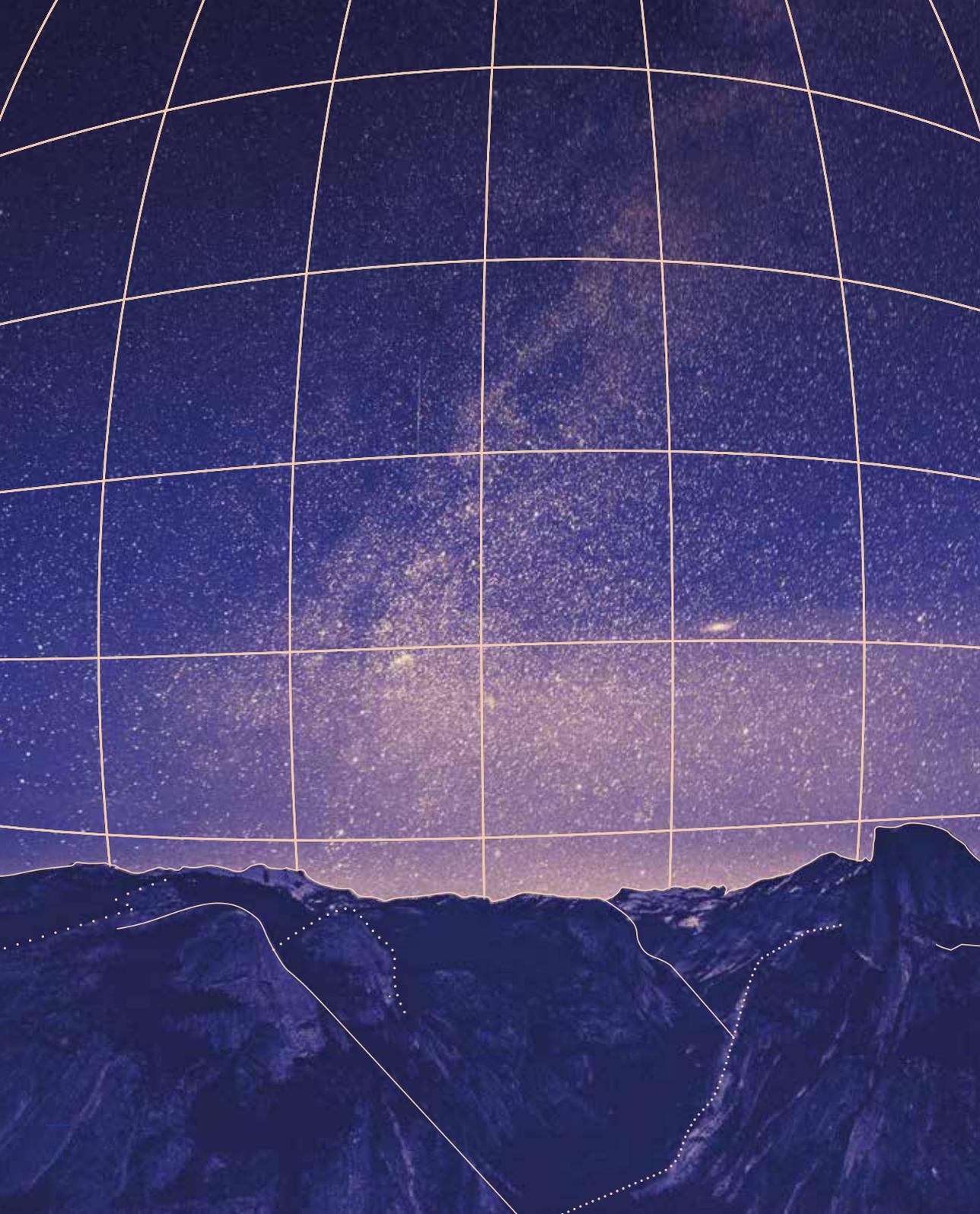


Table des matières

06	Les Grandes Idées
08	Introduction
10	Une brève Introduction à certaines des Grandes Idées de l'Astronomie
12	Aperçu des Grandes Idées
18	<i>L'astronomie est l'une des plus anciennes sciences de l'histoire humaine</i>
22	<i>Des phénomènes astronomiques peuvent être expérimentés dans notre vie quotidienne</i>
26	<i>Le ciel nocturne est riche et dynamique</i>
30	<i>L'astronomie est une science qui étudie les objets et phénomènes célestes dans l'Univers</i>
34	<i>L'astronomie profite et stimule le développement technologique</i>
38	<i>La cosmologie est la science de l'exploration de l'Univers dans son ensemble</i>
44	<i>Nous vivons tous sur une petite planète au sein du Système Solaire</i>
48	<i>Nous sommes tous constitués de poussière d'étoiles</i>
54	<i>Il y a des centaines de milliards de galaxies dans l'Univers</i>
60	<i>Nous ne sommes peut-être pas seuls dans l'univers</i>
64	<i>Nous devons préserver la Terre, notre seule maison dans l'Univers</i>

Les Grandes Idées

1

L'astronomie est l'une des plus anciennes sciences de l'histoire humaine

2

Des phénomènes astronomiques peuvent être expérimentés dans notre vie quotidienne

3

Le ciel nocturne est riche et dynamique

4

L'astronomie est une science qui étudie les objets et phénomènes célestes dans l'Univers

5

L'astronomie profite et stimule le développement technologique

6

La cosmologie est la science de l'exploration de l'Univers dans son ensemble

7

Nous vivons tous sur une petite planète au sein du Système Solaire

8

Nous sommes tous constitués de poussière d'étoiles

9

Il y a des centaines de milliards de galaxies dans l'Univers

10

Nous ne sommes peut-être pas seuls dans l'univers

11

Nous devons préserver la Terre, notre seule maison dans l'Univers

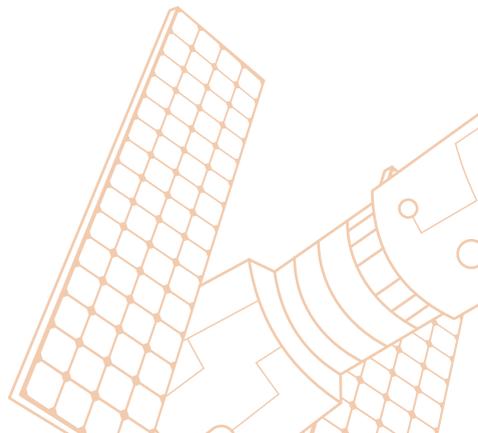
Introduction

Astronomie pour Tous

Telle est la devise du Bureau de l'Union Astronomique Internationale (UAI) pour la Sensibilisation à l'Astronomie. Si «Tous» est un terme très vaste pour définir la société et ses communautés, «Astronomie» en tant qu'ensemble de connaissances est également vaste. Ce projet, «Les Grandes Idées en Astronomie», explore la question: «Que devrait connaître un citoyen de la planète Terre a propos de l'astronomie?».

«Les Grandes Idées en Astronomie» présentent onze Grandes Idées et les développent en sous-idées et informations supplémentaires. Ce document est conçu pour les éducateurs et les astronomes, c'est un document d'orientation pour décider quels sujets ils doivent aborder dans leur enseignement, les sessions de formation, les activités de sensibilisation ou le développement des ressources. Cependant, il doit s'agir d'un document dynamique et nous accueillons favorablement les commentaires et remarques de la communauté de l'astronomie, de la communauté de l'enseignement de l'astronomie et de la communauté de l'enseignement des sciences.

À la suite de plusieurs discussions, réunions, ateliers, présentations, télécommunications et interactions textuelles dans ce document, nous proposons un ensemble de «Les Grandes Idées en Astronomie», Une définition proposée pour l'Enseignement Fondamental en Astronomie. Ce document établit les «Grandes Idées» et soutient le concept que tous les citoyens de notre planète devraient connaître l'astronomie.



Prochaine étapes

Notre prochaine étape est la poursuite du développement de ce document, en entreprenant un projet de recherche pour valider systématiquement ce document comme une représentation précise de ce que les experts pensent de l'enseignement fondamental en astronomie. Ensuite, nous travaillerons sur:

- L'élaboration de programmes d'études alignés sur ces Grandes Idées
- L'élaboration d'outils d'évaluation pour les Grandes Idées
- Des guides de matériel pédagogique
- Le matériel de perfectionnement professionnel des enseignants
- Les Policy-reports

Le Plan Stratégique 2020-2030 de l'UAI place l'enseignement de l'astronomie au cœur de l'effort mondial d'astronomie. L'UAI s'est fixée pour objectif de favoriser l'utilisation de l'astronomie pour l'enseignement et l'éducation au niveau scolaire. Nous espérons que ce document contribuera à cet objectif et fournira la première analyse et le cadre des objectifs d'enseignement fondamental en astronomie pour l'éducation.

Préface

Dr Rulx Narcisse

Traduire « Les Grandes Idées en Astronomie » fut pour moi comme une remise en communauté en ces temps où nous paraissions isolés dans notre coin d'île dans la caraïbe. La communauté est importante pour une croissance adéquate et équilibrée; justement, ce livre vise la communauté de l'éducation à travers une structure progressive et distillée des informations essentielles.

Ce sera un outil sans précédent pour des professeur en quette de guide. Mon expérience en sensibilisation et en éducation en astronomie me l'a fort souvent rappeler: il ne suffit pas de connaître, il faut savoir transmettre. « Les Grandes Idées en Astronomie » joue ce rôle, du moins pour le professeur.

Le public général y trouvera son bonheur aussi: les concepts de base présentés en 11 paliers, depuis l'histoire de cette science jusqu'au réveil de conscience sur l'importance de notre chère planète Terre, notre seule maison dans l'Univers.

Déjà la première édition a laissé de profondes positives marques dans le monde éducatif; avec cette deuxième édition, que j'ai non seulement traduit mais aussi fait relire par mes meilleurs étudiants & un astronome amateur pour assurer sa fluidité en terme de compréhension, les auteurs sont assurés d'un impact encore plus grand le milieu.

Une brève Introduction à certaines des Grandes Idées de l'Astronomie¹

par Pedro Russo

L'astronomie est la science qui étudie l'origine et l'évolution de l'Univers et tout ce qu'il contient. Cette définition semble simple, mais l'Univers est un vaste lieu, rempli d'objets célestes fascinants de toutes tailles, formes et âges, et de phénomènes étonnants.

1. à l'origine dans le journal portugais-portugais Visão, 3 janvier 2012

En tant qu'élément de l'histoire culturelle et scientifique de l'humanité, l'astronomie a révolutionné à plusieurs reprises notre façon de penser, notre façon de voir notre monde et notre place dans le grand univers. Dans le passé, les progrès de l'astronomie ont été utilisés pour des applications pratiques telles que la mesure du temps ou la navigation dans les vastes océans. Aujourd'hui, les résultats du développement scientifique et technologique de l'astronomie et des domaines connexes sont devenus essentiels dans de nombreuses parties de notre vie quotidienne: ordinateurs, satellites de communication, systèmes de navigation, panneaux solaires, Internet sans fil et de nombreuses autres applications technologiques.

Comme toute science, l'astronomie fait des progrès grâce à l'accumulation de connaissances. Parfois, des progrès constants sont accélérés par des percées soudaines dans la technologie et la pensée, telles que l'idée révolutionnaire de la vue héliocentrique du système solaire et du modèle du Big Bang. Le modèle du Big Bang raconte l'histoire de l'évolution de l'Univers. Il y a environ 14 milliards d'années, «l'Univers» qui venait de naître était infiniment petit et chaud. Une expansion soudaine et continue et un refroidissement ultérieur ont conduit à la formation des blocs de construction fondamentaux des particules atomiques et sub-atomiques, qui ont permis la formation de galaxies, d'étoiles, de planètes et éventuellement de la vie. Les astronomes pensent, sur la base des données jusqu'à présent, que l'expansion de l'Univers est principalement provoquée par une forme mystérieuse d'énergie appelée Énergie Noire.

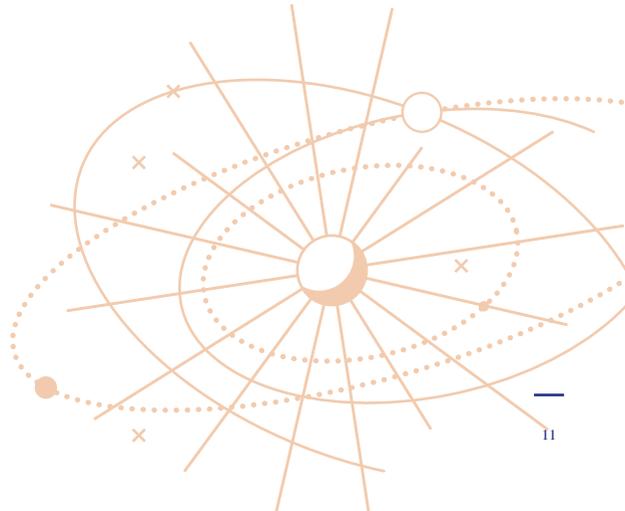
Si nous regardons le ciel par une nuit sombre, nous voyons une bande de lumière traverser le ciel d'un horizon à l'autre. Ce groupe et toutes les étoiles que nous voyons dans le ciel font partie de la galaxie dans laquelle nous vivons, la Galaxie de la Voie Lactée. Les galaxies se regroupent souvent en filaments et en amas: des groupes d'îles s'entourant de vastes mers vides de l'Univers.

Notre galaxie contient des centaines de milliards d'étoiles, dont le Soleil n'est qu'une, aussi anonyme qu'un grain de sable sur une plage. Ces étoiles orbitent harmonieusement, suivant les lois naturelles de la gravité, autour du centre de la galaxie où se trouve un trou noir monstrueux. Cet «océan» qu'est l'Univers contient de nombreuses autres îles; la nôtre n'est qu'une parmi des centaines de milliards de galaxies qui la peuplent.

Bien qu'il s'agisse d'un type d'étoile relativement moyen, le Soleil jouissait, jusqu'à récemment, d'un statut spécial pour nous, les humains: c'était la seule étoile que nous connaissions à être entourée de planètes. Aujourd'hui, nous connaissons des milliers d'étoiles à planètes, appelées exoplanètes. On estime que plus de 20% des étoiles qui ressemblent à notre Soleil sont orbitées par des planètes - certaines similaires à la Terre. Beaucoup de ces planètes sont petites et orbitent à une distance confortable de son étoile, ce qui permet l'existence d'eau liquide et, par conséquent, peut-être la vie.

Mais de quoi l'univers est-il fait? Les choses que nous pouvons voir - les planètes, les étoiles et les galaxies - sont toutes faites de matière telle que protons, électrons, neutrons et quarks (tous consistant en ce que les scientifiques appellent « matière baryonique »), mais il y a autre chose, quelque chose de vaste, d'étrange et de mystérieux, et personne ne sait ce que c'est. On s'attendrait à ce que les étoiles tournent autour du centre des galaxies, de la même manière que les planètes tournent autour du Soleil dans notre Système Solaire. Les planètes les plus proches du Soleil se déplacent plus rapidement que les planètes les plus externes. Mais cela ne se produit pas: les étoiles des galaxies orbitent plus ou moins toutes avec la même vitesse autour du centre de la galaxie. Il doit y avoir quelque chose que nous ne pouvons pas voir et qui maintient les étoiles en orbite de cette façon. Les astronomes appellent cela «matière noire». On estime que ce que nous pouvons voir n'est qu'une petite partie de tout ce qui existe dans l'Univers. Tout le reste n'est pas bien compris et n'a pas encore été directement observé!

L'astronomie ne concerne pas seulement les avancées scientifiques ou les applications technologiques: elle nous donne l'opportunité d'élargir nos horizons limités, de découvrir la beauté et la grandeur de l'Univers et notre place en lui. Cette vision, communément appelée «la perspective cosmique», est l'une des contributions les plus importantes de l'Astronomie à l'Humanité.



Aperçu des Grandes Idées



1

L'astronomie est l'une des plus anciennes sciences de l'histoire humaine

- 1.1 Comprendre le ciel et les mouvements du Soleil et des planètes a été l'une des premières tentatives pour comprendre le monde naturel
- 1.2 Les cultures antérieures ont imaginé des modèles reliant les étoiles dans le ciel nocturne
- 1.3 L'astronomie a inspiré et est représentée dans l'art et la culture de nombreuses civilisations
- 1.4 L'astronomie a fourni d'importance connaissance sur le contrôle du temps, essentielles pour l'agriculture ancienne
- 1.5 L'astronomie était importante pour les navigateurs dans le passé
- 1.6 L'astronomie, en utilisant la méthode scientifique, est différente de l'astrologie
- 1.7 Selon la plupart des cultures anciennes, la Terre était le centre de l'Univers
- 1.8 La révolution Copernicienne qui a duré un siècle a abouti à l'acceptation du Soleil remplaçant la Terre au centre du système solaire
- 1.9 Il y a plus de 400 ans, les astronomes ont fait les premières observations méthodiques en astronomie à l'aide d'un télescope
- 1.10 La planète Terre a une forme approximativement sphérique, et cela a été démontré pendant des siècles de nombreuses manières différentes

2

Des phénomènes astronomiques peuvent être expérimentés dans notre vie quotidienne



- 2.1 Nous avons le jour et la nuit à cause de la rotation de la Terre sur son axe
- 2.2 Nous avons des saisons en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre alors que la Terre se déplace autour du Soleil en un an
- 2.3 Nous voyons différentes phases de la Lune tout au long d'un cycle lunaire
- 2.4 Les éclipses se produisent en raison d'alignements spéciaux du Soleil, de la Terre, et de la Lune
- 2.5 Les marées sur Terre sont le résultat de la gravité du Soleil et de la Lune
- 2.6 La lumière du Soleil est essentielle pour la plupart des formes de vie sur Terre
- 2.7 Les particules du Soleil voyagent vers la Terre et provoquent les aurores
- 2.8 La technologie développée pour la recherche en astronomie fait partie de notre vie quotidienne.

3

Le ciel nocturne est riche et dynamique



- 3.1 Nous pouvons voir plusieurs milliers d'étoiles avec nos yeux au cours d'une nuit claire et sombre
- 3.2 Le ciel nocturne peut nous aider à nous orienter sur Terre et à naviguer
- 3.3 L'axe de rotation de la Terre vacille (précessions) sur des milliers d'années
- 3.4 Seuls quelques corps célestes sont suffisamment brillants pour être vus à l'œil nu lorsque le Soleil est au-dessus de l'horizon
- 3.5 Les objets célestes se lèvent à l'Est et se couchent à l'Ouest en raison de la rotation de la Terre
- 3.6 Les étoiles scintillent en raison de notre atmosphère
- 3.7 Des millions de météorides pénètrent quotidiennement dans l'atmosphère terrestre

4

L'astronomie est une science qui étudie les objets et phénomènes célestes dans l'Univers

- 4.1 La lumière (autrement connue sous le nom de rayonnement électromagnétique) est la principale source d'information pour la recherche astronomique
- 4.2 À grande échelle, la gravitation est l'interaction dominante dans l'Univers
- 4.3 Les ondes gravitationnelles et les particules subatomiques offrent de nouvelles façons d'étudier l'Univers
- 4.4 L'astronomie utilise des données obtenues à partir d'observations et de simulations pour modéliser des phénomènes astronomiques dans le cadre des théories actuelles
- 4.5 La recherche astronomique combine des connaissances de différents domaines, tels que la physique, les mathématiques, la chimie et la biologie
- 4.6 L'astronomie est divisée en un certain nombre de spécialités
- 4.7 Les échelles de temps et de distance en astronomie sont beaucoup plus grandes que celles que nous utilisons dans notre vie quotidienne
- 4.8 La spectroscopie est une technique importante qui nous permet de sonder l'Univers à distance

5

L'astronomie profite et stimule le développement technologique

- 5.1 Les télescopes et les détecteurs sont cruciaux pour l'étude de l'astronomie
- 5.2 Certains télescopes peuvent être reliés entre eux pour agir comme un seul grand télescope
- 5.3 Les observatoires astronomiques sont situés sur Terre et dans l'espace
- 5.4 Les observatoires astronomiques terrestres sont souvent situés dans des régions éloignées du monde entier
- 5.5 L'astronomie fait aujourd'hui partie de la «Big Science» et du «Big Data»
- 5.6 Des simulations complexes et d'énormes données en astronomie nécessitent le développement de supercalculateurs puissants
- 5.7 L'astronomie est une science mondiale, avec des équipes internationales, et où les données et les publications sont partagées librement
- 5.8 De nombreux vaisseaux spatiaux ont été lancés dans l'espace pour étudier le Système Solaire

6

La cosmologie est la science de l'exploration de l'Univers dans son ensemble

- 6.1 L'Univers a plus de 13 milliards d'années
- 6.2 L'Univers est homogène et isotrope à grande échelle
- 6.3 Nous observons toujours le passé
- 6.4 Nous ne pouvons observer directement qu'une fraction de l'Univers total
- 6.5 L'univers est principalement composé d'Énergie Noire et de Matière Noire
- 6.6 L'Univers s'agrandit à une vitesse accélérée
- 6.7 L'expansion de l'espace provoque le décalage vers le rouge de la lumière des galaxies éloignées
- 6.8 Les lois naturelles (par exemple la gravité) que nous étudions sur Terre semblent fonctionner de la même manière dans tout l'Univers
- 6.9 La structure à grande échelle de l'Univers est composée de filaments, de feuilles et de vides.
- 6.10 Le Fond Diffus Cosmologique nous permet d'explorer l'Univers primitif
- 6.11 L'évolution de l'Univers peut être expliquée par le modèle du Big Bang

7

Nous vivons tous sur une petite planète au sein du Système Solaire

- 7.1 Le Système Solaire a été formé il y a environ 4.6 milliards d'années
- 7.2 Le Système Solaire est composé du Soleil, de planètes, de planètes naines, de lunes, de comètes, d'astéroïdes et de météorites
- 7.3 Il y a huit planètes dans le Système Solaire
- 7.4 Il y a plusieurs planètes naines dans le Système Solaire
- 7.5 Les planètes sont divisées en planètes terrestres (rocheuses) et géantes gazeuses
- 7.6 Certaines planètes ont des douzaines de satellites naturels
- 7.7 La Terre est la troisième planète en orbite autour du Soleil et possède un satellite naturel, la Lune
- 7.8 Il y a des millions d'astéroïdes qui sont des vestiges de la formation précoce de notre Système Solaire
- 7.9 Une comète est un objet glacé qui acquiert une queue lorsqu'elle est chauffée par le Soleil
- 7.10 La limite du Système Solaire s'appelle l'Héliopause



Nous sommes tous constitués de poussière d'étoiles

- 8.1 Une étoile est un corps auto-lumineux générant son énergie par des réactions nucléaires internes
- 8.2 Des étoiles se forment à partir de nuages massifs de poussière et de gaz
- 8.3 L'étoile la plus proche de la Terre est le Soleil
- 8.4 Le Soleil est une étoile dynamique
- 8.5 La couleur d'une étoile nous indique sa température de surface
- 8.6 L'espace entre les étoiles peut être en grande partie vide ou il peut contenir des nuages de gaz, ce qui peut produire de nouvelles étoiles
- 8.7 Une étoile passe par un cycle de vie qui est largement déterminé par sa masse initiale
- 8.8 Les étoiles massives peuvent terminer leur cycle de vie en tant que trous noirs stellaires
- 8.9 Les nouvelles étoiles et leurs systèmes planétaires sont nés de la matière laissée par les étoiles précédentes dans cette région
- 8.10 Le corps humain est composé d'atomes qui peuvent être retracés aux étoiles précédentes



Il y a des centaines de milliards de galaxies dans l'Univers

- 9.1 Une galaxie est un grand système d'étoiles, de poussière et de gaz
- 9.2 Les galaxies paraissent contenir de grandes quantités de Matière Noire
- 9.3 La formation des galaxies est un processus évolutif
- 9.4 Il existe trois principaux types de galaxies: Spirales, Elliptiques et Irrégulières
- 9.5 Nous vivons dans une galaxie spirale appelée la Voie lactée
- 9.6 Les bras en spirale des galaxies sont créés par des amoncellements de gaz et de poussière
- 9.7 La plupart des galaxies ont un trou noir supermassif en leur centre
- 9.8 Les galaxies peuvent être extrêmement éloignées les unes des autres
- 9.9 Les galaxies forment des amas
- 9.10 Les galaxies interagissent les unes avec les autres par gravité

10

Nous ne sommes peut-être pas seuls dans l'univers

- 10.1 Des molécules organiques ont été détectées en dehors de la Terre
- 10.2 On a découvert que les organismes vivants survivent dans des environnements extrêmes sur Terre
- 10.3 Des traces potentielles d'eau liquide ouvrent la possibilité d'une vie primitive sur Mars
- 10.4 Certains satellites naturels du Système Solaire semblent avoir les conditions pour l'existence de vie
- 10.5 Il existe de nombreuses planètes appelées exoplanètes, qui gravitent autour d'étoiles autres que le Soleil
- 10.6 Les exoplanètes peuvent être très diverses et se trouvent souvent dans des systèmes
- 10.7 Nous sommes maintenant proches de la détection d'une planète semblable à la Terre
- 10.8 Les scientifiques recherchent l'intelligence extraterrestre

11

Nous devons préserver la Terre, notre seule maison dans l'Univers

- 11.1 La pollution lumineuse affecte les humains, de nombreux autres animaux et les plantes
- 11.2 Il y a beaucoup de débris d'origine humaine orbitant la Terre
- 11.3 Nous surveillons les objets spatiaux potentiellement dangereux
- 11.4 Les humains ont un impact significatif sur l'environnement terrestre
- 11.5 Le climat et l'atmosphère sont fortement affectés par l'activité humaine
- 11.6 Une perspective globale est nécessaire pour préserver notre planète
- 11.7 L'astronomie nous offre une perspective cosmologique unique qui renforce notre unité en tant que citoyens de la Terre

1

L'astronomie est l'une des plus anciennes sciences de l'histoire humaine



Peintures rupestres préhistoriques de Lascaux montrant un amas de points au-dessus du dos des aurochs, qui ressemble à l'astérisme des Pléiades.

Crédits: Ministère de la Culture / Centre National de la Préhistoire / Norbert Aujoulat



1.1 Comprendre le ciel et les mouvements du Soleil et des planètes a été l'une des premières tentatives pour comprendre le monde naturel

Les premiers enregistrements d'observations astronomiques proviennent de dessins et d'artefacts créés par des personnes préhistoriques, documentant ce qu'ils ont vu dans le ciel. Dans les cultures anciennes, l'astronomie était liée aux croyances religieuses et mythologiques. Des phénomènes astronomiques ont été utilisés pour mesurer le temps et créer des calendriers, permettant à ces cultures de planifier des événements quotidiens et saisonniers.

1.2 Les cultures antérieures ont imaginé des modèles reliant les étoiles dans le ciel nocturne

Les motifs dans le ciel nocturne formés par la connexion des étoiles à l'aide de lignes imaginaires sont appelés constellations. Les premières constellations ont été définies par les premières cultures. Ces groupes d'étoiles reconnaissables étaient souvent liés à des histoires culturelles et à la mythologie de cultures telles que celles des Grecs, des Mayas, des Indiens d'Amérique et des Chinois. Dans l'Astronomie moderne, les constellations sont des régions bien définies du ciel, qui combinent à la fois les constellations anciennes et celles définies aux XVe, XVIe, XVIIe et XVIIIe siècles. Certaines cultures, telles que celles des Australiens autochtones et des peuples autochtones d'Amérique du Sud, ont également identifié des motifs utilisant les silhouettes sombres de la bande lumineuse de la Voie lactée.

1.3 L'astronomie a inspiré et est représentée dans l'art et la culture de nombreuses civilisations

Au fil des siècles, les artistes, les poètes, les écrivains et de nombreux penseurs créatifs ont utilisé le ciel nocturne soit comme source d'inspiration et/ou comme sujet de leur travail. Les thèmes astronomiques peuvent être vus à travers, par exemple, les peintures, les sculptures, la musique, les films et la littérature. Ces œuvres ont utilisé les motifs observables vus au cours de la nuit pour communiquer directement ou indirectement l'essence, la beauté et le mystère du ciel nocturne. L'universalité de l'art et son lien intime avec la culture peuvent donc être un moyen puissant de faire apprécier non seulement la beauté innée des objets et phénomènes célestes, mais aussi les connaissances que nous avons acquises à leur sujet. Cela augmente l'intérêt mondial pour l'astronomie et favorise une compréhension interculturelle globale par la notion d'être sous un même ciel.

1.4 L'astronomie a fourni d'importance connaissance sur le contrôle du temps, essentielles pour l'agriculture ancienne

Dans de nombreuses cultures anciennes, l'astronomie a été développée pour augmenter la précision des calendriers agricoles. Par exemple, les Égyptiens ont développé un calendrier basé sur leurs observations de l'étoile Sirius, l'utilisant pour déterminer les inondations annuelles du Nil.

1.5 L'astronomie était importante pour les navigateurs dans le passé

De nombreuses civilisations ont utilisé la position des étoiles et d'autres objets célestes pour naviguer sur terre, mers et océans. La navigation céleste est toujours enseignée de nos jours.

1.6

L'astronomie, en utilisant la méthode scientifique, est différente de l'astrologie

Jusqu'à l'époque pré-moderne, la distinction entre l'astronomie et l'astrologie était vague. Aujourd'hui, l'astronomie et l'astrologie se distinguent clairement l'une de l'autre. L'astronomie est une science et l'astrologie ne l'est pas. L'astrologie utilise les positions des objets célestes pour prédire les événements futurs. Cependant, des études approfondies de l'astrologie et de ses prédictions montrent que l'astrologie n'est pas exacte dans ses prédictions et est sans fondement scientifique.

1.7

Selon la plupart des cultures anciennes, la Terre était le centre de l'Univers

La plupart des premières cultures, à quelques exceptions près comme chez certains astronomes grecs actifs vers les 300 BCE [NdT :Le sigle « BCE » (Before the Common Era ou Before the Current Era) remplace « BC » (Before Christ)], croyaient que la Terre était le centre de l'Univers. Cette vision Géocentrique a duré plus de deux millénaires dans les cultures Européennes et Asiatiques jusqu'à ce qu'on a appelé la Révolution Copernicienne au XVI^e siècle. Les astronomes modernes ont découvert que l'Univers semble n'avoir aucun centre spécifique dans l'espace.

1.8

La révolution Copernicienne qui a duré un siècle a abouti à l'acceptation du Soleil remplaçant la Terre au centre du système solaire

Au 16^{ème} siècle, Copernic a proposé des arguments pour la théorie héliocentrique selon laquelle le Soleil était le centre de l'Univers et la Terre se déplaçant autour de lui. Bien que nous sachions maintenant que le Soleil n'est pas le centre de l'Univers, c'est le centre du système solaire, la théorie de l'Héliocentrisme de Copernic était révolutionnaire à cette époque, contribuant au développement de l'Astronomie moderne.

1.9

Il y a plus de 400 ans, les astronomes ont fait les premières observations méthodiques en astronomie à l'aide d'un télescope

Bien qu'il n'ait pas inventé le télescope, Galilée a été le premier à l'utiliser à des fins scientifiques. Ses améliorations du télescope réfracteurs l'ont conduit à des découvertes telles que les phases de Venus et les quatre plus grandes lunes de Jupiter, qui sont encore appelées lunes Galiléennes. Ses découvertes ont fourni des preuves convaincantes qui ont soutenu la vision Héliocentrique de l'Univers.

1.10

La planète Terre a une forme approximativement sphérique, et cela a été démontré pendant des siècles de nombreuses manières différentes

Certaines cultures anciennes dans de nombreuses régions du monde ont décrit la Terre comme un plan plat ou un disque dans le cadre de leur description de l'Univers. L'idée que la Terre est une sphère existe depuis quelques millénaires et a été une partie importante des visions du monde de nombreuses cultures, devenant le paradigme dominant il y a plus de 1000 ans. Il existe de nombreuses façons empiriques de vérifier que la Terre a une forme approximativement sphérique (elle est techniquement appelée sphéroïde oblate). Ératosthène, qui a mesuré la circonférence de la Terre en analysant la longueur des ombres projetées par des bâtons à différents endroits de l'Égypte ancienne (3^e siècle avant notre ère), a été l'une des premières méthodes mathématiques.

2

Des phénomènes astronomiques peuvent être expérimentés dans notre vie quotidienne

Le spectacle de lumière impressionnant dans le ciel nocturne - les Aurora Boreallis (aurores boréales), dans le désert de l'Alaska.

Crédits: Jean Beaufort (Photos du Domaine Public)



2.1 Nous avons le jour et la nuit à cause de la rotation de la Terre sur son axe

Le côté de la Terre faisant face au Soleil connaît la journée, tandis que le côté opposé connaît la nuit. Le temps que la Terre met pour tourner sur son axe de telle sorte que le Soleil retourne à la même position dans le ciel définit la durée du jour (solaire), qui est en moyenne de 24 heures.

2.2 Nous avons des saisons en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre alors que la Terre se déplace autour du Soleil en un an

L'axe de rotation de la Terre est incliné de $23,4^\circ$ par rapport à la ligne perpendiculaire à son plan orbital autour du Soleil. Pour cette raison, pendant une partie de l'orbite de la Terre autour du Soleil, l'hémisphère Nord ou Sud est incliné vers le Soleil tandis que l'autre en est éloigné de lui. Le premier se retrouve en été, car la lumière du soleil tombe plus directement à sa surface et les jours sont plus longs car le Soleil atteint une altitude plus élevée dans le ciel. D'un autre côté, l'hémisphère incliné à l'opposé du Soleil subit l'hiver parce que la lumière du Soleil tombe à un angle très incliné par rapport à la surface de la Terre, la faisant se propager sur une plus grande surface. Les jours raccourcissent car le Soleil est à une altitude plus basse dans le ciel.

2.3 Nous voyons différentes phases de la Lune tout au long d'un cycle lunaire

Lorsque la Lune tourne autour de la Terre, sa position relative par rapport au Soleil et à la Terre change. La région de la surface de la Lune qui est éclairée par la lumière du Soleil change, produisant les différentes phases que nous voyons depuis la Terre - Nouvelle Lune, Premier Quartier, Pleine Lune et Dernier Quartier prenant 29,53 jours de la Pleine Lune à la Pleine Lune. Alors que les phases de la Lune sont (plus ou moins) les mêmes pour tout observateur sur Terre, l'orientation de la Lune variera en fonction de l'hémisphère de l'observateur. Par exemple, certains observateurs pourraient voir le croissant de la Lune ouvert vers la gauche tandis que d'autres, observant la même phase mais à partir d'un endroit différent, pourraient voir le croissant ouvert vers la droite.

2.4 Les éclipses se produisent en raison d'alignements spéciaux du Soleil, de la Terre, et de la Lune

Parfois, lorsque la Lune passe exactement entre la Terre et le Soleil, la Lune bloque la lumière du Soleil et projette une ombre sur la Terre, créant une éclipse solaire. Parfois, la Terre peut être directement entre le Soleil et la Lune. Dans ce cas, la Terre projette une ombre sur la Lune, obscurcissant sa surface et créant une éclipse lunaire. Les éclipses peuvent être partielles, lorsqu'une fraction seulement de l'objet est éclipsée, ou totales, lorsque l'objet entier est éclipsé. Une éclipse lunaire ne se produit qu'à la Pleine Lune et, par conséquent, ne peut être observée que la nuit. À n'importe quel endroit sur Terre, vous êtes plus susceptible de voir une éclipse lunaire qu'une éclipse solaire. Les éclipses lunaires durent également plus longtemps que les éclipses solaires.

2.5

Les marées sur Terre sont le résultat de la gravité du Soleil et de la Lune

La Lune et, à une plus faible mesure, le Soleil provoquent des marées sur Terre. La Terre, en particulier ses océans, se gonflent un peu à la fois du côté le plus proche de la Lune et du Soleil, et de l'autre côté loin d'elle. Au fur et à mesure que la Terre tourne, ces renflements atteignent les rivages, entraînant une augmentation du niveau d'eau. Lorsque le Soleil, la Terre et la Lune sont en ligne droite (à la Pleine Lune et à la Nouvelle Lune), nous connaissons des «marées de Printemps» plus élevées. En revanche, lorsque le Soleil et la Lune sont à angle droit l'un par rapport à l'autre par rapport à la Terre (au Premier et au Dernier Quartier de la Lune), nous avons des «marées Mortes» plus faibles.

2.6

La lumière du Soleil est essentielle pour la plupart des formes de vie sur Terre

Le Soleil est la principale source d'énergie utilisée par les formes de vie sur Terre. Par exemple, les plantes réalisent une photosynthèse en utilisant la lumière du soleil, permettant leur croissance et, par conséquent, la production d'oxygène moléculaire. Cet oxygène est utilisé par les animaux pour respirer. On pense que la dévastation de l'environnement mondial lorsqu'un astéroïde est entré en collision avec la Terre a été la cause de l'extinction des dinosaures incapables de voler et de la majorité des espèces sur Terre. L'explosion qui en a résulté a transporté de grandes quantités de poussière dans l'atmosphère, bloquant la lumière du soleil et provoquant un long hiver. La lumière du soleil affecte également notre santé physique et mentale. Lorsqu'elle est exposée au soleil, notre peau produit de la vitamine D, qui joue un rôle important dans les processus biochimiques de notre corps. Certaines études montrent une relation entre la dépression humaine et le manque d'exposition au Soleil.

2.7

Les particules du Soleil voyagent vers la Terre et provoquent les aurores

Lors d'une éruption solaire, des particules chargées (principalement des électrons et des protons) du Soleil parcourent le voyage de 150 millions de kilomètres vers la Terre. Ils s'accrochent au champ magnétique terrestre, s'écoulent vers les pôles magnétiques et interagissent avec les particules de l'atmosphère. La plus rapide de ces particules peut voyager du Soleil à la Terre en une demi-heure environ; le plus lent prend environ cinq jours. Parfois, ces tempêtes de particules perturbent le champ magnétique terrestre, endommageant les satellites et les réseaux électriques. Souvent, les particules du Soleil interagissent avec l'oxygène et l'azote de l'atmosphère terrestre. Cette interaction donne naissance à des aurores – de merveilleux spectacles de lumière qui illuminent le ciel nocturne autour des pôles magnétiques des hémisphères nord (Aurora Borealis) et sud (Aurora Australis).

2.8

La technologie développée pour la recherche en astronomie fait partie de notre vie quotidienne

Les outils analytiques et les méthodes utilisés pour étudier les données astronomiques ont été appliqués à l'industrie, aux sciences médicales et dans la technologie que nous utilisons tous les jours. Les détecteurs initialement développés pour la recherche astronomique sont maintenant également utilisés dans les appareils photo numériques, comme ceux de nos téléphones mobiles. Les verres spéciaux développés pour des télescopes astronomiques sont utilisés dans la fabrication d'écrans LCD et de puces informatiques, ainsi que dans les fours en céramique. Le transfert de connaissances entre l'astronomie et la médecine a contribué au développement de l'imagerie par résonance (IRM) et la tomographie informatisée (scanners CAT), entre autres appareils.

3

Le ciel nocturne est riche et dynamique

Des traînées d'étoiles résultant de la rotation de la Terre sont visibles sur cette photo à longue exposition, prise sur le plateau de Chajnantor dans les Andes chiliennes.

Crédits: S. Otavola / ESO



×

×

×

×

3.1 Nous pouvons voir plusieurs milliers d'étoiles avec nos yeux au cours d'une nuit claire et sombre

Lorsque nous regardons le ciel nocturne, loin de la pollution lumineuse des villes et lors d'une Nouvelle Lune, ou quand la Lune n'est pas dans le ciel, nous pouvons voir environ 4000 étoiles à l'œil nu. Toutes les étoiles que nous voyons à l'œil nu appartiennent à notre galaxie. Bien qu'il y ait des milliards d'étoiles dans d'autres galaxies et des milliards de galaxies dans l'Univers observable, ces étoiles sont trop éloignées et donc beaucoup trop faibles pour que nos yeux les distinguent en tant que points de lumière individuels. Selon notre emplacement sur Terre et le moment des observations, les cinq planètes les plus brillantes de notre Système Solaire, la bande de la Voie lactée, deux galaxies satellites de la Voie lactée (le Grand et le Petit Nuage de Magellan) et la Galaxie d'Andromède (une grande galaxie spirale) sont également visibles à l'œil nu.

3.2 Le ciel nocturne peut nous aider à nous orienter sur Terre et à naviguer

Regarder le ciel nocturne nous permet de trouver les directions cardinales. Dans l'Hémisphère Nord, la façon la plus simple de trouver le Nord est de rechercher l'étoile Polaris, également connue sous le nom d'Étoile Polaire, qui est très proche du pôle nord céleste. La façon la plus simple de trouver Polaris consiste à utiliser les constellations de la Grande Ourse et de la Petite Ourse.

Dans l'Hémisphère Sud, l'étoile Sigma Octantis, qui est l'étoile la plus proche du pôle sud céleste, n'est pas facilement visible. Cependant, une méthode rapide pour trouver le Sud consiste à utiliser la constellation Crux et les deux étoiles les plus brillantes de la constellation du Centaure.

3.3 L'axe de rotation de la Terre vacille (précessions) sur des milliers d'années

Lorsque la Terre tourne sur son axe, elle se déplace comme une toupie rotative. La direction de son axe de rotation change dans une précession lente avec une période d'environ 26 000 ans. Ce mouvement amène l'axe à pointer dans différentes directions au fil du temps et, par conséquent, les pôles Nord et Sud célestes changent lentement de position au fil du temps. Par exemple, Polaris cessera éventuellement d'indiquer la direction du Nord, alors qu'une autre étoile le pourrait, selon la direction de l'axe de la Terre à l'époque. Bien qu'il n'y ait actuellement aucune étoile brillante près du pôle Sud céleste, à l'avenir, nous aurons une véritable «Étoile du Sud»!

3.4 Seuls quelques corps célestes sont suffisamment brillants pour être vus à l'œil nu lorsque le Soleil est au-dessus de l'horizon

La plupart des objets dans le ciel nocturne sont trop faibles pour être observés contre le ciel lumineux et ensoleillé. Un effet similaire se produit la nuit dans les villes, où, en raison de la pollution lumineuse, nous ne pouvons voir qu'une petite fraction des étoiles en raison de l'éclaircissement du ciel par l'éclairage artificiel. Seuls quelques corps célestes sont suffisamment brillants pour être vus à l'œil nu lorsque le Soleil est au-dessus de l'horizon. Selon sa phase, il est possible de voir la Lune pendant la journée. À certains moments, Vénus peut être observée le matin («étoile du Matin») ou le soir («étoile du Soir»). Très rarement, une comète particulièrement brillante peut être visible pendant la journée.

3.5

Les objets célestes se lèvent à l'Est et se couchent à l'Ouest en raison de la rotation de la Terre

En raison de la rotation de la Terre autour de son axe d'ouest en est, un observateur à la surface voit le ciel tout entier se déplacer dans la direction opposée, d'est en ouest, tournant apparemment autour de notre planète. Ce mouvement apparent du ciel autour de la Terre est appelé mouvement diurne. C'est la raison pour laquelle nous voyons les objets célestes se lever au-dessus de la moitié est de l'horizon et se coucher au-dessous de la moitié ouest.

3.6

Les étoiles scintillent en raison de notre atmosphère

Lorsque la lumière d'une étoile pénètre dans notre atmosphère et voyage à travers ses différentes couches, elle change constamment de direction en raison du changement de réfraction dans des couches de température et de densité différentes. En conséquence, la brillance de la lumière d'une étoile et la direction à partir de laquelle elle nous parvient ici sur Terre sont en train de changer constamment. Pour cette raison, pour un observateur sur Terre, l'étoile semble scintiller. Pour les planètes, l'effet est beaucoup moins apparent (ou perceptible). La raison en est que les planètes peuvent en fait être considérées comme de petits disques (facilement discernables à l'aide de jumelles, par exemple). Les étoiles, en revanche, nous apparaissent comme de minuscules points de lumière, et parce que toute la lumière provient d'un seul point, elle est très sensible aux changements de réfraction.

3.7

Des millions de météorides pénètrent quotidiennement dans l'atmosphère terrestre

Une météoride est un petit objet rocheux ou métallique allant de la taille d'un grain de sable à un mètre. Lorsqu'il pénètre dans l'atmosphère terrestre, il est chauffé par friction, ce qui crée une traînée de lumière dans le ciel nocturne. Ce phénomène est appelé météore (ou étoile filante ou tombante). Lorsqu'un météorite survit à son passage dans l'atmosphère terrestre et atterrit à la surface, il est appelé météorite. Bien que des millions de météores se produisent quotidiennement dans l'atmosphère terrestre, la plupart des météorides dont ils sont issus sont brûlés en gaz et poussières avant d'atteindre le sol.

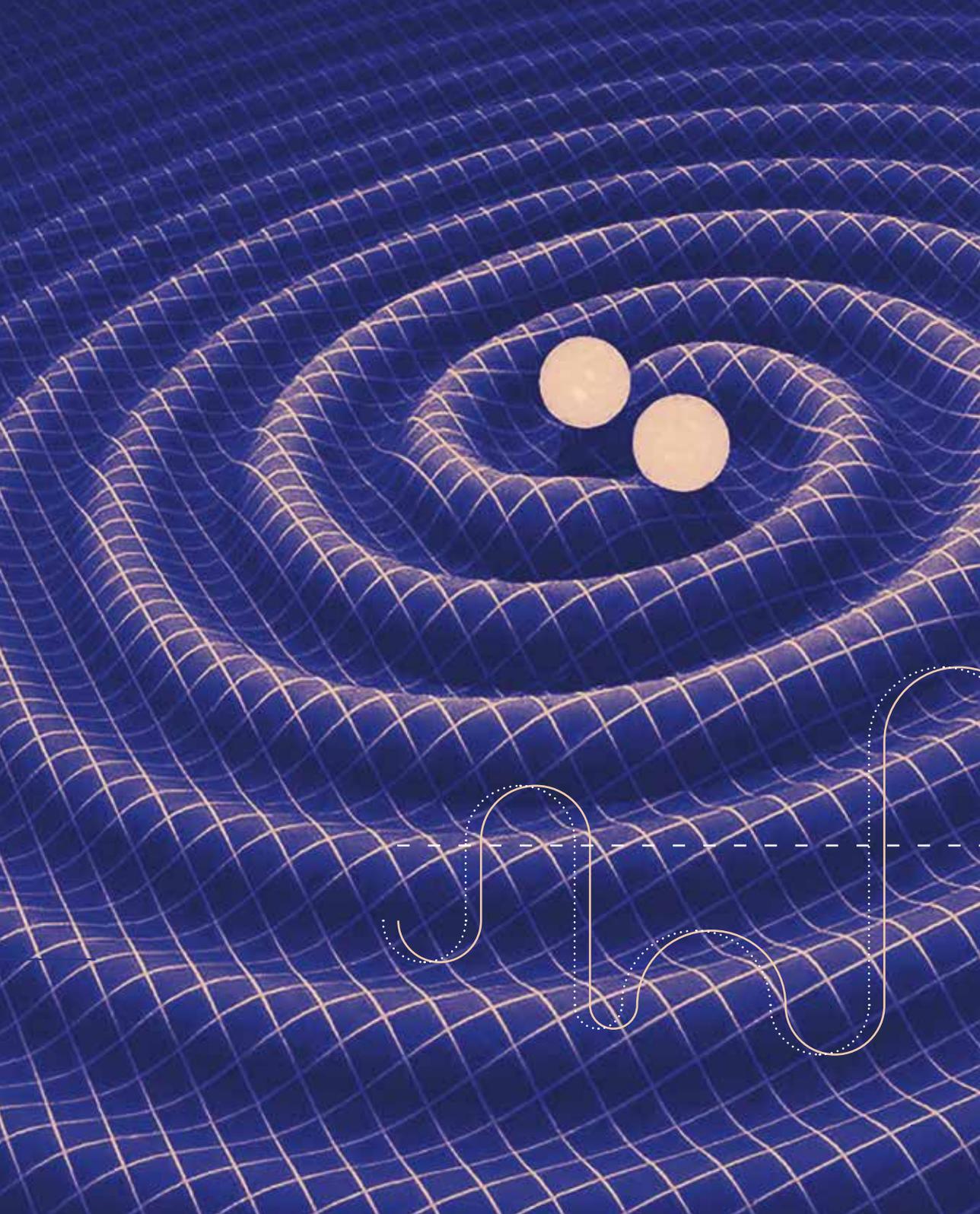


*L'astronomie est une science qui étudie
les objets et phénomènes célestes dans
l'Univers*



*Vue d'artiste des ondes
gravitationnelles générées par
les étoiles à neutrons binaires,
spiralant l'une vers l'autre
avant de fusionner.*

R. Hurt / Caltech-JPL



4.1

La lumière (autrement connue sous le nom de rayonnement électromagnétique) est la principale source d'information pour la recherche astronomique

Comme la plupart des objets célestes sont trop éloignés pour pouvoir s'y rendre, nous devons compter sur le rayonnement électromagnétique (lumière) de ces objets pour les étudier. Différentes longueurs d'onde du spectre électromagnétique fournissent des informations sur les différents mécanismes des phénomènes astronomiques et sur la nature des objets célestes. En astronomie moderne, l'étude de l'Univers est principalement menée en utilisant l'ensemble du spectre électromagnétique: radio, micro-ondes, infrarouge, visible, ultraviolet, rayons X et rayons gamma. Bien que dans le langage courant, la lumière se réfère uniquement à la lumière visible, en astronomie, la lumière peut faire référence au spectre électromagnétique.

4.2

À grande échelle, la gravitation est l'interaction dominante dans l'Univers

En moyenne, les objets astronomiques ne portent aucune charge électrique nette. La manière dominante dont ces objets interagissent sur de longues distances est la gravitation. La gravitation est ce qui fait que les planètes tournent autour du Soleil, les étoiles tournent autour des centres galactiques et maintiennent le plasma chaud des étoiles ensemble sous forme sphérique. La plupart des phénomènes astronomiques peuvent être décrits en utilisant la loi de la gravitation Newton, mais dans les situations les plus extrêmes, la théorie générale de la relativité d'Einstein est nécessaire pour fournir une description précise.

4.3

Les ondes gravitationnelles et les particules subatomiques offrent de nouvelles façons d'étudier l'Univers

L'existence d'ondes gravitationnelles - ondulations dans l'espace-temps - a été prédite par la théorie générale de la relativité au début du XXe siècle. Leur première détection directe confirmée a été réalisée en 2015, et les scientifiques peuvent désormais les utiliser comme une nouvelle fenêtre pour étudier l'Univers. Les ondes gravitationnelles sont générées par de fortes interactions gravitationnelles, telles que la fusion de deux trous noirs massifs ou d'étoiles à neutrons. Les astronomes détectent également divers types de particules subatomiques, comme les neutrinos, les électrons ou les protons, pour étudier l'intérieur de notre Soleil et certains des processus les plus énergétiques du cosmos.

4.4

L'astronomie utilise des données obtenues à partir d'observations et de simulations pour modéliser des phénomènes astronomiques dans le cadre des théories actuelles

Les astronomes créent des modèles mathématiques d'objets astronomiques, de leurs phénomènes associés et de leur évolution. Le cadre de ces modèles est fait avec les théories fondamentales de la physique et de la chimie. Certains modèles sont constitués de relations mathématiques élémentaires, des modèles plus complexes utilisent des simulations numériques. Les simulations les plus sophistiquées sont exécutées sur certains des plus grands superordinateurs du monde. Les données d'observation des télescopes et des détecteurs sont utilisées pour tester et affiner les modèles. L'interaction entre les données d'observation et les modèles est un aspect important de la découverte.

4.5

La recherche astronomique combine des connaissances de différents domaines, tels que la physique, les mathématiques, la chimie et la biologie

La recherche astronomique professionnelle combine des connaissances en mathématiques, physique, chimie, ingénierie, informatique, ainsi que dans d'autres domaines. Cette vue d'ensemble s'est avérée essentielle pour révéler et modéliser la nature des objets et des phénomènes astronomiques. Par exemple, pour comprendre les réactions nucléaires qui se produisent à l'intérieur des étoiles, les scientifiques ont besoin de la physique nucléaire; pour détecter les éléments résultants dans l'atmosphère des étoiles, ils ont besoin de chimie. L'ingénierie est essentielle pour la fabrication de télescopes et de détecteurs, et le développement de logiciels personnalisés est crucial pour l'analyse des données fournies par ces instruments.

4.6

L'astronomie est divisée en un certain nombre de spécialités

Puisqu'une bonne description des objets et des phénomènes astronomiques nécessite une bonne connaissance des autres domaines scientifiques, l'astronomie moderne est généralement divisée en spécialités selon les principaux thèmes abordés. Certaines de ces spécialités comprennent: l'astrobiologie, la cosmologie, l'astronomie observationnelle, l'astrochimie et les sciences planétaires. Les astronomes peuvent également choisir une spécialité d'étude d'un type particulier d'objet, comme les étoiles naines blanches. Étant donné le rôle important que joue la physique au sein de l'astronomie, les termes «astrophysique» et «astronomie» sont utilisés de manière interchangeable.

4.7

Les échelles de temps et de distance en astronomie sont beaucoup plus grandes que celles que nous utilisons dans notre vie quotidienne

La Lune est l'objet céleste le plus proche de la Terre à une distance d'environ 384 400 kilomètres. Notre Soleil a un diamètre de 1,39 million de kilomètres, une masse d'environ 1989 mille trillions de trillions de kilogrammes, et c'est l'étoile la plus proche de la Terre à une distance d'environ 150 millions de kilomètres (qui définit l'Unité Astronomique, UA). L'étoile la plus proche du Soleil est Proxima Centauri qui est à environ 4,25 années-lumière. Une année-lumière est la distance parcourue par la lumière (dans le vide) en un an, soit un peu plus de 9 trillions de kilomètres. Notre galaxie a un diamètre de 100 000 à 120 000 années-lumière et les autres galaxies peuvent atteindre des milliards d'années-lumière. Les unités en astronomie sont beaucoup plus grandes que nous ne pourrions l'imaginer. Les échelles de temps astronomiques sont longues et des âges de millions ou de milliards d'années sont typiques.

4.8

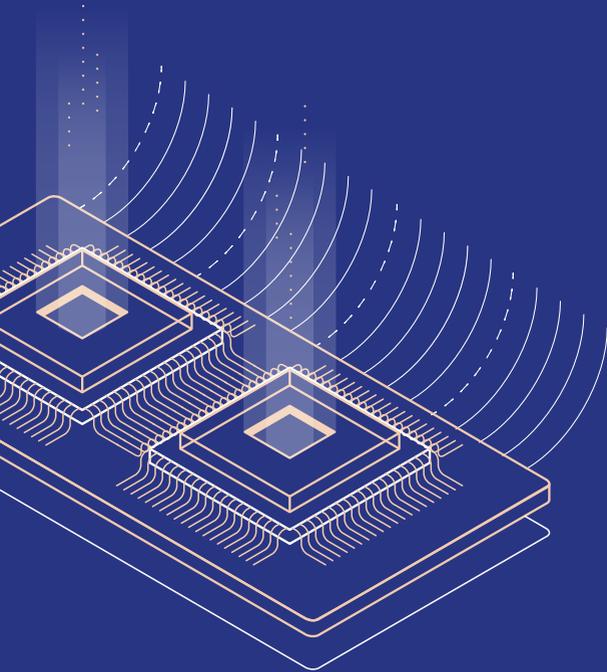
La spectroscopie est une technique importante qui nous permet de sonder l'Univers à distance

Plusieurs caractéristiques des objets astronomiques peuvent être révélées seulement en étudiant leur spectre - la décomposition en arc-en-ciel de leur lumière en des myriades de couleurs différentes, chacune caractérisée par la longueur d'onde de la lumière. En analysant la lumière collectée par ces objets, les astronomes peuvent déterminer des détails tels que leur composition élémentaire, la température, la pression, le champ magnétique, entre autres caractéristiques.



5

L'astronomie profite et stimule le développement technologique



Deux des quatre télescopes de classe 8 m qui forment le Very Large Telescope (VLT), situé en hauteur dans les Andes chiliennes.

Crédits: ESO / P. Horálek



5.1 Les télescopes et les détecteurs sont cruciaux pour l'étude de l'astronomie

Les ondes électromagnétiques étant la principale source d'information en astronomie, les télescopes et les détecteurs jouent un rôle important dans la collecte et l'analyse de ces ondes. Les télescopes plus grands collectent plus de lumière, permettant aux astronomes d'identifier et d'analyser des objets de très faibles luminosité. Les télescopes plus grands ont également un plus grand pouvoir de résolution, permettant aux astronomes d'étudier leurs objets cibles plus en détail. Alors que les premières observations astronomiques ont été effectuées en regardant directement à travers un télescope, les détecteurs permettent aujourd'hui aux astronomes de documenter leurs observations objectivement, à de nombreuses longueurs d'onde différentes.

5.2 Certains télescopes peuvent être reliés entre eux pour agir comme un seul grand télescope

En reliant de nombreux télescopes, les astronomes peuvent les faire fonctionner comme un seul grand télescope en utilisant une technique appelée interférométrie. La résolution des instruments combinés sera celle d'un seul télescope avec un diamètre égal à la plus grande distance entre deux des plus petits télescopes liés. Cela permet aux astronomes de voir des détails plus petits et plus fins dans les objets astronomiques ainsi que de distinguer entre des objets distincts, tels qu'une étoile et son système planétaire.

5.3 Les observatoires astronomiques sont situés sur Terre et dans l'espace

L'atmosphère terrestre absorbe le rayonnement de la plupart du spectre électromagnétique. Elle est transparente à la lumière visible, à certaines radiations ultraviolettes et infrarouges et aux ondes courtes, mais elle est opaque à la plupart d'entre eux. La plupart des bandes ultraviolettes et de grandes portions de lumière infrarouge, ainsi que les rayons X, ne peuvent pas pénétrer dans l'atmosphère. Pour cette raison, la plupart des télescopes qui captent la lumière autre que visible, radio et un plus petit nombre d'autres bandes de longueurs d'onde, doivent être placés dans l'espace. Bien que la lumière visible puisse être observée depuis la surface, la turbulence de l'atmosphère terrestre affecte la qualité des images, de sorte que certains télescopes optiques sont également placés dans l'espace.

5.4 Les observatoires astronomiques terrestres sont souvent situés dans des régions éloignées du monde entier

Peu d'endroits sur Terre offrent des conditions d'observation immaculées associées aux hautes altitudes, avec absence de pollution lumineuse et transparence de l'atmosphère à certaines longueurs d'onde. Ces endroits peuvent souvent être hostiles, difficiles d'accès et généralement éloignés des établissements humains plus importants. Soit que les astronomes se rendent sur ces sites pour leurs observations, permettent à des opérateurs de télescopes locaux expérimentés de les effectuer pour eux, soit qu'ils utilisent des télescopes robotiques, qui sont exploités à distance.

5.5

L'astronomie fait aujourd'hui partie de la «Big Science» et du «Big Data»

Les relevés astronomiques ont commencé à produire de grandes quantités de données, et cela augmentera beaucoup au cours des prochaines années. Cette évolution est appelée «Big Data Astronomy», où l'accent est mis sur la recherche de nouvelles façons de stocker, livrer et analyser ces données. Cela a conduit au développement de divers projets de science citoyenne pour exploiter la capacité sagace de reconnaissance de formes des humains. D'un autre côté, les télescopes et les instruments modernes sont chers et leur construction nécessite une variété de compétences techniques. Dans cette ère de «Big Science», ils sont généralement construits par des organisations internationales ou des consortiums impliquant de nombreux instituts astronomiques de différents pays.

5.6

Des simulations complexes et d'énormes données en astronomie nécessitent le développement de supercalculateurs puissants

Le traitement de vastes quantités de données provenant de simulations et d'observations nécessite des ordinateurs capables d'effectuer des simulations complexes en peu de temps. Les superordinateurs actuels peuvent effectuer de l'ordre de quelques centaines de quadrillions de calculs par seconde. Ces superordinateurs permettent aux astronomes de créer des univers simulés et de les comparer avec les observations de relevés à grande échelle.

5.7

L'astronomie est une science mondiale, avec des équipes internationales, et où les données et les publications sont partagées librement

Les données disponibles dans la plupart des observatoires professionnels sont accessibles au public. Au cours de leur carrière, les astronomes travailleront généralement dans différents pays. De grands projets astronomiques, de la construction de télescopes et d'instruments aux campagnes d'observation coordonnées, sont fréquemment entrepris en collaboration entre des chercheurs et des instituts de différentes nations. L'astronomie est mondiale et internationale. Nous sommes tous membres de l'équipage de «Spaceship Earth», sous un même ciel, explorant le cosmos.

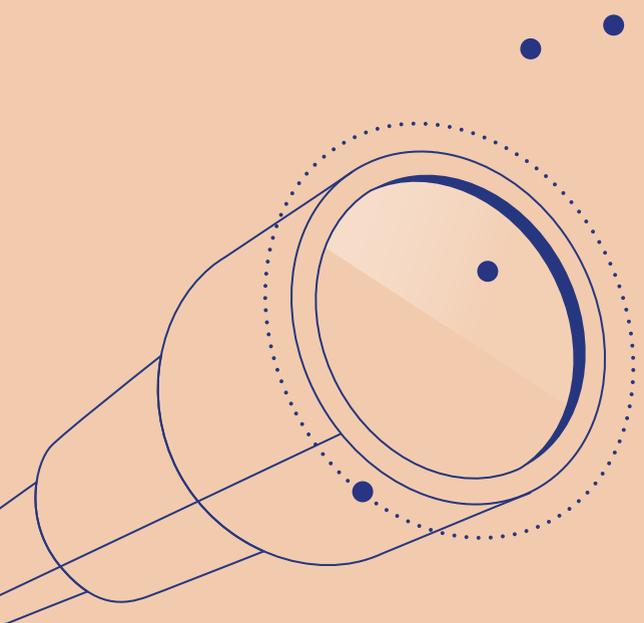
5.8

De nombreux vaisseaux spatiaux ont été lancés dans l'espace pour étudier le Système Solaire

Afin d'explorer et d'en savoir plus sur notre place dans l'Univers, nous avons envoyé des sondes robotiques dans tout le système solaire. Certaines de ces sondes orbitent autour de planètes, de lunes ou même d'astéroïdes, tandis que d'autres ont atterri sur de tels objets. Parmi les endroits du Système Solaire qui ont été visités (atterrissage, orbite ou survol) par des sondes robotiques, se trouvent toutes les planètes, les planètes naines Pluton et Ceres, notre Lune et d'autres lunes de Jupiter et Saturne, des comètes et des astéroïdes.

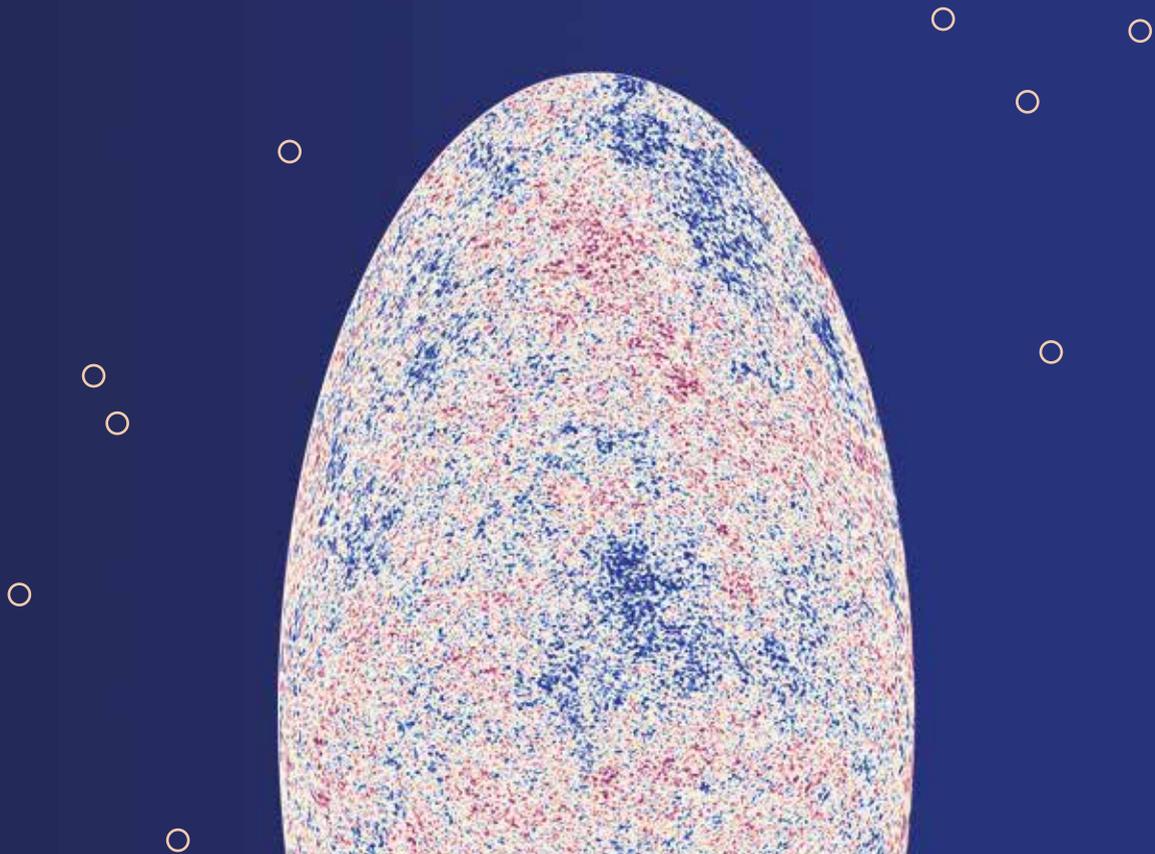
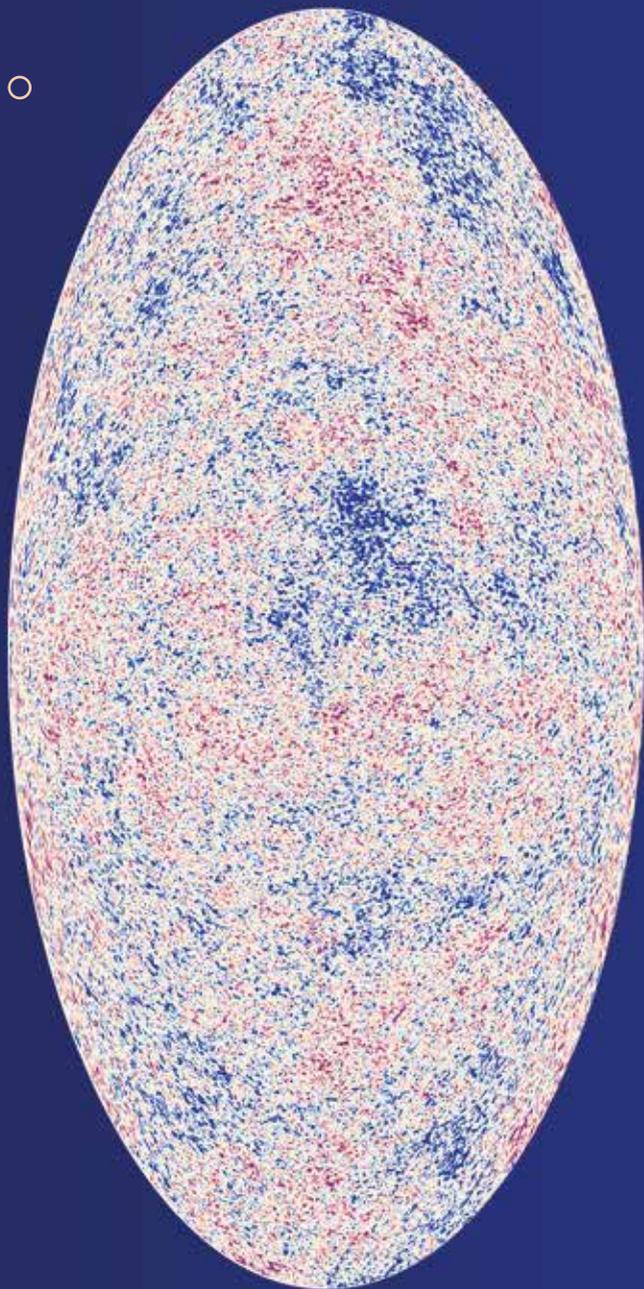
6

La cosmologie est la science de l'exploration de l'Univers dans son ensemble



Une image du Fond Diffus Cosmologique (CMB: Cosmic Microwave Background), la relique qui reste de quand l'Univers avait 380,00 ans.

Crédits: ESA et la collaboration Planck



6.1

L'Univers a plus de 13 milliards d'années

L'âge estimé de l'Univers, basé sur des observations modernes et sur des modèles cosmologiques de pointe pour son évolution précoce, est d'approximativement 13,8 milliards d'années. La cosmologie est un domaine de recherche qui étudie l'évolution et la structure de l'Univers.

6.2

L'Univers est homogène et isotrope à grande échelle

Aux plus grandes échelles, la matière de l'Univers semble être uniformément répartie. En raison de cette densité et de cette structure presque uniformes, l'Univers est presque identique à n'importe quel endroit (homogène) et dans toutes les directions (isotrope).

6.3

Nous observons toujours le passé

En raison de la vitesse finie de la lumière, nous ne voyons jamais les objets tels qu'ils sont maintenant, mais toujours tels qu'ils étaient dans le passé. Nous pouvons seulement voir le Soleil tel qu'il était il y a environ huit minutes, car la lumière du Soleil met environ huit minutes pour nous atteindre. Nous voyons la galaxie d'Andromède telle qu'elle était il y a environ 2,5 millions d'années, car il faut autant de temps à la lumière de la galaxie pour arriver sur Terre. De cette façon, les astronomes observent toujours le passé, même jusqu'à 13,8 milliards d'années. L'observation d'objets astronomiques à différentes distances nous donne ainsi un aperçu de l'histoire cosmique. Étant donné qu'en moyenne, l'Univers a les mêmes propriétés partout, cette coupe transversale fournit des indices précieux sur notre propre histoire.

6.4

Nous ne pouvons observer directement qu'une fraction de l'Univers total

Puisque la lumière voyage dans l'espace à une vitesse finie, il y a des régions lointaines de l'Univers que nous ne pouvons encore observer. La raison en est simplement que la lumière de ces régions n'a pas eu assez de temps pour atteindre nos détecteurs sur Terre. Nous ne pouvons voir que des objets qui se trouvent à l'intérieur d'une certaine région qui est appelée «l'Univers observable», comprenant tous les objets dont la lumière a eu le temps nécessaire pour nous atteindre. Les objets très éloignés, proche de la périphérie de cette région, présentent un intérêt particulier. Celles-ci nous apparaissent sous la forme qu'elles étaient quant l'Univers avait tout juste commencé.

6.5

L'univers est principalement composé d'Énergie Noire et de Matière Noire

Les étoiles, l'air que nous respirons, nos corps et tout ce que nous voyons autour de nous sont constitués d'atomes, eux-mêmes composés de protons, de neutrons et d'électrons. Cette soi-disant matière baryonique, c'est ce avec quoi nous interagissons dans notre vie quotidienne. Des données d'observation montrent qu'elle ne représente qu'environ 5% de la composition totale de l'Univers. En fait, l'Univers est principalement composé d'une forme d'énergie inconnue appelée Énergie Noire (environ 68%) et d'une

forme inhabituelle de matière appelée Matière Noire (environ 27%). La nature de la soi-disant Énergie Noire et Matière Noire est un domaine de recherche actif, en particulier par le biais d'observations de leur influence sur la matière baryonique.

6.6

L'Univers s'agrandit à une vitesse accélérée

L'évidence observationnelle montre que l'Univers est en expansion à une vitesse accélérée, laquelle est attribuée à l'Énergie Noire. Alors que l'Univers se développe de manière systématique à grande échelle, les amas de galaxies s'éloignent les uns des autres. Les données observationnelles montrent que plus une galaxie est éloignée de nous, plus vite elle s'éloigne de nous (loi de Hubble-Lemaître). Des observateurs extraterrestres hypothétiques dans d'autres galaxies trouveraient la même chose. Les systèmes liés, tels que les amas de galaxies et les groupes de galaxies liés par leur propre gravité, ou les galaxies elles-mêmes, ne sont pas affectés par l'expansion cosmique. Au sein des amas et des groupes de galaxies, les galaxies individuelles peuvent être en orbite l'une autour de l'autre, ou elles peuvent être sur une trajectoire de collision entre elles. Ceci est vrai pour la Galaxie Voie lactée et la galaxie d'Andromède.

6.7

L'expansion de l'espace provoque le décalage vers le rouge de la lumière des galaxies éloignées

L'expansion cosmique influence les propriétés de la lumière dans l'Univers. La lumière qui nous parvient de galaxies éloignées est de plus en plus décalée vers le rouge avec de plus grandes distances. Ce décalage cosmologique vers le rouge peut être compris soit directement en termes de longueurs d'onde de la lumière augmentant (s'étirant en de longueurs d'onde plus longues) avec le facteur d'échelle cosmique. C'est pourquoi les galaxies lointaines ne peuvent être observées que dans les bandes infrarouges ou radio, et pourquoi le Fond Diffus Cosmologique nous atteint principalement dans le régime des micro-ondes.

6.8

Les lois naturelles (par exemple la gravité) que nous étudions sur Terre semblent fonctionner de la même manière dans tout l'Univers

Il y a eu de nombreux tests pour voir si les lois de la physique, telles que les lois régissant la gravité, la thermodynamique et l'électromagnétisme, sont les mêmes sur Terre et dans l'Univers lointain. Jusqu'à présent, tous ces tests indiquent que les lois fondamentales de la physique s'appliquent à l'ensemble de l'Univers.

6.9

La structure à grande échelle de l'Univers est composée de filaments, de feuilles et de vides.

Les grands relevés de décalage vers le rouge de l'Univers ont révélé qu'à grande échelle de l'ordre de quelques centaines de millions d'années-lumière, l'Univers ressemble à une éponge tridimensionnelle - comme un réseau de filaments et de vides, que les astronomes appellent la «toile cosmique». Les filaments et les feuilles contiennent des millions de galaxies. Ces structures à grande échelle s'étendent sur des centaines de millions d'années-lumière et ont généralement une épaisseur de plusieurs dizaines de millions d'années-lumière. Les filaments et les feuilles forment des limites autour des vides, qui sont de l'ordre de cent millions d'années-lumière de diamètre, et ne contiennent que très peu de galaxies.

6.10

Le Fond Diffus Cosmologique nous permet d'explorer l'Univers primitif

Le rayonnement électromagnétique le plus ancien, émanant des régions les plus éloignées de l'Univers que nous pouvons observer, est le fond diffus cosmologique. Il s'agit de la relique de l'Univers ancien chaud et dense, empreinte d'informations datant d'une époque où l'Univers avait environ 380 000 ans. Le Fond Diffus Cosmologique [Cosmic Microwave Background, CMB] nous permet de mesurer les caractéristiques clés de l'Univers dans son ensemble: la quantité de Matière Noire, de matière baryonique et d'Énergie Noire qu'il contient, la géométrie de l'Univers et son taux d'expansion actuel. Le Fond Diffus Cosmologique montre que l'Univers est presque isotropique et fournit donc également des preuves indirectes d'homogénéité.

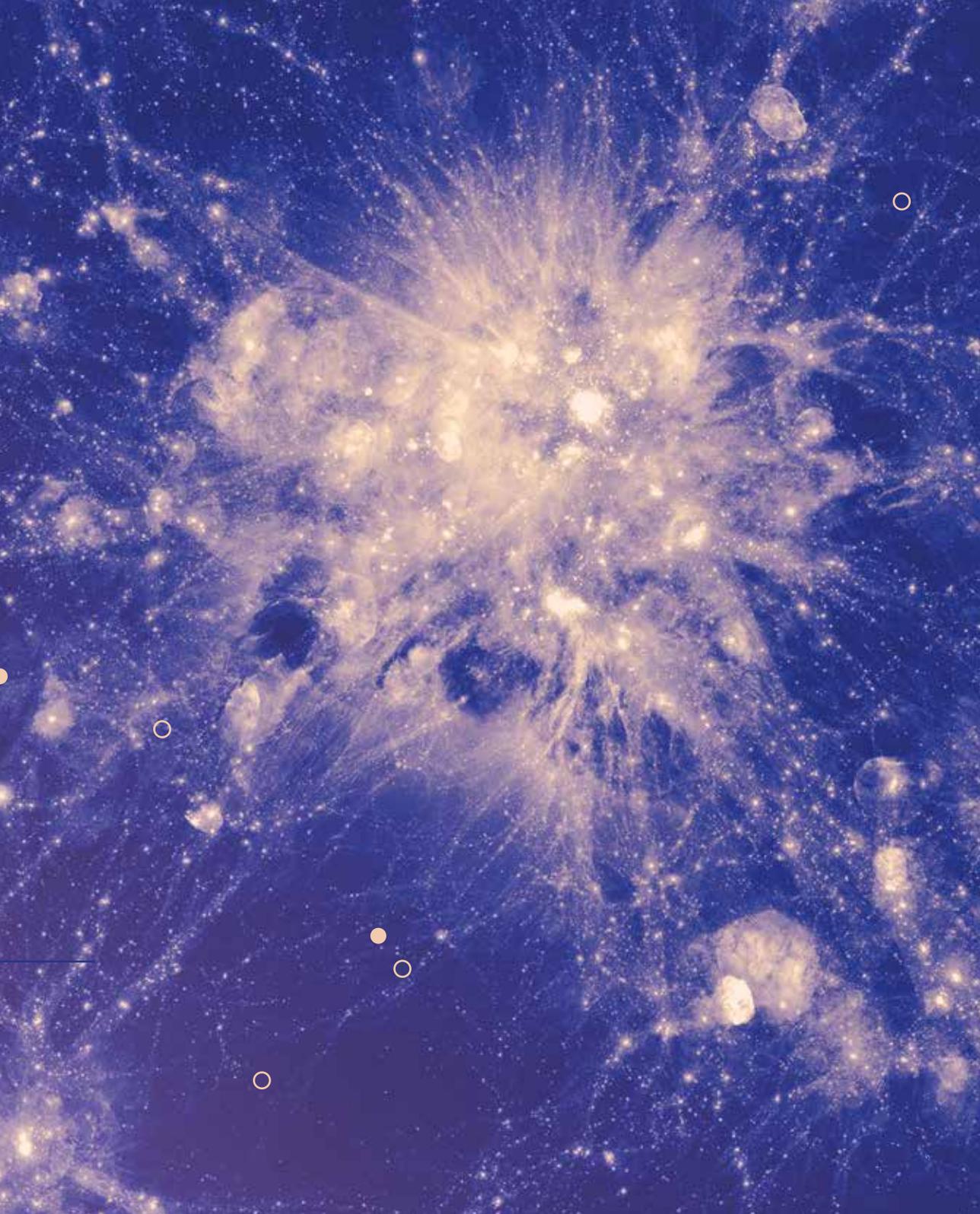
6.11

L'évolution de l'Univers peut être expliquée par le modèle du Big Bang

Selon les meilleures preuves disponibles jusqu'à présent, toute la matière et l'énergie que nous voyons autour de nous étaient contenues dans un volume inférieur à un atome il y a 13,8 milliards d'années. L'Univers est passé de cette phase à très haute densité et température à son état actuel. Les modèles décrivant l'Univers en expansion sont appelés LambdaCDM (où Lambda signifie la composante Énergie Noire de l'Univers et CDM pour Cold Dark Matter). La phase du Big Bang, malgré son nom, n'était pas une explosion où la matière est projetée dans un espace vide existant antérieurement. Tout l'espace disponible était rempli de matière dès le début et, à mesure que l'espace augmentait, la densité moyenne de matière a diminué depuis. Depuis la formation des galaxies, les distances moyennes entre elles ne cessent d'augmenter. Le modèle du Big Bang fait de nombreuses prédictions testables sur notre Univers actuel, dont la plupart ont été confirmées à l'aide de données d'observation.

Une simulation cosmologique à grande échelle montrant l'évolution d'une section de l'Univers, où la densité de la matière noire est superposée à la vitesse du gaz.

Crédits: The Illustris Collaboration



7

*Nous vivons tous sur une petite
planète au sein du Système Solaire*

*Impression artistique de
certaines des exoplanètes
en orbite autour d'une étoile
appelée TRAPPIST-1 qui a, au
moins, sept planètes rocheuses
de la taille de la Terre sur son
orbite.*

Crédits: ESO/M. Kornmesser



7.1 Le Système Solaire a été formé il y a environ 4.6 milliards d'années

La datation radioactive des météorites nous a permis de déterminer l'âge du Système Solaire. Cet âge est également cohérent avec la datation des échantillons de roche lunaire et des plus vieilles roches trouvées à la surface de la Terre.

7.2 Le Système Solaire est composé du Soleil, de planètes, de planètes naines, de lunes, de comètes, d'astéroïdes et de météorites

Notre Système Solaire est constitué d'une étoile centrale que nous appelons le Soleil et de chaque objet sur son orbite, sous l'influence de sa gravité. Ces objets incluent les planètes et leurs satellites naturels, les planètes naines, les astéroïdes, les météorites et les comètes. Le Soleil représente plus de 99.87% de la masse totale du système solaire.

7.3 Il y a huit planètes dans le Système Solaire

Selon la résolution de 2006 de l'Union Astronomique Internationale, pour qu'un objet soit une planète, il doit remplir trois critères. Le premier est qu'il doit tourner autour du Soleil. La seconde est qu'une planète doit avoir suffisamment de masse pour que la gravité la transforme en une forme sphérique approximative, et enfin, son influence gravitationnelle doit être suffisante pour effacer son voisinage orbital des autres objets. Les objets qui ne sont pas des lunes et qui obéissent aux deux premières règles, mais pas à la troisième, sont appelés planètes naines. À partir du Soleil, les planètes de notre Système Solaire sont Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

7.4 Il y a plusieurs planètes naines dans le Système Solaire

Les planètes naines sont toutes plus petites que la Lune de la Terre, qui a un diamètre d'environ 3474 km. Pluton est actuellement la plus grande des planètes naines, suivie par Éris, Haumea, Makemake et Cérés. Chacun de ces objets est solide, avec des surfaces glacées et a des compositions similaires. Cérés est située entre les orbites de Mars et Jupiter, tandis que les quatre autres planètes naines peuvent être trouvées au-delà de l'orbite de Neptune, dans la ceinture d'Edgeworth-Kuiper.

7.5 Les planètes sont divisées en planètes terrestres (rocheuses) et géantes gazeuses

Les quatre planètes les plus proches du Soleil sont appelées planètes terrestres. Toutes ces planètes ont une surface solide et sont composées principalement de roches. Mercure n'a pas d'atmosphère mais par rapport à la Terre, Vénus a l'atmosphère la plus dense et Mars l'atmosphère la plus mince. Contrairement aux petites planètes intérieures, les quatre planètes extérieures, appelées géantes gazeuses, sont beaucoup plus grandes. Ces planètes sont principalement gazeuses (hydrogène et hélium) et leurs atmosphères sont très denses. Tous les géants de gaz ont des anneaux autour d'eux. Saturne a de loin le système d'anneaux le plus impressionnant, qui est visible même à travers un télescope assez petit.

7.6

Certaines planètes ont des douzaines de satellites naturels

À l'exception de Mercure et de Vénus, toutes les planètes ont au moins un satellite naturel. La Terre est la seule planète du Système Solaire qui possède seulement une Lune, alors que Mars a deux lunes. Contrairement aux planètes terrestres, toutes les géantes gazeuses ont un grand nombre d'objets en orbite. Avec plus de 75 lunes confirmées, Jupiter et Saturne sont les planètes avec le plus de satellites naturels, suivie par Uranus et Neptune.

7.7

La Terre est la troisième planète en orbite autour du Soleil et possède un satellite naturel, la Lune

Notre planète d'origine est la troisième planète à compter du Soleil et a une orbite presque circulaire. L'atmosphère de la Terre est principalement composée d'azote et d'oxygène et la température moyenne à sa surface, couverte à plus de 70% d'eau, est d'environ 15 degrés Celsius. La Lune est le seul satellite naturel de la Terre et le seul objet céleste sur lequel les humains ont posé le pied.

7.8

Il y a des millions d'astéroïdes qui sont des vestiges de la formation précoce de notre Système Solaire

Des vestiges de la formation initiale du Système Solaire se trouvent principalement dans la ceinture d'astéroïdes, située entre les orbites de Mars et de Jupiter, et la ceinture d'Edgeworth-Kuiper, située au-delà de l'orbite de Neptune. La taille de ces astéroïdes varie d'environ 10 m à 1 000 km et la masse combinée de tous les astéroïdes du système solaire est inférieure à la masse de la Lune terrestre.

7.9

Une comète est un objet glacé qui acquiert une queue lorsqu'elle est chauffée par le Soleil

Les comètes sont principalement composées de glace, mais elles contiennent également de la poussière et des matériaux rocheux. La glace est volatile et s'évapore lorsque la comète s'approche du Soleil en raison des vents solaires et du rayonnement. Cela crée deux queues - une queue de poussière qui est légèrement pliée dans la direction opposée au mouvement de la comète, s'étendant sur des millions de kilomètres, et une queue de plasma qui est droite et rarement visible à l'œil nu. Les queues de la comète pointent toujours dans la direction opposée du Soleil, indépendamment de la direction dans laquelle se déplace la comète. On pense que la plupart des comètes proviennent de deux régions spécifiques: la Ceinture d'Edgeworth-Kuiper, située au-delà de l'orbite de Neptune, et le Nuage d'Oort, aux abords du système solaire.

7.10

La limite du Système Solaire s'appelle l'Héliopause

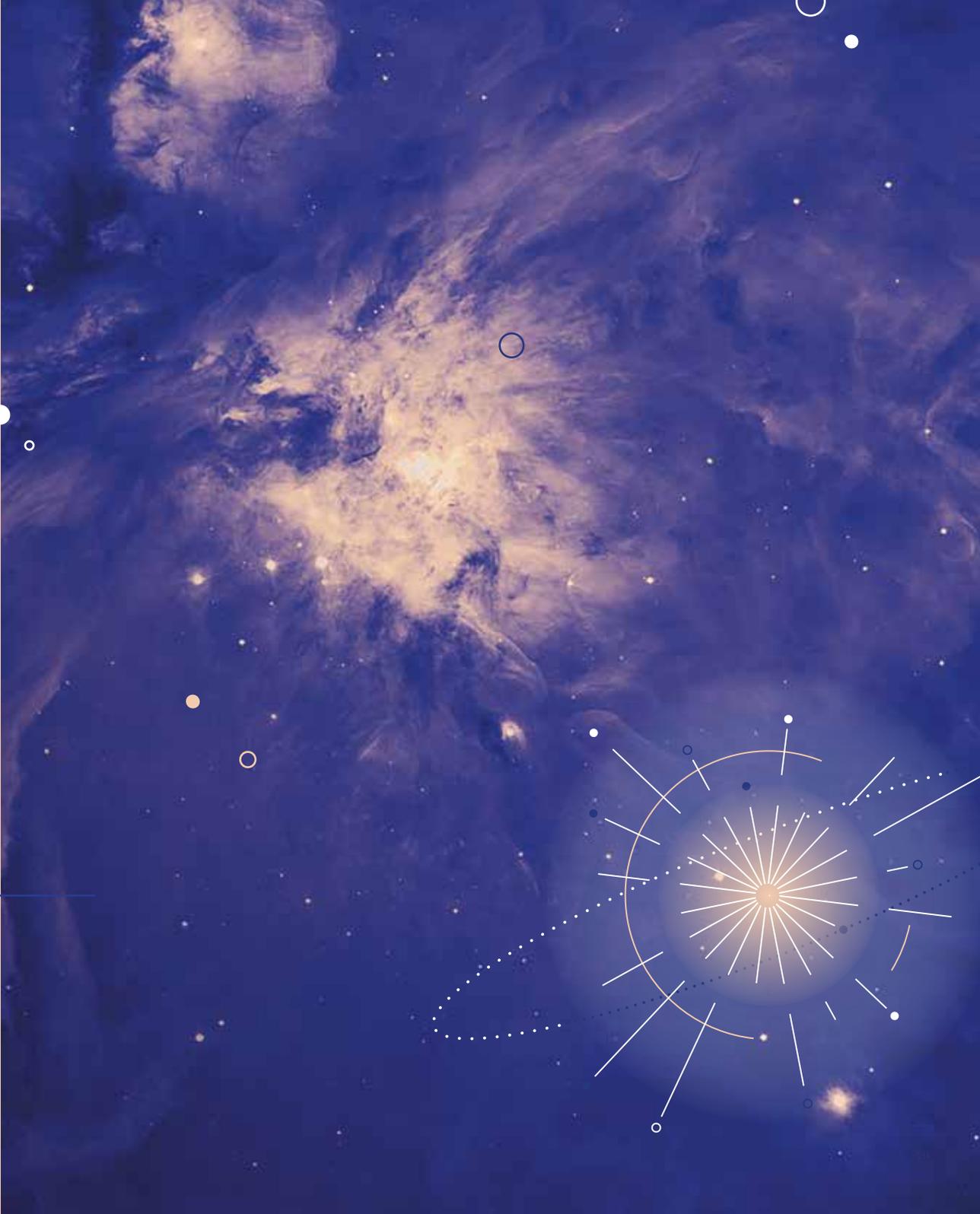
Le champ magnétique du Soleil s'étend bien au-delà de sa surface. Cela crée une bulle qui englobe tout le Système Solaire. La région où le champ magnétique du Soleil interagit avec le champ magnétique d'autres étoiles est appelée Heliosheath. La limite extérieure de cette région agitée et turbulente s'appelle l'Héliopause. Au-delà de l'Héliopause se trouve l'espace interstellaire. En 2012, le vaisseau spatial Voyager 1 a été le premier objet fabriqué par l'homme à traverser l'Héliopause.



*Nous sommes tous constitués
de poussière d'étoiles*

*La Nébuleuse d'Orion (M42), la
région de formation d'étoiles
massives la plus proche à près
de 1500 années-lumière.*

*Crédits: NASA, ESA, M.
Robberto (Space Telescope
Science Institute / ESA) et
l'Équipe du Projet Hubble
Space Telescope Orion
Treasury*



8.1

Une étoile est un corps auto-lumineux générant son énergie par des réactions nucléaires internes

Les étoiles sont composées d'un plasma très chaud (un gaz où les électrons et les noyaux d'atomes sont largement séparés) qui est maintenu par sa propre gravité. La production maintenue d'énergie d'une étoile est générée par des réactions nucléaires qui se produisent en son centre, qui fusionnent initialement l'hydrogène en hélium, via la chaîne proton-proton (et pour les étoiles plus massives via le cycle CNO carbone-azote-oxygène) avant de passer à la fusion d'éléments plus lourds. Les étoiles sont stabilisées par la pression maintenue par l'énergie libérée pendant leurs processus de fusion centrale, qui contrecarre l'envie de l'étoile de s'effondrer sous sa propre gravité. De cette façon, la plupart des étoiles de masse similaire ou inférieure à notre Soleil restent stables pendant quelques milliards voire plusieurs dizaines de milliards d'années.

8.2

Des étoiles se forment à partir de nuages massifs de poussière et de gaz

L'effondrement gravitationnel de nuages moléculaires froids géants donne naissance à des étoiles. À mesure que le nuage s'effondre, il se fragmente en noyaux dont les régions centrales deviennent de plus en plus denses et plus chaudes. Au-delà des valeurs critiques de température et de pression, la fusion nucléaire s'initie et une étoile est née. Cette jeune étoile est initialement entourée d'un disque protoplanétaire de poussière et de gaz. Au cours de millions d'années, ce disque se différencie en planètes et en petits corps.

8.3

L'étoile la plus proche de la Terre est le Soleil

Avec un diamètre équatorial d'environ 1,4 million de kilomètres, le Soleil, l'étoile la plus proche de la Terre, est si grand que nous pourrions le remplir d'environ 1,3 million de Terres. Même si notre étoile est énorme par rapport à notre planète, il y a des étoiles beaucoup plus grandes dans l'Univers. La super géante VY Canis Majoris, avec environ 1400 fois le diamètre du Soleil, est la plus grande étoile connue à ce jour. Si elle était placée au centre du système solaire, la surface de VY Canis Majoris s'étendrait au-delà de l'orbite de Jupiter. Il y a aussi des étoiles beaucoup plus petites que le Soleil. L'étoile la plus proche, Proxima Centauri, est une naine rouge d'un diamètre d'environ 200 000 kilomètres, soit seulement 16 fois le diamètre de la Terre.

8.4

Le Soleil est une étoile dynamique

Bien qu'elle semble uniforme en apparence, la surface du Soleil peut être marbrée de taches sombres. Ces taches solaires, ou régions à fort champ magnétique, semblent sombres car elles sont plus froides que le matériau environnant. Tous les 11 ans, le Soleil alterne entre la production de nombreuses taches et la production de quelques taches. Parfois, le champ magnétique du Soleil se déforme, génère beaucoup d'énergie et libère cette énergie dans une explosion de lumière et de particules. Ces rafales sont appelées éclats ou éjections de masse coronale. Mais même quand il fait calme, le Soleil éjecte constamment environ 1,5 milliard de kilogrammes de gaz chaud et magnétisé dans l'espace à chaque seconde. Ce vent solaire traverse le Système Solaire et interagit avec les planètes. D'autres étoiles produisent également des éclats et des vents.

8.5

La couleur d'une étoile nous indique sa température de surface

Les étoiles peuvent avoir des températures de surface comprises entre quelques milliers de degrés Celsius et cinquante mille degrés Celsius. Les étoiles chaudes rayonnent la majeure partie de leur énergie dans la région bleue et ultraviolette du spectre électromagnétique (à de courtes longueurs d'onde), et ont ainsi un aspect bleuâtre à nos yeux. Les étoiles plus froides sont rougeâtres, car elles rayonnent la plupart de leur énergie dans les régions rouges et infrarouges du spectre électromagnétique (à de longues longueurs d'onde).

8.6

L'espace entre les étoiles peut être en grande partie vide ou il peut contenir des nuages de gaz, ce qui peut produire de nouvelles étoiles

L'espace entre les étoiles contient de minuscules traces de matière sous forme de gaz, de poussière et de particules de haute énergie («rayons cosmiques»). Ce contenu est appelé le Milieu Interstellaire. Il peut être plus ou moins dense dans différentes parties de la galaxie. Cependant, même les régions les plus denses du milieu interstellaire sont encore mille fois moins denses que le meilleur vide créé en laboratoire.

8.7

Une étoile passe par un cycle de vie qui est largement déterminé par sa masse initiale

Les simulations informatiques révèlent que les premières étoiles avaient une durée de vie de quelques millions d'années. En revanche, l'espérance de vie moyenne d'une étoile similaire au Soleil est d'environ 10 milliards d'années. Les étoiles naines rouges de faible masse peuvent vivre pendant des milliards d'années. Une étoile avec une masse similaire à celle de notre Soleil finira par évoluer en une étoile géante rouge et plus tard, éjectera la majeure partie de sa masse dans l'espace, laissant derrière elle une étoile naine blanche compacte entourée de ce qu'on appelle une nébuleuse planétaire. Une étoile avec au moins huit masses solaires évoluera en une supergéante rouge avant d'exploser dans un événement appelé supernova, laissant derrière elle une étoile à neutrons ou un trou noir stellaire.

8.8

Les étoiles massives peuvent terminer leur cycle de vie en tant que trous noirs stellaires

Un trou noir est une région de l'espace dont le champ gravitationnel extrême empêche tout, même la lumière, de s'échapper une fois qu'il a traversé l'horizon des événements. L'horizon des événements est une surface limite entourant un trou noir, où la vitesse nécessaire pour échapper à son champ gravitationnel est supérieure à la vitesse de la lumière. Les modèles théoriques prédisent qu'au centre d'un trou noir se trouve une singularité, où la densité de matière et la courbure de l'espace-temps se rapprochent de l'infini. Les trous noirs de masse stellaire ont des masses de l'ordre de quelques dizaines de masses solaires, dans une région ayant un rayon de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres (selon la masse).



8.9

Les nouvelles étoiles et leurs systèmes planétaires sont nés de la matière laissée par les étoiles précédentes dans cette région

Hormis l'hydrogène, la plupart de l'hélium et une petite quantité de lithium, tous les éléments de l'Univers actuel ont été produits à l'intérieur des étoiles par fusion nucléaire. Les étoiles de faible masse, comme le Soleil, produisent des éléments jusqu'à l'oxygène par fusion nucléaire, tandis que les étoiles massives peuvent créer des éléments plus lourds que l'oxygène et jusqu'au fer. Des éléments plus lourds que le fer, comme l'or et l'uranium, sont créés lors d'explosions de supernova à haute énergie et de collisions d'étoile à neutron. Lorsqu'elles meurent, les étoiles libèrent la majeure partie de leur masse dans le Milieu Interstellaire. De cette matière, de nouvelles étoiles se forment, dans la version cosmique d'un processus de recyclage.

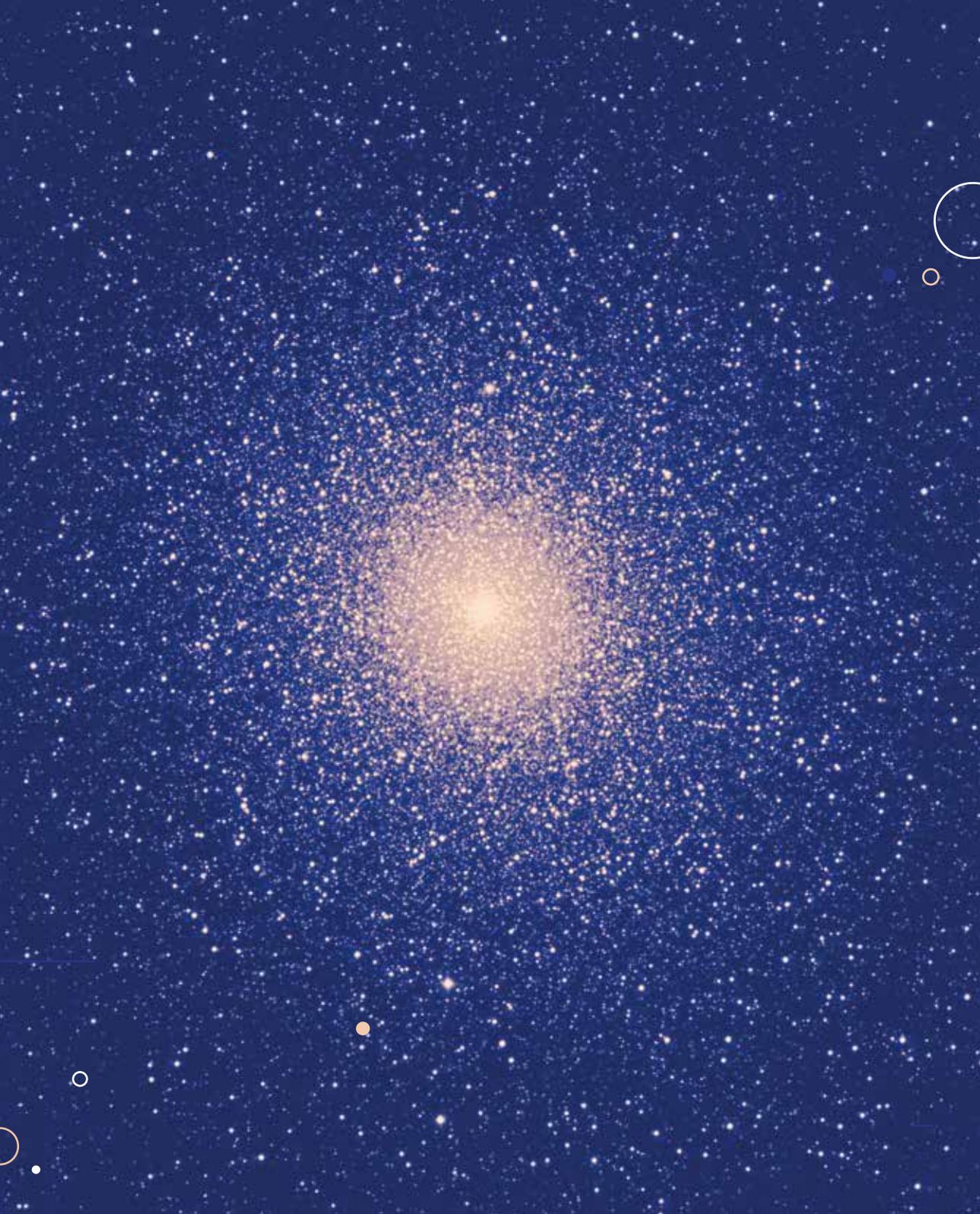
8.10

Le corps humain est composé d'atomes qui peuvent être retracés aux étoiles précédentes

Des éléments autres que l'hydrogène et l'hélium et une petite quantité de lithium, ont été principalement créés à l'intérieur des étoiles et libérés dans l'espace au cours des dernières étapes de la vie de ces étoiles. C'est l'origine de la plupart des éléments qui composent nos corps, comme le calcium dans nos os, le fer dans notre sang et l'azote dans notre ADN. De la même manière, les éléments qui composent les autres animaux, les plantes et la plupart des choses que nous voyons autour de nous ont été produits par des étoiles il y a des milliards d'années.

Une image du deuxième plus grand et du deuxième amas globulaire, ou groupe d'étoiles serré, le plus brillant, vu dans le ciel nocturne de la Terre. Appelé NGC 104 ou 47 Tucanae.

Crédits: ESO



9

*Il y a des centaines de milliards
de galaxies dans l'Univers*

*Le Hubble Ultra Deep Field, un
instantané d'une petite région
de l'espace (près de 1/10 du
diamètre de la Pleine Lune)
contenant près de dix mille
galaxies.*

*Crédits: NASA, ESA et S.
Beckwith (STScI) et l'Equipe
HUDF*





9.1 Une galaxie est un grand système d'étoiles, de poussière et de gaz

Une galaxie contient entre quelques millions et des centaines de milliards d'étoiles, liées entre elles par leur force gravitationnelle mutuelle. Les étoiles d'une galaxie peuvent faire partie d'amas stellaires ou faire partie d'une plus grande population d'étoiles séparées qui imprègnent la galaxie. De plus, une galaxie contient des restes stellaires, de la poussière, du gaz et de la Matière Noire. De nombreuses galaxies ont un trou noir supermassif en leur centre.

9.2 Les galaxies paraissent contenir de grandes quantités de Matière Noire

La Matière Noire est un type de matière qui n'émet pas ou n'interagit pas avec le rayonnement électromagnétique, et est donc impossible à voir par des observations directes. Bien que la Matière Noire ne soit pas visible, elle a une masse et son existence est déduite de ses effets gravitationnels sur les objets visibles. Ces effets incluent le mouvement des objets visibles ou la distorsion des images due à la lentille gravitationnelle. Les galaxies sont entourées d'un halo de matière noire beaucoup plus grand - dans un sens, ce que nous voyons d'une galaxie n'est que la pointe de l'iceberg.

9.3 La formation des galaxies est un processus évolutif

Au cours des premières centaines de millions d'années de l'histoire de l'Univers, la Matière Noire a évolué en de nombreuses grandes régions plus denses, appelées halos. Lorsque l'hydrogène et l'hélium gazeux sont tombés dans ces halos, les premières galaxies et les premières étoiles se sont formées. De plus grandes galaxies spirales comme la Voie lactée ont évolué en attirant et en incorporant de nombreuses galaxies plus petites. De grandes galaxies elliptiques se sont formées lors de la collision et de la fusion de galaxies plus massives. En fonction de leurs réserves de gaz et du chauffage par l'explosion d'étoiles ou d'activités au centre galactique, ces galaxies ont formé de nouvelles étoiles à un rythme accru ou plus lent.

9.4 Il existe trois principaux types de galaxies: Spirales, Elliptiques et Irrégulières

Conformément à leur apparence visuelle, les galaxies sont classées en galaxies spirales, elliptiques et irrégulières. Ces types diffèrent non seulement par la forme mais aussi par leur contenu. Les galaxies en spirale ont des bras en spirale aplatis formés principalement par de jeunes étoiles brillantes et de grandes quantités de gaz et de poussière. En revanche, les galaxies elliptiques contiennent moins de gaz. Leurs étoiles sont pour la plupart anciennes et réparties sous une forme ovoïde ou sphérique. Certaines galaxies, y compris la plupart des galaxies naines, n'ont aucune de ces deux formes standard et sont appelées irrégulières.

9.5

Nous vivons dans une galaxie spirale appelée la Voie lactée

Notre Voie lactée est une galaxie spirale avec une structure en forme de barre au centre. Le Système Solaire est situé à environ 25 000 années-lumière du centre, dans un bras en spirale. La partie visible de notre galaxie est une collection d'étoiles en forme de disque d'un diamètre d'environ 100,000 – 120,000 années-lumière et d'une épaisseur d'environ 2 000 années-lumière. Dans ce disque, de jeunes étoiles et de la poussière forment des bras en spirale. Pendant une nuit noire et depuis un endroit convenablement sombre, nous pouvons voir une fraction minime des plus de 100 milliards d'étoiles du disque galactique sous la forme d'une énorme bande brumeuse se cambrant dans le ciel. C'est notre point de vue à partir de l'intérieur de notre galaxie d'origine.

9.6

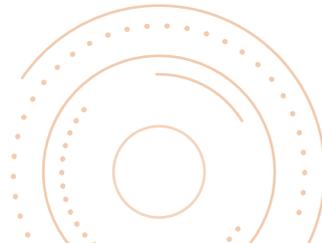
Les bras en spirale des galaxies sont créés par des amoncements de gaz et de poussière

Une théorie largement acceptée sur la formation des bras en spirale est qu'ils sont le résultat d'une onde de densité se déplaçant à travers le disque d'une galaxie, provoquant un amas d'étoiles, de gaz et de poussière semblable à un embouteillage sur une route très fréquentée. Cela donne lieu à des régions plus denses dans le disque qui sont considérées comme des bras en spirale. Ces régions à haute densité contiennent beaucoup de gaz et de poussière, qui sont essentiels pour la formation de nouvelles étoiles. Par conséquent, les bras en spirale contiennent de nombreuses jeunes étoiles brillantes, montrant que ces régions ont un taux de formation d'étoiles élevé.

9.7

La plupart des galaxies ont un trou noir supermassif en leur centre

Une galaxie typique contient environ 100 millions de trous noirs de masse stellaire. Ces types de trous noirs se forment lorsqu'une étoile massive termine sa vie dans une explosion en supernova. Les trous noirs supermassifs se trouvent au centre de la plupart des galaxies et sont le plus grand type de trou noir, avec des masses comprises entre quelques millions et plus d'un milliard de masses solaires. Notre Voie lactée a un trou noir supermassif en son centre avec une masse d'environ quatre millions de masses solaires. La première image directe de la silhouette de l'horizon des événements d'un trou noir, au centre de l'immense galaxie elliptique M87, a été réalisée en 2019 en combinant les données de huit radiotélescopes à travers le monde.



9.8

Les galaxies peuvent être extrêmement éloignées les unes des autres

Le voisin le plus proche de la Voie lactée est la galaxie Canis Major Dwarf, à une distance d'environ 25 000 années lumineuses. Les galaxies lointaines nous paraissent très faibles et sont donc difficiles à observer. Afin d'obtenir des images de galaxies lointaines, il est nécessaire d'employer de grands télescopes avec un pouvoir de résolution élevé et de prendre de longues expositions pour recueillir suffisamment de lumière de ces objets.

9.9

Les galaxies forment des amas

Les galaxies ne sont pas dispersées au hasard dans tout l'univers. Au contraire, la galaxie moyenne fait partie d'un amas de galaxies. Ces amas se composent de centaines, voire de milliers de galaxies liées entre elles par leur attraction gravitationnelle mutuelle. Les amas de galaxies eux-mêmes sont également regroupés dans des structures plus grandes appelées superamas. La Voie lactée fait partie de ce qu'on appelle notre groupe local de galaxies, qui comprend plus de 54 galaxies. Le groupe local est un membre éloigné du cluster de la Vierge, qui fait partie du superamas de la Vierge, qui fait à son tour partie du superamas de Laniakea.

9.10

Les galaxies interagissent les unes avec les autres par gravité

Les interactions entre les galaxies influencent leur apparence et leur évolution. Dans le passé, on croyait qu'un type de galaxie pouvait évoluer vers un type différent tout au long de sa vie, mais les connaissances scientifiques actuelles montrent que les interactions gravitationnelles sont à l'origine de certains types de galaxies. Par exemple, des galaxies elliptiques peuvent être créées par des fusions entre de grandes galaxies prédécesseurs, et en même temps, ces événements peuvent déclencher une flambée intense de formation d'étoiles dans les galaxies en interaction.

Image composite couleur du Centaure A, révélant les lobes et les jets émanant du trou noir central de la galaxie active.

Crédits: ESO / WFI (optique); MPIFR / ESO / APEX / A.Weiss et al. (Submillimètre); NASA / CXC / CfA / R.Kraft et al. (Radiographie)





10

*Nous ne sommes peut-être pas
seuls dans l'univers*



*Une photo faite par la sonde
Cassini, montrant la Terre
et la Lune, vue de Saturne à
près d'un milliard et demi de
kilomètres.*

*Crédits: NASA / JPL-Caltech /
Space Science Institute*



10.1

Des molécules organiques ont été détectées en dehors de la Terre

Les molécules organiques contiennent du carbone, qui est un élément de base de la vie telle que nous la connaissons. Les observations du Milieu Interstellaire montrent que des molécules organiques, telles que des précurseurs d'acides aminés simples, sont présentes dans l'espace. Des molécules organiques, incluant un acide aminé, ont également été trouvées dans les comètes et les météorites. Il est très probable que de telles molécules étaient déjà présentes dans le gaz et la poussière à partir desquels notre Système Solaire s'est formé.

10.2

On a découvert que les organismes vivants survivent dans des environnements extrêmes sur Terre

Alors que la plupart des organismes vivants sur Terre est sensible aux conditions environnementales, certains organismes, les extrémophiles, ont survécu dans des conditions extrêmes, ce qui montre que la vie peut exister là où on s'y attend le moins. Ces organismes peuvent être très résistants à une large gamme de températures, pressions, pH et exposition aux rayonnements. Certains d'entre eux vivent dans des endroits tels que les déserts, les pôles, au fond de l'océan, sans la croute ou même dans les volcans. L'un des organismes les plus résistants connus peut survivre dans des conditions de vide. Ces faits sont des motifs prudents d'optimisme en ce qui concerne la possibilité de vie sur d'autres planètes ou lunes, qui présentent souvent des conditions environnementales relativement difficiles.

10.3

Des traces potentielles d'eau liquide ouvrent la possibilité d'une vie primitive sur Mars

L'eau liquide est un facteur clé pour le développement de la vie telle que nous la connaissons. Pour cette raison, la recherche d'eau liquide sur d'autres planètes et leurs lunes a été un objectif important dans la recherche de la vie extraterrestre. Au fil des ans, des traces potentielles d'eau liquide ont été découvertes à la surface de Mars, ajoutant au débat de longue date sur son existence sur cette planète. Bien que les preuves de la présence actuelle d'eau liquide sur Mars soient fortement débattues, des traces potentielles soutiennent l'idée que des formes de vie simples peuvent avoir existé. S'il y a actuellement de l'eau liquide profondément sous la surface de Mars, il y a un potentiel pour que la vie existe.

10.4

Certains satellites naturels du Système Solaire semblent avoir les conditions pour l'existence de vie

Parmi les nombreuses lunes en orbite autour des planètes géantes du Système Solaire, certaines partagent des caractéristiques avec les planètes terrestres, telles qu'atmosphères denses et activité volcanique. Europa, l'une des plus grandes lunes de Jupiter, a une surface gelée qui pourrait recouvrir un océan liquide. Les scientifiques pensent que cet océan pourrait fournir les bonnes conditions pour que des formes de vie simples existent. Un autre candidat pour accueillir la vie simple est Titan. La plus grande lune de Saturne. Titan est riche en composés organiques complexes, a une atmosphère dense, du méthane liquide à la surface et on a lancé l'hypothèse de la présence d'un océan d'eau souterraine.

10.5

Il existe de nombreuses planètes appelées exoplanètes, qui gravitent autour d'étoiles autres que le Soleil

Depuis la découverte de la première planète en orbite autour d'une autre étoile, des milliers de planètes en orbite autour d'étoiles autres que le Soleil, appelées exoplanètes, ont été détectées. Le nombre d'exoplanètes découvertes continue d'augmenter à un rythme accéléré, et nous sommes maintenant en mesure de caractériser la population d'exoplanètes dans le voisinage solaire.

10.6

Les exoplanètes peuvent être très diverses et se trouvent souvent dans des systèmes

Les exoplanètes présentent un large éventail de propriétés physiques et orbitales. Avec des masses allant de celle de Mercure à plusieurs fois celle de Jupiter, les exoplanètes peuvent avoir un rayon de plusieurs centaines de kilomètres à plusieurs fois le rayon de Jupiter. Les périodes orbitales des exoplanètes peuvent être aussi courtes que quelques heures, et leurs excentricités peuvent être aussi élevées que celles d'une comète du Système Solaire. La plupart des exoplanètes se trouvent généralement dans des systèmes composés de plusieurs planètes en orbite autour de la même étoile.

10.7

Nous sommes maintenant proches de la détection d'une planète semblable à la Terre

En poussant la précision des méthodes de détection, nous sommes maintenant en mesure de trouver des planètes avec une masse aussi faible qu'une masse terrestre et une taille d'environ 1 rayon terrestre. Nos recherches jusqu'à présent, aussi limitées soient-elles, ont montré que le voisinage Solaire regorge de planètes. Certaines de ces planètes orbitent même à l'intérieur de la zone dite habitable autour de l'étoile hôte. Selon la définition, une planète en orbite à l'intérieur de la zone habitable reçoit juste la bonne quantité de rayonnement de son étoile pour permettre l'existence d'eau liquide à sa surface.

10.8

Les scientifiques recherchent l'intelligence extraterrestre

Une façon de rechercher des civilisations extraterrestres consiste à rechercher des signaux qui ne pourraient être produits naturellement par aucun phénomène astronomique connu. La recherche systématique de tels signaux est connue sous le nom de Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI). Jusqu'à présent, aucun signal de ce type n'a été trouvé, mais les antennes SETI continuent de balayer le ciel, à la recherche de tout indice de vie avancée au-delà de la Terre

11

*Nous devons préserver la Terre,
notre seule maison dans l'Univers*

*Vue nocturne de la Terre
depuis la Station Spatiale
Internationale où il est
possible de voir des lumières
artificielles de Corée du Sud et
du Japon.*

Crédits: NASA



11.1

La pollution lumineuse affecte les humains, de nombreux autres animaux et les plantes

Pendant des millions d'années, la vie sur Terre s'est développée en l'absence de lumière artificielle, avec la majeure partie des espèces s'adaptant aux activités diurnes ou nocturnes. Depuis l'invention de l'électricité, les humains ont de plus en plus réduit l'obscurité nocturne avec des lumières artificielles, provoquant de graves problèmes de pollution lumineuse, qui ont des implications pour l'environnement de la Terre, sur le comportement des animaux et la santé humaine. La majorité des populations animales dépendent des cycles diurnes et nocturnes. De la physiologie et de la reproduction à l'orientation et à la prédation, la lumière artificielle peut perturber les populations d'animaux sauvages à travers le monde. Nous perdons également le ciel noir dont nos ancêtres ont profité. Dans de nombreux environnements urbains et suburbains, la Voie lactée est désormais pratiquement impossible à voir la nuit.

11.2

Il y a beaucoup de débris d'origine humaine orbitant la Terre

Avec le développement de la technologie spatiale, l'humanité a pu envoyer de nombreux objets dans l'espace à l'aide de fusées. Depuis le début de l'ère de l'exploration spatiale, la quantité de débris d'origine humaine dans l'espace, tels que des morceaux de fusées ou de vieux satellites, a considérablement augmenté. Il y a actuellement environ 500 000 morceaux de débris, également connus sous le nom de débris spatiaux, en orbite autour de la Terre. Comme les déchets spatiaux voyagent à grande vitesse, toute collision avec un vaisseau spatial ou un satellite peut causer de graves dommages. Cela est particulièrement risqué pour la Station Spatiale Internationale et d'autres vaisseaux spatiaux avec équipage. La surveillance des débris spatiaux et le développement de technologies de collecte de satellites et de débris constituent un domaine actif de recherche et développement.

11.3

Nous surveillons les objets spatiaux potentiellement dangereux

Au cours des premières étapes de la formation du Système Solaire, les planètes nouvellement formées étaient fréquemment frappées par des corps plus petits comme des astéroïdes. Certains cratères à la surface de la Terre et tous ceux observés sur la Lune sont des preuves directes que ces impacts peuvent être très dangereux. Bien que ce soit toujours un sujet de recherche et de débat, on pense que l'extinction des dinosaures incapables de voler et d'un grand nombre d'autres espèces pourrait être due à un grand impact d'astéroïdes sur la Terre, il y a environ 65 millions d'années. Bien que la probabilité d'un impact de cette ampleur soit très faible de nos jours, il est important de surveiller tous les objets célestes qui peuvent devenir une menace potentielle pour la vie sur Terre. Dans les prochaines années, les programmes de surveillance des agences spatiales, des observatoires et d'autres institutions devraient être en mesure d'identifier tous les astéroïdes potentiellement dangereux d'un kilomètre ou plus. Aucun des astéroïdes connus n'est actuellement sur une trajectoire de collision avec la Terre.

11.4

Les humains ont un impact significatif sur l'environnement terrestre

L'industrialisation a apporté à la société de nombreux avantages, mais a également causé plusieurs problèmes environnementaux sur Terre. Par la déforestation et la pollution des rivières, des océans et de l'atmosphère, nous endommageons les sources vitales d'air pur, de nourriture et d'eau qui sont nécessaires à la vie sur Terre. L'humanité a provoqué l'extinction de nombreuses espèces et continue de chercher des minéraux et des ressources énergétiques dans des environnements menacés. Le changement climatique induit par l'homme (réchauffement planétaire) affecte notre environnement à grande échelle, nous plaçant ainsi que de nombreuses espèces en péril.

11.5

Le climat et l'atmosphère sont fortement affectés par l'activité humaine

Sans son atmosphère, notre planète serait un monde glacé avec une température moyenne de -18°C . Cependant, les gaz à effet de serre de l'atmosphère absorbent partiellement le rayonnement thermique émanant du sol et le renvoient vers la surface de la Terre, ce qui rend la Terre habitable. L'activité humaine a considérablement augmenté les niveaux des principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre, créant un déséquilibre dans le bilan énergétique de la Terre. L'augmentation de ces gaz entraîne le piégeage de plus d'énergie sur Terre, créant des températures moyennes plus élevées. La Terre est incapable de dissiper l'excès d'énergie via ses systèmes naturels, modifiant ainsi les schémas climatiques mondiaux, qui sont sensibles aux déséquilibres énergétiques.

11.6

Une perspective globale est nécessaire pour préserver notre planète

Chaque personne est un habitant de cette planète. Les concepts d'intendance et de responsabilité mondiales peuvent nous aider à comprendre que chacun peut agir, en tant que membre d'un groupe ou individuellement, pour aider à résoudre des problèmes mondiaux. Il est nécessaire de conserver la Terre pour nos descendants. À l'heure actuelle, la Terre est la seule planète de l'Univers, dont nous savons avec certitude qu'elle peut soutenir la vie.

11.7

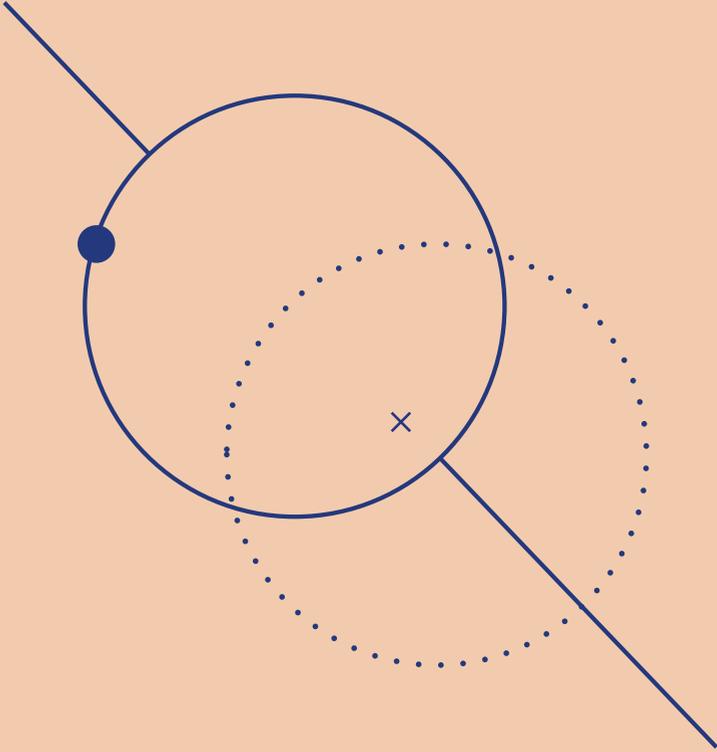
L'astronomie nous offre une perspective cosmologique unique qui renforce notre unité en tant que citoyens de la Terre

Tous les êtres humains sur Terre vivent sous un même ciel et partagent la vue des profondeurs du Cosmos. Des images de l'espace montrant le «marbre bleu» de la planète Terre nous ont permis de comprendre de manière plus profonde notre vaisseau spatial commun. Vu de l'extérieur, les frontières entre les différents pays disparaissent complètement. Des images de vaisseaux spatiaux comme Voyager 2 et Cassini nous aident à réaliser que le «point bleu pâle» n'est qu'une tache dans l'immensité de l'Univers.

x

x

x



x

x

x

x

x



Universiteit
Leiden
The Netherlands

