

L'exploration spatiale et l'étude des étoiles, des nébuleuses et des galaxies hors de notre système solaire

Toutes les personnes qui s'intéressent à l'Univers vivent une époque extraordinaire. On n'a jamais fait autant de découvertes depuis l'invention de la lunette astronomique et du télescope. Par exemple, grâce au télescope Hubble, on obtient une abondance d'information nouvelle, dont cette photographie de certaines des plus anciennes galaxies jamais observées. Le télescope spatial Hubble a été lancé en avril 1990 à partir de la navette spatiale *Discovery*. Sa mission doit durer 20 ans. La taille de Hubble est comparable à celle d'un gros autobus scolaire. Pourtant, il transmet chaque semaine vers la Terre plus de 400 gigaoctets de données. Il faudrait une étagère de plus de 1 km de long pour stocker toutes ces données dans des livres.

Dans ce chapitre, tu étudieras quand et comment les scientifiques pensent que l'Univers s'est formé et les preuves sur lesquelles ils se basent. Tu étudieras aussi les galaxies qui contiennent des centaines de milliards d'étoiles.

Mon organisateur graphique*

Habilités en lecture et en écriture

Ce que tu apprendras

À la fin de ce chapitre, tu pourras :

- **décrire** la théorie du *big-bang* sur la formation de l'Univers ;
- **nommer** les caractéristiques d'un Univers en expansion ;
- **décrire** les principaux éléments qui composent l'Univers ;
- **analyser** les conséquences possibles et les problèmes éthiques liés à l'exploration spatiale et aux voyages dans l'espace.

Pourquoi est-ce important ?

De meilleures connaissances sur l'âge et la formation de l'Univers nous permettent de mieux comprendre l'origine de tout ce qui nous entoure. Les progrès technologiques nous permettent de voir plus loin dans l'Univers. Ultiment, ils nous permettront d'y voyager nous-mêmes.

Les compétences que tu utiliseras

Dans ce chapitre, tu devras :

- **modéliser** l'expansion de l'Univers et ses conséquences sur le mouvement des galaxies ;
- **étudier** les propriétés de certaines étoiles visibles de la Terre ;
- **observer** les distances entre les étoiles et les galaxies ;
- **prendre** conscience des problèmes éthiques liés à l'exploration spatiale.

Prépare ton aide-mémoire repliable pour prendre des notes sur ce que tu apprendras dans le chapitre 12.

ÉTAPE 1 Plie une feuille de papier en trois dans le sens de la largeur pour former trois colonnes égales.



ÉTAPE 2 Plie ensuite 2 cm d'un des côtés les plus longs de la feuille et **inscris** les titres de sections tel qu'illustré ci-dessous.

Les origines de l'Univers	Les origines du système solaire	Les étoiles, les trous noirs et les galaxies

ÉTAPE 3 Note ce que tu apprends sur chaque sujet dans les colonnes appropriées.

ÉTAPE 4 Au verso, **inscris** les titres de sections tel qu'illustré ci-dessous. **Note** ce que tu apprends sur la technologie spatiale et les avantages et les inconvénients de l'exploration spatiale.

La technologie spatiale	Avantages de l'exploration spatiale	Inconvénients de l'exploration spatiale

Lis et écris Pendant la lecture de ce chapitre, prends des notes pour montrer, sous les onglets appropriés, ce que tu as appris sur l'Univers et l'exploration spatiale.

* Tiré et adapté de *Dinah Zike's Teaching Mathematics with Foldables*, Glencoe/McGraw-Hill, 2003.

12.1 Les origines de l'Univers

Notions scientifiques de la section

- Selon la théorie du big-bang, l'Univers se serait formé il y a environ 13,7 milliards d'années au cours de l'expansion d'une rapidité inimaginable d'un minuscule volume d'espace.
- Dans les années 1920, l'astronome Edwin Hubble a étudié le mouvement des galaxies et découvert qu'elles s'éloignaient toutes les unes des autres.
- Les galaxies sont maintenant tellement éloignées dans l'Univers que la lumière de certaines galaxies a besoin de millions d'années pour parvenir jusqu'à la Terre.
- Quand notre Soleil s'est formé, la poussière et les gaz autour de son noyau se sont agglutinés et ont formé les planètes et les autres objets de notre système solaire.

Mots clés

année-lumière
axe
décalage cosmologique
 vers le rouge
galaxie
nébuleuse
parallaxe
planétésimal
raie spectrale
rayonnement
 électromagnétique
révolution
rotation
spectroscope
théorie de l'oscillation
théorie du big-bang
triangulation

Si tu avais étudié l'astronomie il y a 100 ans, tu aurais sans doute appris que ce qui se trouve dans l'espace ne change jamais. Les astronomes étaient arrivés à cette conclusion à partir des observations réalisées avec les meilleurs instruments scientifiques à cette époque.

Les théories scientifiques évoluent et sont remises en question par de nouvelles découvertes. De 1918 à 1929, de nouveaux corps célestes ont été découverts et ont pu être observés avec précision grâce à la mise au point de télescopes beaucoup plus puissants.

L'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) a été un des pionniers de cette phase de l'exploration spatiale. Il a été le premier à confirmer de façon irrévocable la présence d'autres galaxies que la Voie lactée. Une **galaxie** est un ensemble d'étoiles, de planètes, de gaz et de poussière retenus ensemble par la gravité. Le Soleil et ses planètes font partie de la Voie lactée, notre galaxie. En 1929, Hubble avait estimé la distance entre la Terre et 46 galaxies. Il a alors fait une découverte étonnante. Toutes les galaxies qu'il observait se déplaçaient en s'éloignant les unes des autres (voir la figure 12.1). De plus, la vitesse à laquelle elles s'éloignaient dépendaient de la distance qui les séparait. Par exemple, la

galaxie A, qui est deux fois plus loin de la Terre que la galaxie B, s'éloignait deux fois plus vite que la galaxie B. Hubble a alors estimé les trajectoires que les galaxies avaient probablement suivies. Fait étonnant, elles semblaient toutes issues d'une même région de l'espace.

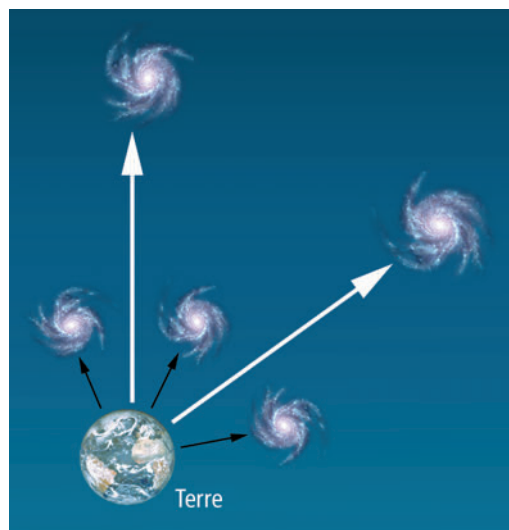


Figure 12.1 Edwin Hubble a découvert que les galaxies plus éloignées de notre Voie lactée s'éloignaient plus vite les unes des autres que les galaxies plus proches. Les flèches sur le schéma représentent la vitesse relative (valeur et direction) de chaque galaxie.

L'hypothèse de Hubble

À partir de ces observations, Hubble a émis l'hypothèse que l'Univers est en constante expansion, dans toutes les directions. Il a aussi avancé que toutes les galaxies ont, à partir de leur point d'origine, mis le même temps pour atteindre leur position actuelle. Pour te représenter ce qui s'est produit, imagine un pain aux raisins en train de cuire au four (voir la figure 12.2). La pâte représente l'Univers et les raisins, les galaxies. Lorsque la pâte (l'Univers) gonfle pendant la cuisson, la distance entre tous les raisins (les galaxies) augmente.

L'analyse du décalage vers le rouge

Comment Edwin Hubble a-t-il découvert que non seulement les galaxies s'éloignent de la Terre, mais aussi que leur vitesse est proportionnelle à leur distance? Il a analysé le «décalage vers le rouge», c'est-à-dire des raies spectrales. Pour comprendre ce concept, tu dois d'abord étudier les ondes électromagnétiques et les bandes du spectre.

Le **rayonnement électromagnétique** est de l'énergie transportée ou rayonnée sous forme d'ondes. Le rayonnement électromagnétique comprend entre autres la lumière visible, les micro-ondes, les ondes radioélectriques et les rayons X. Tous ces rayonnements se reconnaissent à leur longueur d'onde, comme indiqué à la figure 12.3. Beaucoup d'objets dans l'espace émettent de l'énergie sous diverses formes. Par exemple, les étoiles et les galaxies émettent des ondes lumineuses, des ondes radioélectriques et des rayons X.

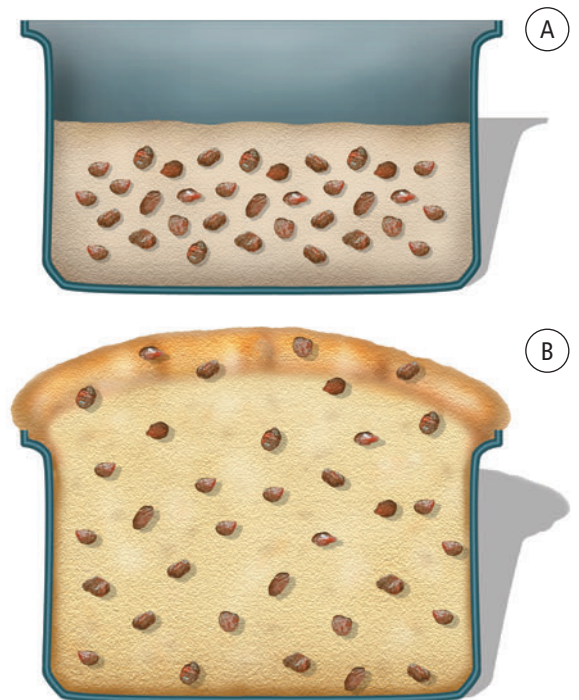


Figure 12.2 Les raisins dans la pâte à pain (A) s'éloignent les uns des autres pendant la cuisson (B). Les galaxies s'éloignent les unes des autres de la même manière au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers.

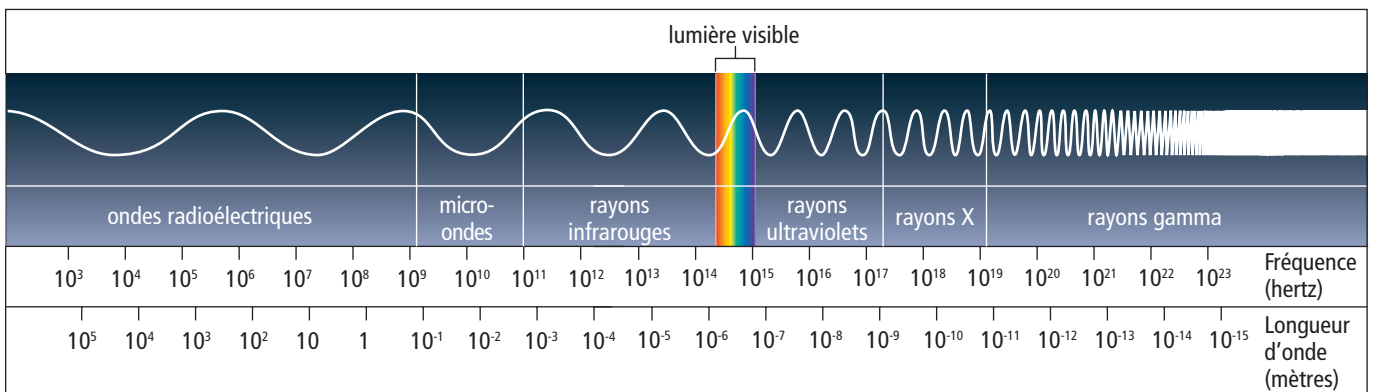


Figure 12.3 La lumière visible ne représente qu'une petite partie du spectre électromagnétique, car les ondes électromagnétiques sont très variées. On pense aux rayons gamma, très énergétiques, aux longueurs d'onde courtes, aux ondes radioélectriques, peu énergétiques, et aux grandes longueurs d'onde.

Lorsque la lumière blanche traverse un prisme, elle se divise en différentes couleurs, comme celles de l'arc-en-ciel. Cette série de couleurs est appelé un spectre. Chaque couleur du spectre correspond à des longueurs d'onde différentes. Le **spectroscope** est un instrument optique qui agit comme un prisme et divise la lumière en ses couleurs de base. Grâce à cet appareil, les astronomes peuvent observer le spectre de la lumière d'une étoile.

Sur la bande de couleur du spectre d'une étoile, on peut distinguer une série de fines lignes : ce sont les **raies spectrales** (voir la figure 12.4). Il existe deux types de raies spectrales : celles qui indiquent une émission et celles qui indiquent une absorption. Sur le spectre d'émission, les raies spectrales d'une étoile ou d'un gaz chauffé forment une séquence de fines lignes brillantes sur un fond noir. Sur un spectre d'absorption, le rayonnement de lumière d'une étoile traverse un gaz. Les raies spectrales forment alors une séquence de lignes sombres sur la bande continue du spectre. Les deux types de raies indiquent le type d'atomes qui émet un rayonnement. Les astronomes peuvent utiliser l'un ou l'autre des types pour déterminer les éléments contenus dans une étoile.

Le savais-tu ?

Le spectre d'un gaz chauffé, tel que celui d'une étoile, indique des raies d'émission.



Le spectre d'un corps chauffé traversant un gaz moins dense indique des raies d'absorption.

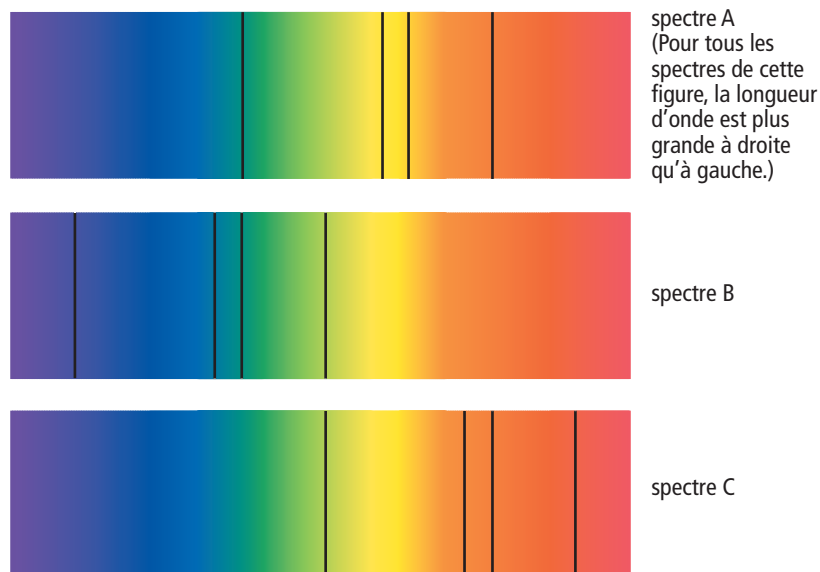


Figure 12.4 Le spectre A est le spectre d'absorption de raies d'une étoile ou d'une galaxie immobile. Le spectre B montre un spectre d'absorption décalé vers le bleu. Il indique que l'étoile ou la galaxie se rapproche de la Terre. Le spectre C montre un spectre d'absorption décalé vers le rouge. Il indique que l'étoile ou la galaxie s'éloigne de la Terre.

Le décalage cosmologique vers le rouge

La lumière émise par une galaxie éloignée parcourt une très longue distance avant d'atteindre les télescopes terrestres. Edwin Hubble a remarqué que les raies spectrales de la lumière émise par les galaxies qu'il étudiait étaient décalées distinctement vers l'extrémité rouge du spectre. Ce changement se produit parce que la longueur d'onde de la lumière augmente (voir la figure 12.5). Le décalage vers le rouge indique qu'un objet s'éloigne de nous. C'est ce qui arrive aux galaxies. Après avoir observé le même phénomène pour beaucoup de galaxies lointaines, les astronomes ont supposé que l'espace était lui-même en expansion. Ainsi, la longueur d'onde de la lumière s'étire (s'allonge) progressivement quand la lumière traverse un Univers en expansion. Les astronomes ont appelé ce phénomène le **décalage cosmologique vers le rouge**. Cette découverte est la principale preuve d'une théorie qui explique la formation de l'Univers : la théorie du big-bang.

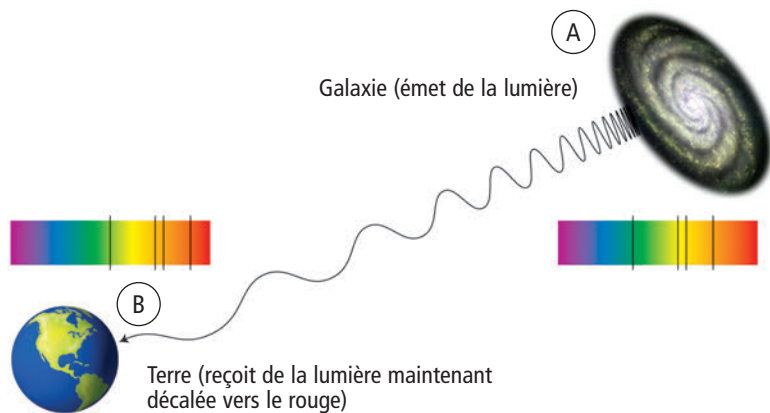


Figure 12.5 Comme l'espace est en expansion, la longueur de la lumière provenant des galaxies lointaines augmente. Quand une galaxie a émis ses premières ondes électromagnétiques, il y a très longtemps, elles n'étaient pas décalées vers le rouge (A). C'est l'expansion de l'espace qui provoque l'étirement des ondes et le décalage vers le rouge (B).

La théorie du big-bang

Les observations de Hubble sur les galaxies qui s'éloignent les unes des autres ont convaincu d'autres astronomes de reconstruire le mouvement de ces galaxies en sens inverse. Imagine ainsi que tu regardes une vidéo d'un marathon en sens inverse. Tu verrais au début les coureurs arrivant dispersés vers la ligne d'arrivée, puis ils se déplaceraient vers la ligne de départ en reformant progressivement le groupe compact de départ. Les astronomes font un peu la même chose à l'aide de superordinateurs, des mathématiques et de la logique afin d'étudier comment et quand ces galaxies auraient pu être au même endroit au même instant.

Les recherches sur la formation de l'Univers ont commencé depuis plus de 80 ans. Aujourd'hui, la théorie la plus couramment acceptée est que l'Univers s'est formé il y a environ 13,7 milliards d'années. On croit qu'un volume incroyablement petit d'espace aurait soudainement et rapidement grossi et atteint une taille gigantesque. Toute la matière et l'énergie de l'Univers ont été ainsi formées en un très bref instant. Cet événement cataclysmique est connu sous le nom de **théorie du big-bang**. Il a été décrit pour la première fois en 1927 par le physicien et prêtre belge Georges Lemaître. La température au moment du big-bang aurait été de plus de 1 milliard de degrés Celsius, mais l'Univers s'est refroidi depuis. Si le big-bang s'est effectivement produit, nous devrions trouver des traces de cette énergie thermique provenant de l'explosion initiale.

La théorie de l'oscillation

Selon une théorie, l'Univers sera éternellement en expansion et forme ce que les astronomes appellent un univers ouvert. Selon une autre théorie, appelée **théorie de l'oscillation**, l'Univers est fermé et contiendrait suffisamment de matière pour que la force gravitationnelle ralentisse et finalement arrête, voire même inverse cette expansion. Toute la matière se rassemblerait ultimement lors du « *big-crunch* ». La théorie de l'oscillation estime que l'Univers connaîtrait alors une succession de cycles de big-bang suivis de big-crunch. Avec les développements d'outils technologiques toujours plus puissants, les chercheurs pourront obtenir des preuves supplémentaires en faveur de l'un des modèles. Pour le moment, les scientifiques préfèrent la théorie d'un seul big-bang. En effet, selon nos connaissances actuelles, l'Univers est non seulement en expansion mais en plus sa vitesse d'expansion augmente avec le temps.

Le savais-tu ?

Georges Lemaître (1894-1966) a été le premier à proposer la théorie que l'Univers s'est formé lors d'une seule expansion spectaculaire. Les autres scientifiques ont d'abord trouvé cette idée ridicule. Un astronome britannique, Fred Hoyle, s'est moqué de la théorie de Lemaître et l'a nommée « théorie du big-bang ». Le nom et la théorie sont néanmoins restés.

Le savais-tu ?

Quand Arno Penzias et Robert Wilson ont détecté pour la première fois des ondes électromagnétiques étranges dans l'espace, ils n'ont pas compris l'importance de leur découverte. Au début, ils tentaient d'expliquer ces données inattendues en les attribuant, entre autres, à du matériel défectueux ou même à des déjections de pigeons sur les antennes.

Lien terminologique

La « cosmologie » est l'étude de l'Univers. Ce terme est dérivé du mot grec *kosmos*, qui signifie « bon ordre ». D'après les historiens, le mathématicien grec Pythagore est le premier à l'avoir utilisé à propos de l'Univers.

Le rayonnement cosmologique

Près de 35 ans après la présentation de la théorie de Lemaître, deux physiciens américains, Arno Penzias et Robert Wilson, ont découvert l'une des plus importantes preuves en faveur de la théorie du big-bang. En 1963, ces deux scientifiques étudiaient les rayonnements à micro-ondes dans l'espace. Ils étaient étonnés de capter un « bruit de fond », une sorte d'interférence. Ils ont d'abord pensé que leur antenne ou d'autres appareils étaient défectueux et ont effectué des ajustements.

Cependant, quoi qu'ils fassent et quelle que soit la direction de leur antenne, ils captaient toujours cette interférence. Finalement, ils ont conclu qu'ils avaient détecté un « rayonnement cosmologique ».

Selon la plupart des scientifiques actuels, il s'agirait du rayonnement laissé par l'expansion du big-bang. Car au tout début de l'Univers, la formation des particules de gaz aurait produit de la chaleur sous forme de micro-ondes.

Pour vérifier cette hypothèse, les astronomes ont calculé la quantité de lumière que l'expansion du big-bang aurait dû laisser. Leurs observations et quelques éléments probants semblent appuyer cette hypothèse.

D'autres preuves scientifiques

Les données recueillies par le satellite COBE (*Cosmic Background Explorer*), conçu pour étudier le rayonnement cosmologique, constituent aujourd'hui l'une des preuves les plus sérieuses en faveur de la théorie du big-bang. Le satellite COBE a été lancé en 1989 par la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Il aura fallu quatre ans à une équipe de scientifiques pour cartographier le rayonnement cosmologique à partir de ces données. Certains astronomes ont décrit cette carte comme une photo de l'Univers « très jeune ». En effet, elle montrait ce à quoi l'Univers devait probablement ressembler peu après sa formation (voir la figure 12.6). Les zones rouges indiquent les périodes de températures légèrement plus chaudes qui auraient été atteintes lors de l'expansion rapide juste après le big-bang. Les zones bleues représentent les périodes de températures plus froides qui seraient survenues au début du refroidissement de l'Univers.

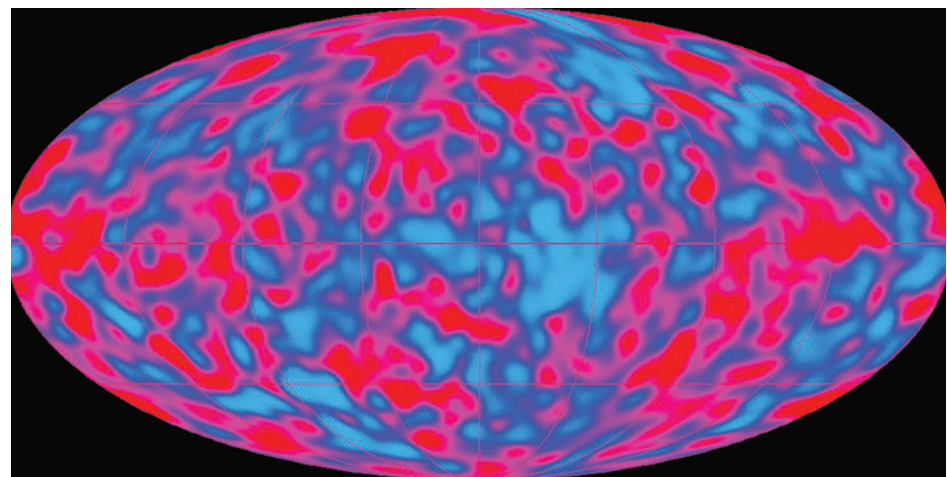


Figure 12.6 La carte COBE du rayonnement cosmologique dans l'Univers. Selon les scientifiques, ce rayonnement a été laissé par l'expansion du big-bang.

En 2001, la NASA a lancé une autre mission pour obtenir plus de données sur le rayonnement cosmologique. Grâce à la sonde spatiale WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), les scientifiques disposent de mesures beaucoup plus précises qu'avant. Le rayonnement à micro-ondes mesuré par la sonde est représenté sur la carte montrée à la figure 12.7. Le bleu indique les régions qui étaient un peu plus denses au début de la formation de l'Univers. Beaucoup de scientifiques pensent que les galaxies se sont formées dans ces régions sous l'effet de la force gravitationnelle. Le rouge indique les régions moins denses. Elles se sont vidées progressivement au fur et à mesure de l'expansion de l'Univers. Les données de WMAP ont finalement confirmé celles recueillies par le satellite COBE. Grâce à elles, les scientifiques comprennent désormais mieux les premiers instants de l'Univers.

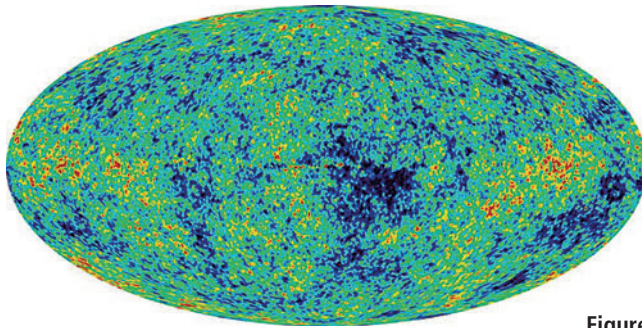


Figure 12.7 La carte WMAP des micro-ondes dans l'Univers

Approfondissement

La température moyenne de l'Univers se situe environ à -270°C , soit 3° au-dessus du zéro absolu. On pense que cette température, plus élevée que prévu, est attribuable à la chaleur laissée après la formation de l'Univers. Ce phénomène porte aussi le nom de « rayonnement fossile ». Pour en apprendre plus sur ce sujet, commence ta recherche dans Internet à partir des mots clés suivants : **Univers, rayonnement fossile et température.**

Vérifie ta lecture

1. Qu'avait remarqué Edwin Hubble sur le mouvement des galaxies dans l'espace ?
2. Nomme deux grands concepts liés à l'hypothèse de Hubble.
3. a) Qu'est-ce qu'un spectre ?
b) Que nous indique le décalage des raies spectrales d'une galaxie vers l'extrémité rouge du spectre ?
4. Explique ce qu'est la théorie de l'oscillation.
5. Quels événements sont à l'origine du rayonnement cosmologique ? Explique ta réponse.

Les origines de notre système solaire

Entre les étoiles d'une galaxie se trouvent des nuages d'hydrogène gazeux et de poussière appelés **nébuleuses**. Si la matière dans ces nuages se concentre en un point, une étoile peut se former. Notre Soleil et notre système solaire se sont probablement formés ainsi. Bien qu'il existe une théorie affirmant que notre Soleil et les planètes sont issus de collisions entre des étoiles (la théorie de la collision stellaire), les scientifiques

pensent qu'il est plus probable que le Soleil et les planètes proviennent de la condensation d'une grande nébuleuse. Ainsi, la force gravitationnelle aurait rassemblé la matière (voir la figure 12.8). Cette hypothèse, dite « de la nébuleuse solaire », concorde avec les observations d'autres systèmes d'étoiles. Il est aussi possible que l'explosion d'une étoile proche ait provoqué une onde de choc qui aurait amorcé la condensation de la nébuleuse.



Figure 12.8 La grande nébuleuse d'Orion est un exemple de région où se forment de nouvelles étoiles et de nouveaux systèmes solaires.

Lorsqu'une étoile se forme dans une nébuleuse, son noyau très chaud reste entouré de gaz et de poussière qui n'ont pas été attirés au centre. Cette matière se disperse parfois dans l'espace. Cependant, elle peut aussi rester dans la nébuleuse. Ce nuage de matière finit par s'amasser à cause de la gravité. Puis, il se met à tourner sur lui-même à mesure qu'il forme un amas (voir la figure 12.9 A). Les particules de gaz et de poussière se rassemblent alors au centre du nuage en rotation, un peu comme en patinage artistique quand on tourne de plus en plus vite en repliant les bras. Ce nuage circulaire est appelé « disque protoplanétaire ». Dans le nuage en rotation, les petites particules s'agglomèrent et en forment de plus grosses. On appelle **planétésimal** un de ces morceaux de roche (voir la figure 12.9 B). Si les planétésimaux survivent aux collisions entre eux, ils peuvent continuer de grossir et devenir éventuellement de véritables planètes (voir la figure 12.9 C).

Notre système solaire s'est formé il y a plus de 4,5 milliards d'années. Quand le Soleil est devenu une étoile active, la matière résiduelle s'est agglomérée pour former huit planètes et de nombreux autres corps célestes comme des lunes, des astéroïdes et des comètes. Toutes les planètes ne se sont pas formées en même temps, ni de la même manière. Au cours des 100 premiers millions d'années, les matériaux les plus proches du Soleil ont formé Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Ce sont les planètes telluriques. Elles sont relativement petites et ont un noyau solide et une croûte rocheuse. Fait à souligner, il fait trop chaud près du Soleil pour que des éléments plus légers, par exemple l'hydrogène et l'hélium, forment des planètes. Plus loin du Soleil, où il fait plus froid, de vastes amas de gaz, de glace et de poussière ont ainsi formé les planètes géantes gazeuses. Ce sont Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Ces planètes sont connues pour leurs grandes bandes gazeuses et leur température très froide.

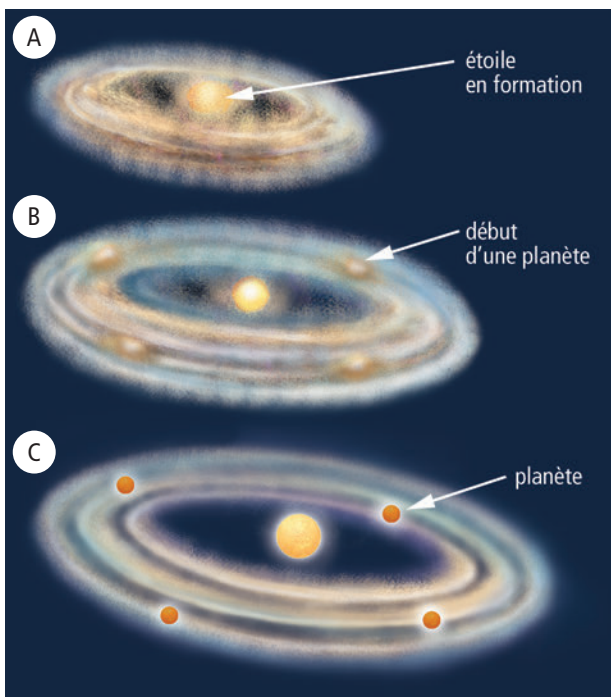


Figure 12.9 Ce modèle de formation des planètes est appelé l'« hypothèse des protoplanètes ».

Chaque galaxie tourne comme un énorme tourbillon autour de son noyau central. La Voie lactée est ainsi en rotation. À l'intérieur de cette galaxie, notre système solaire est aussi en rotation à une vitesse d'environ 250 km/s. Dans le système solaire, les planètes sont aussi en mouvement. Elles tournent comme des toupies tout en étant en orbite autour du Soleil. La Terre tourne sur son **axe** (une ligne imaginaire allant du pôle Nord au pôle Sud) à une vitesse de 1670 km/h ou 0,5 km/s. Ce mouvement est appelé **rotation**. En même temps, la Terre tourne autour du Soleil à une vitesse de 30 km/s. Ce mouvement est appelé **révolution**. Les trajectoires de la Terre et des autres planètes autour du Soleil sont elliptiques, c'est-à-dire en forme de cercle légèrement aplati.

La rotation des étoiles dans la Voie lactée modifie l'apparence des constellations vues depuis la Terre. La disposition apparente des étoiles ne change pas toutes les nuits, ni même tous les ans, mais elle change sur de très longues périodes. L'analyse du décalage vers le rouge d'une étoile permet aux scientifiques d'estimer la vitesse et la direction de son mouvement. Par exemple, selon leurs estimations, l'astérisme du Grand Chariot aura une forme différente dans 50 000 ans (voir la figure 12.10).



Lien Internet

Dans la constellation du Scorpion, la tête du scorpion est formée par un groupe de trois étoiles. En 2000, l'étoile au centre de ce groupe est soudainement devenue plus brillante. Pour en savoir plus sur d'autres changements survenus dans d'autres constellations, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

www.cheneliere.ca

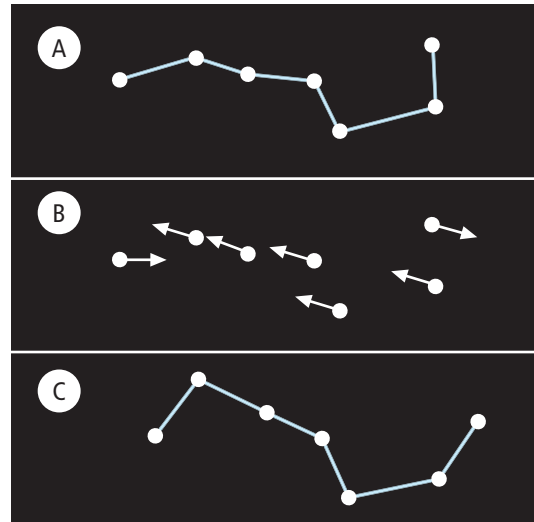


Figure 12.10 A : L'apparence actuelle du Grand Chariot. B : Le mouvement des étoiles du Grand Chariot. C : L'apparence du Grand Chariot dans 50 000 ans selon les estimations des scientifiques

L'unité astronomique (UA), utilisée pour mesurer les distances à l'intérieur du système solaire, est égale à la distance moyenne entre la Terre et le Soleil, c'est-à-dire environ 150 millions de km. Cependant, l'unité astronomique n'est pas pratique pour mesurer les distances gigantesques entre les étoiles et les galaxies dans l'Univers. Par exemple, la distance entre la Terre et les confins de notre système solaire, d'où proviendraient les comètes, est estimée entre 10 000 et 100 000 UA. Comme la distance qui sépare la Terre de la plupart des étoiles se mesure en millions d'UA, les astronomes utilisent une autre unité pour mesurer les distances gigantesques hors de notre système solaire : l'**année-lumière**. Même si une telle unité laisse croire qu'il s'agit d'une durée, une année-lumière est réellement une mesure de distance. Il s'agit de la distance parcourue par la lumière en une année. Sachant que la lumière se propage à 300 000 km/s, il s'agit d'une distance d'environ 9,5 billions (9 500 000 000 000) de km.

La lumière réfléchi par la Lune met 1,3 s pour atteindre la Terre. Tu vois donc la Lune comme elle était il y a 1,3 s. La lumière venant du Soleil met environ 8 minutes pour atteindre la Terre, celle venant de Jupiter met 41 minutes, et ainsi de suite. Si l'on excepte le Soleil, Alpha du Centaure est l'étoile la plus proche de la Terre. Sa lumière met 4,3 années pour nous parvenir. Quand tu observes Andromède, illustrée à la figure 12.11, tu regardes une galaxie à une distance de 2,5 millions d'années-lumière de la Terre. Autrement dit, la lumière de cette galaxie a mis 2,5 millions d'années pour traverser l'espace et atteindre l'objectif du télescope. Tu observes donc cette galaxie non pas comme elle est, mais comme elle était. Quand tu observes des objets situés très loin dans l'espace, tu regardes en fait des témoins du passé.

Suggestion d'activité

Activité d'exploration 12-1A, à la page 439.



Figure 12.11 On peut observer la galaxie d'Andromède depuis la Terre même avec des jumelles. C'est l'une des plus proches voisines de la Voie lactée. Pourtant, elle se trouve à 2,5 millions d'années-lumière.

Lien terminologique

La galaxie d'Andromède est située dans la constellation d'Andromède. Elles tiennent leur nom de la princesse Andromède dans la mythologie grecque. Le nom Andromède signifie « celle qui dirige les hommes » en grec.

Des techniques de mesure indirecte des distances

Fais l'expérience suivante : étends ton bras, lève ton pouce et ferme l'œil droit. En regardant seulement avec l'œil gauche, vise un point du mur avec ton pouce (un interrupteur ou le coin d'une fenêtre). Sans bouger ton pouce, observe maintenant le même point avec l'œil droit seulement. Le déplacement apparent de ton pouce devant l'arrière-plan immobile est la **parallaxe**. Un changement du point d'observation cause ce phénomène. Le même principe s'applique aux étoiles observées depuis la Terre. Quand on observe une étoile proche de la Terre depuis différents points d'observation, elle semble se déplacer par rapport à l'arrière-plan formé par les étoiles plus lointaines qui semblent fixes. Des observateurs situés à deux endroits différents sur Terre peuvent chacun mesurer l'angle entre leur ligne de visée et l'endroit où ils se trouvent et calculer la distance de cette étoile à la Terre en utilisant la triangulation (voir la figure 12.12).

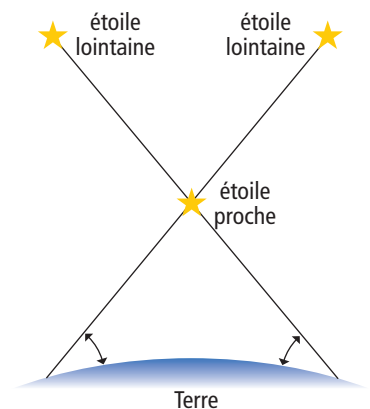


Figure 12.12 L'utilisation de la parallaxe pour calculer par triangulation la distance entre une étoile et la Terre

La **triangulation** est une technique de géométrie qui utilise un triangle pour mesurer la distance d'un objet. En mesurant deux angles et la longueur de la base, on peut déterminer la distance d'un objet visible (voir la figure 12.13).

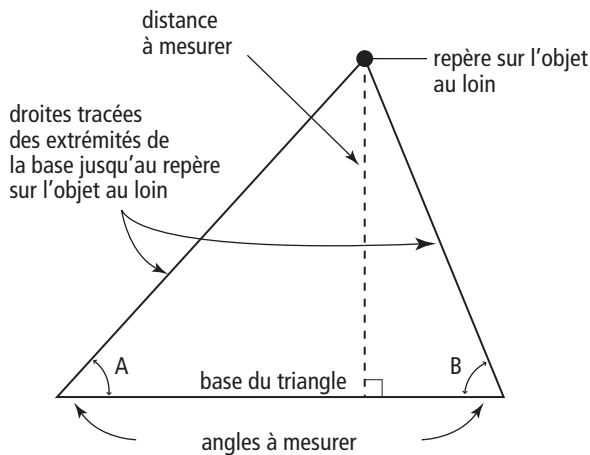


Figure 12.13 La triangulation : en mesurant deux angles et la longueur de leur côté commun (la base), on peut calculer n'importe quelle autre dimension du triangle.

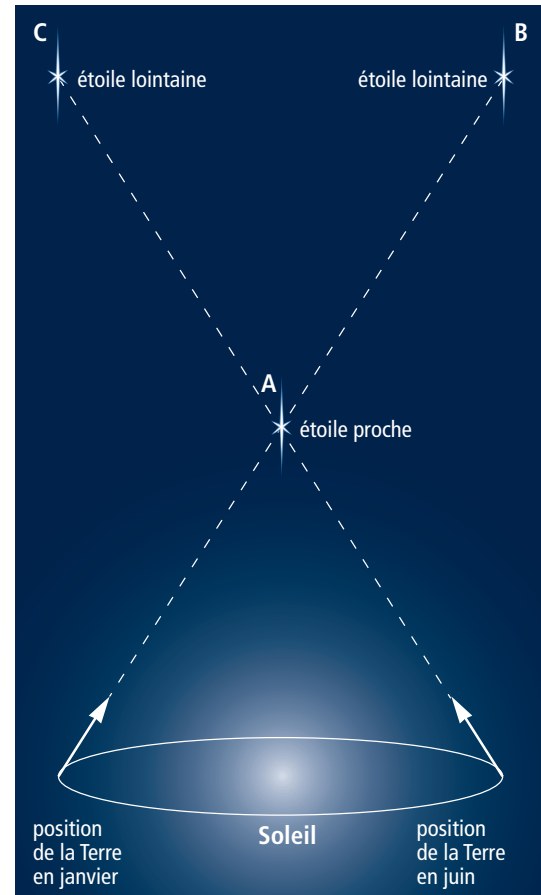


Figure 12.14 Ci-contre, on aperçoit le calcul de la distance entre une étoile et la Terre à l'aide de la parallaxe et de la triangulation. En janvier, l'étoile proche A est alignée avec l'étoile B. En juin, elle est alignée avec l'étoile C. La distance que l'étoile A semble parcourir dans le ciel (la distance apparente entre les étoiles B et C) est sa parallaxe. La parallaxe donne les angles nécessaires pour la triangulation.

Le savais-tu ?

La triangulation est aussi utilisée par les géologues pour déterminer l'emplacement des tremblements de terre. Elle sert aussi par la suite pour créer des cartes et redéfinir des frontières.

Plus la base du triangle est longue, plus la distance calculée par triangulation est exacte. Pour cette raison, les astronomes utilisent le diamètre de l'orbite terrestre comme base du triangle, ce qui donne la plus longue base possible (voir la figure 12.14). Comme la Terre accomplit une révolution autour du Soleil en 365,25 jours, il faut effectuer une mesure à chaque extrémité de la base à 6 mois d'écart quand la Terre est aux 2 points les plus éloignés du Soleil (voir la figure 12.14).

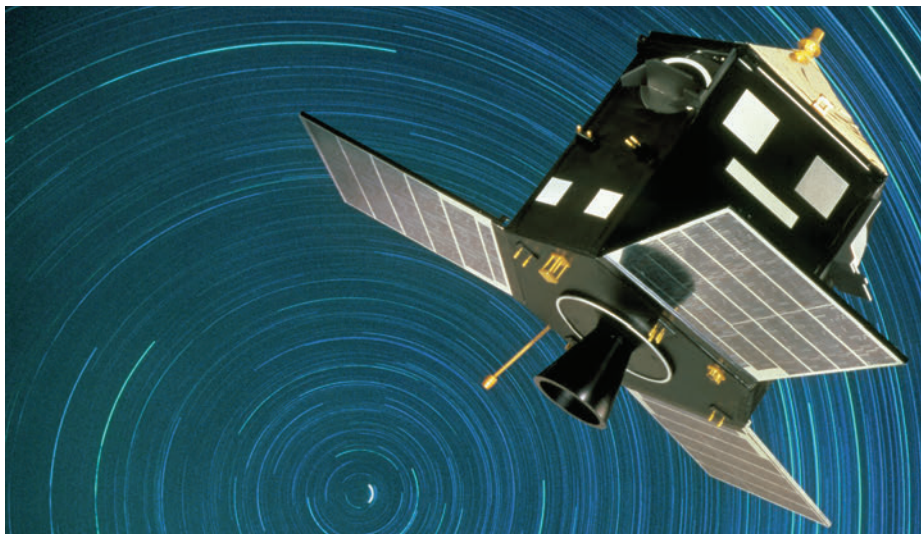


Figure 12.15 La sonde spatiale *Hipparcos* a pu mesurer avec précision la parallaxe d'un million d'étoiles depuis l'orbite terrestre. Tout au long de l'orbite de la Terre autour du Soleil, *Hipparcos* a fait de multiples observations et enregistré des mesures de luminosité et de distance.

Vérifie ta lecture

1. Qu'est-ce que l'hypothèse de la nébuleuse solaire ?
2. Quand notre système solaire s'est-il formé ?
3. Quels sont les deux groupes de planètes du système solaire ?
4. Pourquoi les astronomes utilisent-ils les années-lumière plutôt que les unités astronomiques (UA) pour mesurer les distances à l'extérieur de notre système solaire ?

L'année-lumière

Dans cette activité, tu calculeras la longueur d'une année-lumière et le temps qu'il faut à la lumière des planètes ou des étoiles proches (et par la même occasion le temps mis par les ondes radioélectriques) pour parvenir jusqu'à la Terre.

Ce que tu dois faire

1. La lumière se propage à 300 000 km/s. Quelle distance parcourt-elle en une heure ? En une journée ? En une année ?
2. L'Étoile polaire est située à 430 années-lumière de la Terre. Calcule cette distance en kilomètres.
3. Le Soleil est situé à 150 000 000 km de la Terre (1 UA). Combien de temps met la lumière du Soleil pour parvenir jusqu'à la Terre ?
4. Quand Mars est au plus près de la Terre, elle se trouve à environ 100 millions de km. Quand Mars est au plus loin de la Terre, elle se trouve à environ 380 millions de km. Comme la lumière du Soleil est réfléchiée par Mars, quel est le temps le plus court mis par cette lumière pour atteindre la Terre ? Quel est son temps le plus long ?
5. Les téléphones cellulaires émettent des ondes radioélectriques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Si tu avais un ami sur Pluton, qui se trouve à 39 UA de la Terre, et que tu lui disais « Allo ! » avec ton cellulaire, combien de temps lui faudrait-il pour t'entendre ?
6. La vitesse de la sonde *New Horizons*, en route vers Pluton, est de 60 000 km/h. Alpha du Centaure se trouve à 4,3 années-lumière de la Terre. Combien de temps faudrait-il à la sonde *New Horizons* pour atteindre Alpha du Centaure ?

12-1A ACTIVITÉ d'exploration

Qu'as-tu découvert ?

1. Que remarques-tu au sujet de l'ordre de grandeur des distances parcourues par la lumière en un jour ou en une année ?
2. Pourquoi serait-il difficile de parler à quelqu'un sur Pluton au moyen d'un téléphone cellulaire (en excluant les problèmes liés à la survie de cette personne sur Pluton) ?
3. Quel serait le principal problème des voyageurs en route vers l'étoile la plus proche ?

À la découverte du mouvement relatif des galaxies dans l'Univers en expansion

12-1B

ACTIVITÉ d'exploration

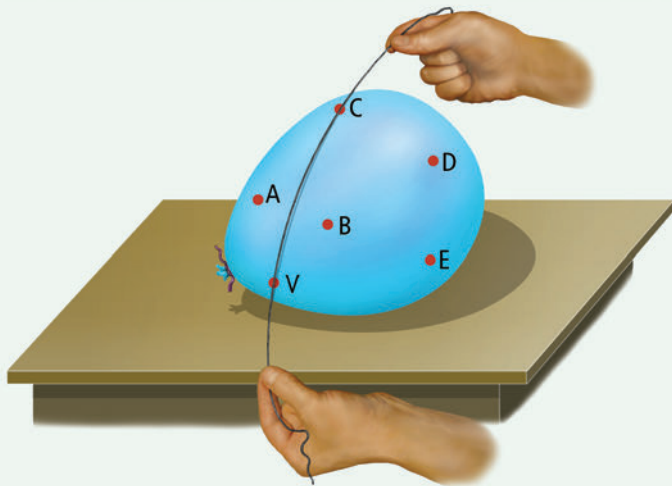
Dans cette activité, tu utiliseras un modèle de l'Univers en expansion pour déterminer le mouvement apparent des galaxies entre elles.

Matériel

- un gros ballon rond
- une attache souple
- un crayon feutre
- 25 cm de ficelle
- une règle

Ce que tu dois faire

1. Gonfle le ballon jusqu'à ce qu'il soit rond, mais ne le gonfle pas complètement. Ferme le ballon avec l'attache souple pour qu'il ne se dégonfle pas.
2. Sur un côté du ballon, dessine au crayon feutre six points à au moins 2 cm l'un de l'autre. Identifie le point en bas avec un V (pour « Voie lactée », notre galaxie), puis identifie les autres points de A à E. Ils représentent d'autres galaxies dans l'espace.



3. Recopie le tableau ci-dessous dans ton cahier et donne-lui un titre.

Galaxie	Distance au point V (mm)		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3
A			
B			
C			
D			
E			

Essai 1

4. En utilisant la ficelle et la règle, mesure la distance entre le point V et les autres points.

Essai 2

5. À présent, desserre l'attache et gonfle le ballon un peu plus. Mesure les nouvelles distances entre le point V et les autres points. Note ces mesures dans ton tableau.

Essai 3

6. Reprends l'étape 5.

Qu'as-tu découvert ?

1. Quelles sont les distances qui ont le plus augmenté entre les galaxies et le point V ?
2. Quelles distances n'ont pas autant augmenté ?
3. a) Jusqu'à quel point penses-tu que cette expérience modélise un Univers en expansion ?
b) Selon toi, quelles sont les limites de ce modèle ?
4. Décris brièvement comment chaque point s'éloigne de la Voie lactée (du point V).

Une simulation du big-bang

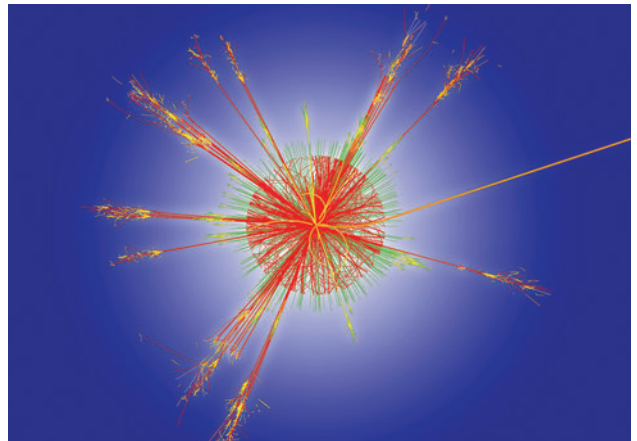
Pourquoi l'Univers s'est-il formé ainsi ? Pour répondre à ce genre de questions, les scientifiques doivent essayer de recréer un événement survenu il y a des milliards d'années. Les difficultés d'un tel exercice sont évidentes puisqu'il n'y a pas eu de témoin. La meilleure approche consiste alors à simuler certains petits aspects de cet événement.

Les physiciens qui étudient les particules subatomiques (plus petites que l'atome) recherchent une particule tellement petite qu'un seul grain de sel pourrait en contenir 10 billions (soit 10 millions de millions). Comme tu l'as appris au chapitre 1, toute la matière, y compris ton corps, est composée d'atomes. Les atomes comportent des protons, des neutrons et des électrons. À présent, les physiciens pensent que les protons et les neutrons sont constitués de particules plus petites encore, les quarks. Ces scientifiques veulent savoir comment toutes les particules de base de l'Univers parviennent à s'entremêler. Il s'agit de la première étape pour comprendre comment tout ce que contient notre Univers s'est formé au moment du big-bang.

Quelle est la meilleure façon de voir l'intérieur d'un proton ? La technique habituelle consiste à le casser, mais cette opération est beaucoup plus difficile (et coûteuse) qu'elle n'en a l'air. Il faut donc générer ces plus petites particules dans un appareil très particulier : un accélérateur de particules. Le plus sophistiqué se trouve au CERN, en Suisse. Tu peux voir les installations du CERN sur la photo du haut à droite. Le grand collisionneur ressemble à un immense beignet mince en béton. Le diamètre du tunnel varie entre 3,8 m et 5,5 m, et sa circonférence est de 27 km. Deux faisceaux de protons sont lancés dans des directions opposées. Ainsi, les protons entrent en collision et se brisent en particules plus petites. La figure du bas illustre cette collision.

À cet effet, des scientifiques pensent qu'en connaissant mieux les particules qui composent les protons, on pourra remonter dans le temps et comprendre comment ces mêmes protons ont été créés au commencement de l'Univers.

Reproduire les conditions du big-bang est une entreprise difficile. Plus de 2000 scientifiques de 34 pays différents y consacrent leur temps, y compris les physiciens du laboratoire TRIUMF de Vancouver. Le rythme de production des données est si rapide que plusieurs ordinateurs dans le monde sont reliés en réseau pour travailler à une tâche commune. L'équivalent d'un DVD rempli de données est produit toutes les 5 secondes. Grâce à tous ces efforts, les scientifiques espèrent ainsi mieux connaître les composants de base de la matière.

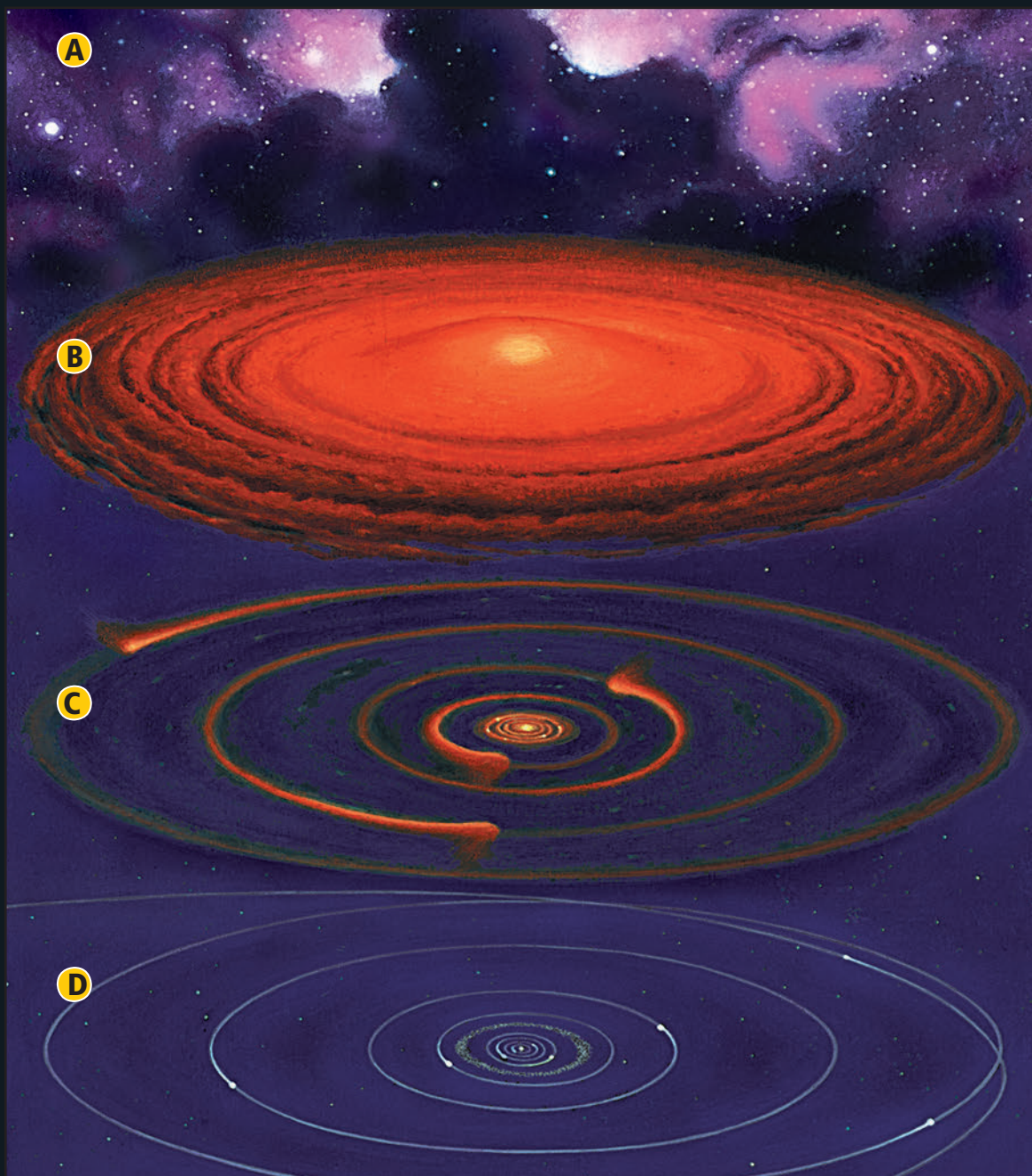


Questions

1. Qu'est-ce qu'un quark ?
2. Comment les accélérateurs de particules aident-ils les scientifiques à étudier les quarks ?
3. Pourquoi les physiciens qui étudient la formation de l'Univers ont-ils besoin de comprendre les quarks ?



Gâce à des observations très précises, les astronomes ont trouvé des indices pouvant expliquer la formation du système solaire. **A)** Il y a plus de 4,6 milliards d'années, le système solaire était composé de fragments de nuages de gaz, de glace et de poussière. **B)** Graduellement, ces fragments de nuages se sont contractés pour former un immense disque compact en rotation sur lui-même. La chaleur et la densité intenses du disque ont provoqué des réactions nucléaires, entraînant la formation du Soleil. **C)** Plus tard, le reste du matériel composant le disque s'est refroidi et la matière s'est regroupée pour former des solides. **D)** Ces solides sont par la suite entrés en collision et se sont amalgamés pour former les huit planètes qui composent notre système solaire.



Des concepts à retenir

1. Nomme certaines des contributions d'Edwin Hubble à l'astronomie.
2. Comment appelle-t-on l'énergie transportée sous forme d'ondes?
3. À quoi sert un spectroscopie?
4. Que nous indique le décalage cosmologique vers le rouge au sujet du mouvement des galaxies?
5. Énonce l'idée principale de la théorie du big-bang.
6. Donne une preuve en faveur de la théorie du big-bang.
7. Selon la théorie du big-bang, comment la température de l'Univers a-t-elle changé au cours de son expansion?
8. Qu'est-ce qu'une nébuleuse?
9. Comment les planètes se forment-elles?
10. Donne deux différences entre les planètes telluriques et les géantes gazeuses.
11. Qu'est-ce qu'une année-lumière?
12. Calcule le temps qu'il faudrait à la lumière pour atteindre la Terre à partir des endroits suivants:
 - a) la Lune;
 - b) le Soleil;
 - c) Jupiter;
 - d) Alpha du Centaure;
 - e) la galaxie d'Andromède.
13. Qu'est-ce que la parallaxe?
14. Explique comment tu utiliserais la parallaxe et la triangulation pour calculer la distance d'une étoile à la Terre.
18. Le satellite COBE et la sonde WMAP avaient tous deux pour but de mesurer des températures se situant quelques degrés au-dessus du zéro absolu. Pourquoi était-il nécessaire de prendre ces mesures dans l'espace plutôt que depuis la Terre?
19. Qu'indiquent les zones bleues et les zones rouges sur la carte WMAP?
20.
 - a) Pourquoi le rayonnement cosmologique est-il une preuve en faveur de la théorie du big-bang sur l'origine de l'Univers?
 - b) Quels résultats du projet WMAP ont été importants pour l'étude de la formation des galaxies?
21. La parallaxe et la triangulation sont des techniques de mesure indirecte. Pourquoi utilise-t-on ces techniques pour mesurer les distances dans l'espace?
22. La figure ci-dessous montre la galaxie d'Andromède. Explique pourquoi cette image représente le passé, et non le présent.



Des concepts clés à comprendre

15. Sur quoi Edwin Hubble s'est-il basé pour avancer que l'Univers est en expansion?
16. Comment peut-on se servir de la cuisson d'un pain aux raisins pour expliquer l'expansion de l'Univers selon Hubble?
17. Les astronomes ont développé diverses théories sur la formation de l'Univers. Décris la théorie correspondant aux deux concepts ci-dessous:
 - a) un Univers ouvert;
 - b) un Univers fermé.

Pause réflexion

Des nouvelles technologies comme le satellite COBE et la sonde WMAP ont fait progresser notre connaissance de l'espace. Comment ces progrès ont-ils amélioré notre compréhension de la naissance et de l'organisation de l'Univers?

12.2 Les galaxies et les étoiles

Notions scientifiques de la section

- Les étoiles sont des objets sphériques rayonnant dans l'espace à partir de l'énergie produite dans leur noyau très chaud.
- Elles sont beaucoup plus nombreuses que tous les autres corps célestes de l'Univers.
- Les étoiles ont une durée de vie limitée.
- Elles se forment dans des nuages de gaz et de poussière et suivent un processus d'évolution prévisible.
- Une galaxie est un ensemble d'étoiles, de gaz et de poussière retenus ensemble par la gravité.
- Selon les astronomes, il existe au moins 125 milliards de galaxies dans l'Univers.

Mots clés

étoile
fusion nucléaire
galaxie elliptique
galaxie irrégulière
galaxie spirale
matière interstellaire
quasar
supernova
trou noir

L'espace n'est pas vide. Il est rempli de **matière interstellaire** composée principalement de gaz (surtout d'hydrogène) et d'un peu de poussière. Les nuages de gaz et de poussière dans les galaxies sont des nébuleuses. La poussière représente seulement 1 % de la masse totale de la matière interstellaire. Malgré ce faible pourcentage, cette poussière rend difficile la perception de la lumière émise par les étoiles lointaines pour les astronomes. Quand un véhicule passe sur un chemin de terre, tu sais que la poussière soulevée réduit la visibilité pendant quelques minutes. Heureusement, de nouvelles technologies permettent maintenant aux astronomes de « voir » à travers l'écran de poussière interstellaire et d'observer ce qu'ils appellent souvent des pouponnières stellaires. Les radiotélescopes et les télescopes infrarouges, par exemple, permettent de voir et de photographier des rayonnements électromagnétiques invisibles. La figure 12.16 montre cette différence avec des images de la galaxie d'Andromède.

Lien terminologique

L'adjectif « interstellaire » signifie « entre les étoiles ». Il fait référence à la matière située entre les étoiles dans l'espace.

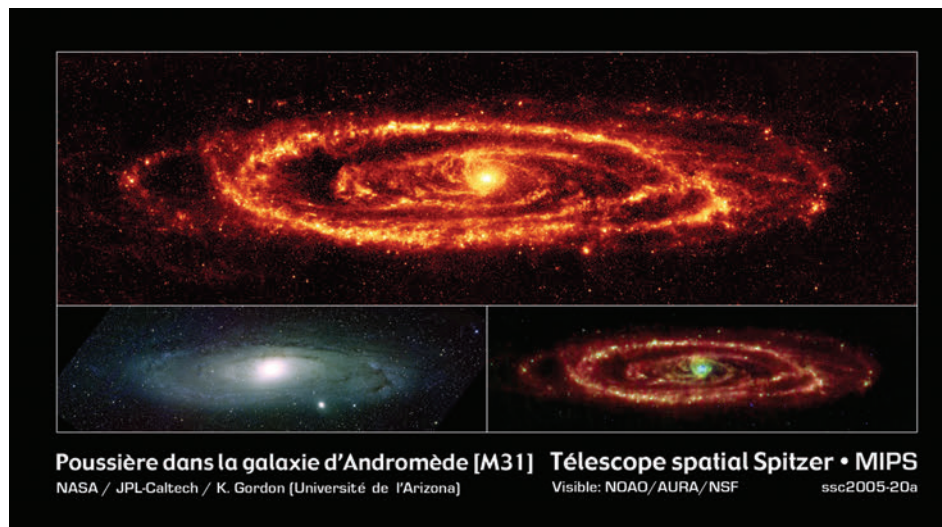


Figure 12.16 La galaxie d'Andromède observée dans le spectre visible (en bas, à gauche). On aperçoit aussi la même galaxie, mais cette fois observée à différentes fréquences dans l'infrarouge (en bas à droite et en haut). Les photographies infrarouges montrent plus clairement les bras en spirales de la galaxie que celle du spectre visible.

Le nombre de galaxies dans l'Univers

Toutes les étoiles que tu observes dans le ciel nocturne dégagé sont dans la Voie lactée. Notre Soleil est l'une des 100 milliards d'étoiles de cette galaxie. Une galaxie se forme quand un énorme nuage de gaz se contracte sous l'action de la gravité. En somme, toutes les étoiles dans l'Univers se sont formées dans des galaxies.

Pour te faire une meilleure idée de ce que représentent 100 milliards d'étoiles, imagine qu'une étoile a la taille d'un grain de sable. Tu peux observer à l'œil nu par une nuit dégagée d'hiver autant d'étoiles qu'il peut y avoir de grains de sable dans le bouchon d'un tube de dentifrice. Il y a à peu près autant d'étoiles dans la Voie lactée que de grains de sable dans un camion à benne. Cent milliards, c'est un grand nombre : en comptant ce nombre par seconde, il te faudrait en fait 3 170 ans pour compter jusqu'à 100 milliards.

Les astronomes estiment actuellement que l'Univers contient au moins 125 milliards de galaxies. Le télescope spatial Hubble transmet à la Terre des images de ces milliers de galaxies.

Imagine qu'un ami tienne une pièce de 10 cents entre deux doigts pour te permettre de la voir. Maintenant, imagine-le debout dans le couloir, deux classes plus loin, toujours avec cette pièce de 10 cents visible. Cette pièce vue de loin est comparable à la partie du ciel photographiée par le télescope spatial Hubble et illustrée à la figure 12.17. Les taches brillantes dispersées sur l'image ne sont pas des étoiles, mais des galaxies entières. Dans cette région de l'espace, il y a environ 1 500 galaxies qui contiennent chacune au moins 100 milliards d'étoiles. Pour avoir une idée de ce que cela représente, imagine à nouveau qu'une étoile est un grain de sable. Imagine à présent qu'un camion lourd de 18 roues, rempli de sable, passe devant toi. Pour avoir environ autant de grains de sable que d'étoiles dans l'Univers connu, il faudrait qu'un camion identique passe chaque seconde, 24 heures par jour, pendant 3 ans.

La forme des galaxies

Malgré l'immense quantité de galaxies dans l'Univers, la plupart ont une des trois formes de base suivantes : spirale, elliptique ou irrégulière.

- Une **galaxie spirale** ressemble, vue d'en haut, à une petite éolienne avec plusieurs longs « bras » formant des spirales à partir d'un noyau central (voir la figure 12.18 à la page suivante). Observée de côté, elle ressemble à une assiette en carton avec une orange insérée au milieu. Le renflement, au centre, est formé de très vieilles étoiles. Le disque qui l'entoure est composé de gaz, de poussière et de nouvelles étoiles en formation. Le rayonnement lumineux autour de cette structure est appelé « halo » (voir la figure 12.19 à la page suivante). La Voie lactée est une galaxie spirale. Quand tu observes la longue bande de lumière qui traverse le ciel nocturne, tu vois la galaxie de côté. La Terre est située dans l'un des bras en spirale de la Voie lactée, vers le centre de la galaxie.
- La forme d'une **galaxie elliptique** peut aller de la sphère parfaite à l'ellipse aplatie. Par exemple, certaines de ces galaxies ressemblent



Figure 12.17 L'amas de galaxies Abell 2218 brille clairement dans cette image. D'autres galaxies sont aussi visibles, plus loin derrière elle.

à un ballon de football et d'autres, à un cigare (voir la figure 12.20). Ces galaxies contiennent certaines des plus vieilles étoiles de l'Univers. On estime que plus de la moitié des galaxies sont elliptiques. De plus, les plus grandes galaxies de l'Univers sont elliptiques.

- Une **galaxie irrégulière** n'a pas de forme régulière, comme des bras en spirale ou un renflement central évident (voir la figure 12.21). Ces galaxies sont constituées d'un mélange de nouvelles étoiles en formation et d'étoiles très anciennes.



Figure 12.18 Une galaxie spirale vue d'en haut



Figure 12.19 Une galaxie spirale vue de côté



Figure 12.20 Une galaxie elliptique



Figure 12.21 Une galaxie irrégulière

Le savais-tu ?

Quand des galaxies se rapprochent trop, l'attraction gravitationnelle d'une grande galaxie peut briser une petite galaxie. Éventuellement, la plus grande pourra même aspirer des parties de la petite et les absorber dans sa propre structure. Les astronomes ont appelé ce phénomène « cannibalisme galactique ».

D'autres caractéristiques, telles que la taille, la masse, la couleur, la brillance ou la vitesse de rotation, permettent de différencier entre elles les galaxies. Ces différences dépendent du nombre et du type d'étoiles, ainsi que de la quantité et des types de gaz et de poussière dans la galaxie.

La naissance d'une étoile

Une **étoile** est un corps céleste composé de gaz chauds et doté d'un cœur semblable à un réacteur nucléaire. Les astronomes estiment que 9 000 milliards de milliards d'étoiles se sont formées au cours des 13,7 milliards d'années de l'histoire de l'Univers. Comme le disait Carl Sagan (1934-1996), astronome et écrivain américain, il y a plus d'étoiles dans l'Univers que de grains de sable sur toutes les plages de la Terre.

Une étoile commence à se former dans une nébuleuse quand, sous l'action de la gravité, des nuages de gaz (principalement de l'hydrogène et de l'hélium) et de poussière s'agglutinent. Sous l'action continue de la gravité, la masse de ce volume de matière augmente. Puis, ce volume s'effondre sur lui-même et se contracte. C'est la création d'une protoétoile, première phase de l'apparition d'une étoile. Le préfixe *proto* vient du grec et signifie « premier » ou « primitif » (voir la figure 12.22).

Si sa masse reste petite, la protoétoile peut simplement se contracter et ne jamais devenir une véritable étoile. Cependant, si cette protoétoile agglutine une masse suffisante de poussière et de gaz, la température de son cœur pourra finalement atteindre environ 10 000 000 °C. Les atomes fusionneront alors pour former des atomes plus complexes. Les atomes d'hydrogène se combineront aussi pour former un élément plus lourd, l'hélium. Ce processus produira une énorme quantité d'énergie et porte le nom de **fusion nucléaire**.

À cette étape, l'étoile commence à briller. Les poussières et les gaz résiduels autour de l'étoile se dispersent graduellement. Du cœur de l'étoile rayonne de l'énergie, sous forme d'ondes électromagnétiques, dans toutes les directions. C'est ainsi que le Soleil, l'étoile la plus proche, produit le rayonnement qui réchauffe la Terre.

L'évolution des étoiles

Comme pour les organismes vivants, les transformations d'une étoile au cours de sa vie sont prévisibles. Elles naissent toutes dans une nébuleuse et deviennent toutes des géantes rouges une fois leur énergie libérée. Leur évolution respective dépend ensuite de leur masse initiale selon trois grands types de scénarios (voir la figure 12.23 à la page suivante).

Les étoiles de faible masse

Certaines étoiles naissent et restent petites. Elles s'appellent les naines rouges et sont froides et peu lumineuses. Ces étoiles de faible masse consomment très lentement leur hydrogène et leur durée de vie peut donc atteindre 100 milliards d'années. Finalement, elles deviennent des naines blanches, très chaudes mais petites, et s'éteignent tranquillement.

Les étoiles de masse intermédiaire

Ces étoiles ont une masse comparable à celle du Soleil. Elles consomment leur hydrogène plus vite que leurs cousines de faible masse. Leur durée de vie n'est en moyenne que de 10 milliards d'années. Après une longue période de stabilité, une étoile de masse intermédiaire se dilate et devient une géante rouge. Elle libère progressivement la plupart de sa matière dans l'espace et s'effondre sur elle-même. Elle rétrécit alors lentement et devient une naine blanche peu lumineuse. Une fois refroidie davantage, elle devient une naine noire, un corps dense et sombre composé principalement de carbone et d'oxygène.

Les scientifiques estiment que le Soleil deviendra une géante rouge dans environ 5 milliards d'années.

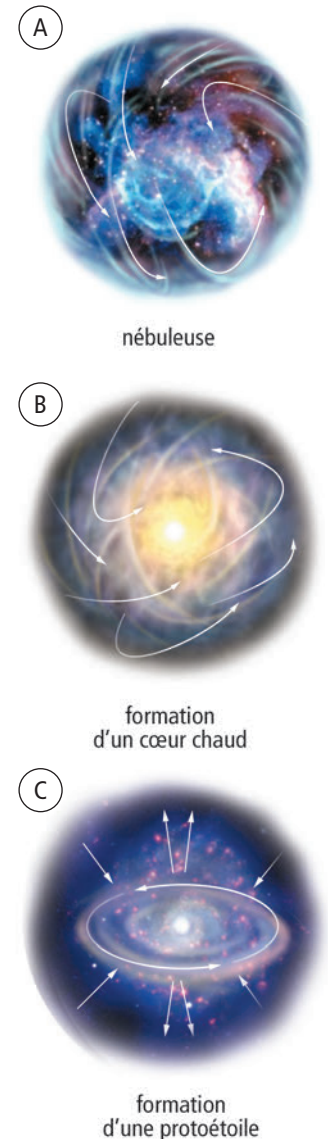


Figure 12.22 Les étapes de la formation d'une étoile

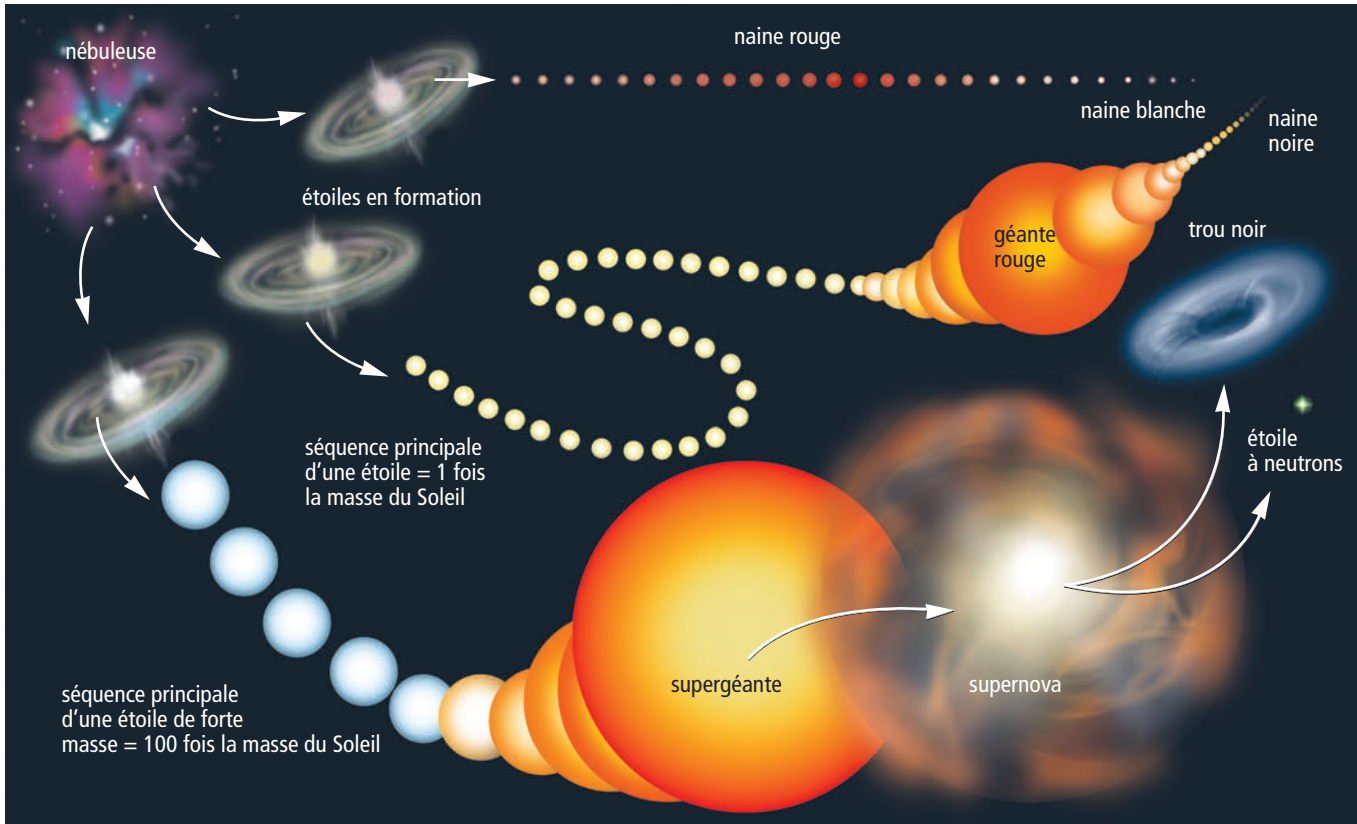


Figure 12.23 Les trois principaux scénarios de vie des étoiles



Lien Internet

En 1987, une équipe d'astronomes canadiens et chiliens a signalé une supernova clairement visible de jour dans tout l'hémisphère Sud. Elle a été appelée Supernova 1987A. Pour en savoir plus sur cette supernova, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

www.cheneliere.ca

Les étoiles de forte masse

Une étoile de forte masse est au moins 12 fois plus lourde que le Soleil. Ces étoiles consomment leur carburant encore plus vite que n'importe laquelle de leurs cousines plus petites pour devenir des géantes rouges. Comme elles atteignent rapidement des tailles imposantes, elles dégagent beaucoup d'énergie et brûlent plus vite que les autres. La durée de vie d'une étoile de forte masse n'est que de 7 milliards d'années, ce qui est très court pour une étoile.

Comparée aux étoiles plus petites, la fin des étoiles de forte masse est beaucoup plus violente. Après avoir consommé tout son hydrogène, une étoile de forte masse devient une supergéante. Ensuite, elle s'effondre sur elle-même, ce qui provoque une explosion gigantesque appelée **supernova**. Certaines supernovas sont tellement brillantes qu'elles sont visibles de la Terre, même en plein jour. Les supernovas jouent un rôle très important dans l'Univers. Dans une forêt, les plantes meurent, se décomposent et fournissent des nutriments pour la croissance d'autres organismes. Dans l'Univers, quand une étoile meurt, des éléments lourds sont dispersés dans l'espace. Ultimement, le carbone dans tes os, l'oxygène que tu respires et l'hydrogène dans l'eau tirent leur origine des éléments dispersés par l'explosion fatale d'une étoile.

Si la masse d'une étoile à sa naissance est de 4 à 8 fois celle du Soleil, le cœur restant de la supernova s'effondre sur lui-même et forme une étoile à neutrons. Une étoile à neutrons a un diamètre initial d'environ 1 million de kilomètres, mais elle s'effondre sur elle-même et forme une sphère de 20 km de diamètre. C'est un peu comme si toute la masse de ton école était comprimée dans une boule de la taille d'une tête d'épingle. La température du cœur d'une étoile à neutrons atteindrait 100 000 000 °C et son refroidissement prendrait des billions d'années.

Les trous noirs

Une étoile qui est plus de 25 fois plus massive que le Soleil a une fin différente. Après avoir formé une supernova, elle devient un **trou noir** et s'effondre sur elle-même. Elle est très dense et exerce donc une force gravitationnelle extraordinaire. Les trous noirs sont appelés ainsi parce que rien ne peut échapper à leur attraction gravitationnelle, pas même la lumière.

Comment les astronomes savent-ils que les trous noirs existent s'ils ne peuvent pas les voir? Il existe plusieurs preuves de leur existence. D'abord, la matière attirée vers un trou noir émet un rayonnement électromagnétique mesurable. Ensuite, on peut observer l'effet de la force gravitationnelle d'un trou noir sur les étoiles et les galaxies passant à proximité. Enfin, les résultats de simulations sur ordinateur montrent comment des objets ultra-denses dévieraient la lumière émise par des étoiles lointaines. Les observations des astronomes sont même en accord avec ces simulations.

Les quasars

À mesure que la force gravitationnelle attire de la matière dans un trou noir, celui-ci peut devenir supermassif. On pense qu'il y a un trou noir supermassif au centre de la plupart des galaxies. À mesure que ce trou noir supermassif continue d'attirer toujours plus de matière, une zone d'énergie électromagnétique très puissante, appelée **quasar**, se développe autour de lui. Les quasars tirent leur énergie de l'énergie gravitationnelle de la matière qui tombe dans le trou noir. Grâce à cette énergie, les quasars sont les objets les plus brillants que nous connaissons dans l'Univers, ce qui nous amène parfois à les confondre avec des galaxies proches. Cependant, leur spectre présente un décalage important vers le rouge, ce qui indique qu'ils sont très éloignés. Certains quasars se trouvent par exemple à des milliards d'années-lumière de la Terre.

L'étude des quasars n'est possible que depuis 30 ans, grâce au développement de nouveaux télescopes suffisamment perfectionnés pour les détecter. On ne comprend pas encore complètement comment les quasars se forment, ni quelle est leur composition. La plupart des quasars sont situés dans des régions très éloignées de l'Univers. Par conséquent, leur lumière qui nous parvient date d'il y a très longtemps. En d'autres termes, tout ce que nous apprenons sur les quasars peut donc nous aider à mieux comprendre les origines et les premiers développements de l'Univers.

Approfondissement

Normalement, la masse d'un trou noir est d'environ 10 fois celle du Soleil. Toutefois, on a détecté au centre de galaxies très grandes, comme notre Voie lactée, des trous noirs ayant une masse un million de fois plus grande que celle du Soleil. Pour en apprendre plus sur les trous noirs et leurs effets sur ce qui les entoure, commence ta recherche dans Internet à partir des mots clés suivants : **trous noirs, masse et effets.**

Le savais-tu?

Le quasar le plus brillant dans notre ciel se trouve dans la constellation de la Vierge. Étant très éloigné de la Terre, sa magnitude est de 12,8. Il est suffisamment brillant pour qu'on puisse l'observer avec un petit télescope, mais il n'est pas visible à l'œil nu. Il est en fait deux billions de fois plus brillant que notre Soleil.

Suggestion d'activité

Réalise une expérience 12-2A, à la page 451.

La taille des étoiles

Beaucoup d'étoiles visibles de la Terre sont beaucoup plus grosses que notre Soleil. Certaines sont illustrées à la figure 12.24. Suppose que le Soleil ait la taille d'un ballon de volley-ball d'un diamètre de 26 cm. Par comparaison, le diamètre de l'étoile géante Arcturus serait d'environ 6,5 m et celui de la supergéante rouge Bételgeuse approcherait les 170 m. La plus grosse étoile connue à ce jour serait VY Canis Majoris. Selon certaines observations, elle serait de 600 à 3 000 fois plus grosse que le Soleil, mais les astronomes ne sont pas encore tous d'accord.

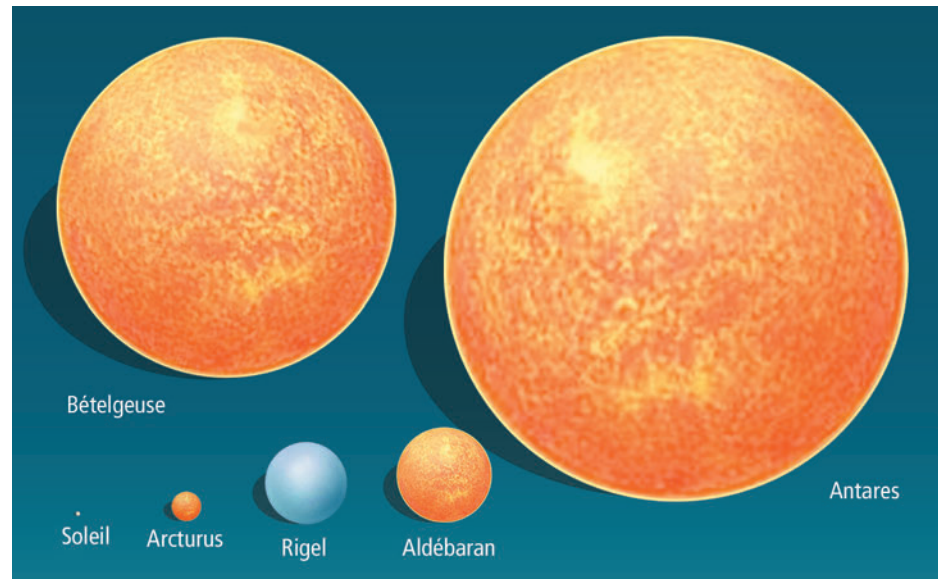


Figure 12.24 La taille du Soleil comparée à celle de cinq autres étoiles

Vérifie ta lecture

1. De quoi est composée la matière interstellaire ?
2. Quel est le principal facteur déterminant le scénario de la vie d'une étoile ?
3. Décris le scénario que les scientifiques prédisent pour le Soleil.
4. Comment appelle-t-on l'explosion d'une étoile de forte masse ?
5. Pourquoi les astronomes ont-ils choisi l'adjectif « noir » pour désigner les trous noirs ?

Vérifie tes compétences

- Classer
- Communiquer
- Expliquer des systèmes
- Travailler en collaboration

Dans cette activité, tu devras comparer les caractéristiques des étoiles visibles de la Terre et préparer un modèle pour représenter leur position par rapport à notre système solaire.

Question

Comment les caractéristiques des étoiles nous renseignent-elles sur leur origine et leur scénario de vie ?

Marche à suivre

1. Avec les membres de ton équipe, élabore un plan de recherche sur les étoiles de la liste ci-dessous.

Véga	Bételgeuse
Canopus	Rigel
le Soleil	Delta Orionis
Arcturus	

Trouvez les renseignements suivants pour chaque étoile :

- sa position;
 - sa distance de la Terre;
 - sa magnitude;
 - sa taille;
 - sa couleur;
 - sa position dans le ciel;
 - toute autre information intéressante que vous pourrez trouver.
2. Sur une grande feuille, tracez un tableau pour organiser les résultats de vos recherches.
 3. Concevez et construisez un modèle montrant les positions et les distances d'au moins quatre de ces étoiles par rapport à la Terre. Vous pouvez aussi plutôt concevoir et construire un modèle montrant la taille de quatre de ces étoiles. Quels sont les matériaux nécessaires ? Quel sera l'espace requis ?
 4. Pensez à la façon de présenter votre modèle au reste de la classe. Chaque membre du groupe doit avoir un rôle à jouer dans la présentation. Affichez votre tableau de données dans la classe.

Omnitruc

Consulte l'Omnitruc 11 pour avoir des informations sur la création de tableaux de données.

Analyse

1. Quelle est l'étoile la plus grande ? Quelle est la plus petite ?
2. Y a-t-il une relation entre la couleur et la taille des étoiles ? Si oui, quelle est-elle ?
3. Étudie ton tableau de données. Décris l'étoile « moyenne ».

Conclusion et mise en pratique

1. Quelles sont les étoiles les plus différentes de l'étoile moyenne ? Quelles sont les différences ?
2. Quelles sont les différences et les ressemblances entre le Soleil et ces autres étoiles proches ?
3. À partir des renseignements que vous avez recueillis et de l'information donnée aux pages 447 à 449 de ton manuel (L'évolution des étoiles), rédige une hypothèse sur le scénario de vie de deux étoiles que tu as étudiées.

On peut déterminer beaucoup de caractéristiques d'une étoile en analysant sa lumière. Le spectre lumineux d'une étoile nous indique sa température, sa composition, son âge et sa direction de déplacement. Dans cette activité, tu observeras les différents spectres produits par différentes sources de lumière et par différents gaz.

Consigne de sécurité

- Ne regarde JAMAIS directement le Soleil.

Matériel

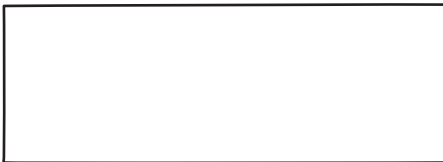
- un spectroscopie
- 4 sources différentes de lumière (exemples : Soleil, tube fluorescent, ampoule à incandescence, lampe ultraviolette, ampoule fluorescente compacte, ampoule dépolie, ampoule d'une guirlande de lumières)
- quatre lampes à décharge avec des gaz différents (exemples : mercure, xénon, hydrogène, sodium)
- du papier
- un crayon
- une règle
- des crayons de couleur

Ce que tu dois faire

Partie 1 L'analyse du spectre de la lumière

1. Dessine quatre rectangles sur une feuille, tel qu'illustré ci-dessous. Chaque rectangle correspond à une des quatre sources de lumière choisies pour l'expérience. Indique au-dessus de chaque rectangle le nom de la source de lumière.

ampoule fluorescente



lumière ultraviolette



2. Étudie attentivement chaque source de lumière avec le spectroscopie. Avec des crayons de couleur, dessine dans le rectangle approprié le spectre de chaque source que tu as observé.
3. Répète l'activité en modifiant l'angle d'observation de la source de lumière. Note tes observations.

Partie 2 L'analyse du spectre des gaz

4. Sur une autre feuille, dessine une série de rectangles comme dans la première partie de l'expérience. Au-dessus de chacun, inscris le nom du gaz.
5. Avec l'aide de ton enseignante ou ton enseignant, étudie chaque élément dans les lampes à décharge. Dessine le spectre que tu as observé pour chaque gaz.

Qu'as-tu découvert ?

Partie 1 L'analyse du spectre de la lumière

1. À quel endroit vois-tu le spectre dans le spectroscopie ?
2. Dans quel ordre les couleurs apparaissent-elles ?
3. Lorsque tu as changé l'angle d'observation du spectroscopie, comment le spectre a-t-il changé ?

Partie 2 L'analyse du spectre des gaz

4. Quelles sont les différences entre les spectres des sources lumineuses et ceux des lampes à décharge ?
5. Comment la connaissance du spectre de certains éléments peut-il aider les astronomes à déterminer la composition des étoiles ?

Radioastronome



Le Dr Marcin Sawicki est professeur adjoint d'astronomie et de physique à l'Université Saint Mary's de Halifax et chercheur de l'Agence spatiale canadienne. Il étudie la formation et l'évolution des galaxies. Ses recherches le conduisent notamment au Chili et à Hawaï, mais aussi à une époque où l'Univers était beaucoup plus jeune qu'aujourd'hui.

- Q.** Sur quel domaine portent vos recherches ?
- R.** Mes recherches portent sur la formation des galaxies. Les galaxies comptent parmi les premiers objets qui se sont formés après le big-bang. Ce sont des usines à étoiles, comme le Soleil. Elles fabriquent aussi les éléments chimiques complexes essentiels à la vie. Les galaxies constituent donc une partie importante de nos origines.
- Q.** Quels types d'instruments utilisez-vous ?
- R.** J'utilise des télescopes géants installés sur Terre ou dans l'espace. Sur la Terre, j'utilise des télescopes installés aux sommets de montagnes, par exemple le Canada-France-Hawaï à Hawaï et le Gemini au Chili. Je travaille avec les données des télescopes spatiaux Hubble et Spitzer qui sont dans l'espace. Mais je passe la plus grande partie de mon temps devant l'ordinateur à analyser des données. De bonnes connaissances en programmation informatique sont donc essentielles pour mon travail.
- Q.** Quels sont les aspects que vous aimez le plus dans votre travail ?
- R.** J'apprécie particulièrement ces moments où je découvre quelque chose de nouveau sur l'Univers,

quelque chose qu'on ignorait avant. L'Univers n'est pas sournois, mais il garde ses secrets et je dois les découvrir. Cela me donne le sentiment d'être relié à cet énorme Univers dont nous faisons tous partie. Et puis, bien sûr, j'adore voyager.

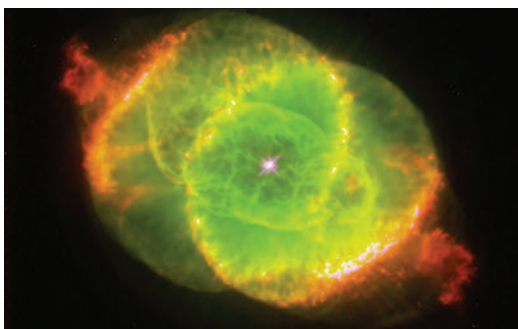
- Q.** Quels sont les plus gros défis dans votre travail de chercheur ?
- R.** Je pense que le plus dur, pour moi comme pour beaucoup de personnes, c'est de bien gérer son temps. J'ai tellement de choses différentes à faire. Car en plus d'être chercheur, je dois aussi enseigner et participer à l'administration de l'université. Si bien que j'ai parfois du mal à décider ce que je dois faire. Je dirais donc que le plus difficile pour moi, c'est de trouver le bon équilibre entre mes diverses occupations pour que tout soit fait à temps et dans le bon ordre.
- Q.** Quel conseil donneriez-vous aux étudiants qui s'intéressent à votre domaine ?
- R.** Je leur conseillerais d'abord de se renseigner au maximum sur le sujet et de lire beaucoup. L'astronomie et l'astrophysique sont basées sur la physique, qui utilise beaucoup les mathématiques. Si vous voulez devenir astronome, il faut donc s'inscrire à tous les cours de sciences et de mathématiques et, si possible, apprendre à programmer un ordinateur. Même si vous ne devenez pas un professionnel de l'astronomie, ces cours vous enseigneront des façons de penser que vous utiliserez toute votre vie, peu importe votre choix de carrière.

Questions

1. Quels télescopes le Dr Sawicki utilise-t-il ? Cherche des descriptions de ces télescopes. De quels types de télescopes s'agit-il ?
2. Pourquoi le Dr Sawicki utilise-t-il des télescopes terrestres ainsi que des télescopes spatiaux ?
3. Quelles sont les connaissances essentielles pour le travail du Dr Sawicki ?

La vitesse de la lumière – à toute vitesse !

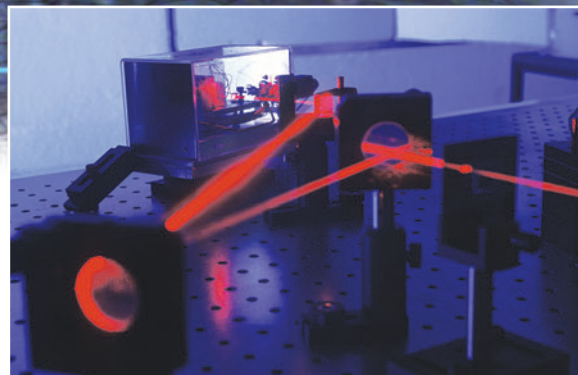
Autrefois, on considérait que la vitesse de la lumière était infinie et impossible à mesurer. Avec l'invention du télescope, il a enfin semblé possible d'estimer la vitesse de la lumière. Vers la fin des années 1600, un astronome danois du nom de Ole Rømer a mesuré la vitesse de la lumière avec un télescope et l'orbite d'une des lunes de Jupiter. Malgré une technologie très primitive, il ne s'est trompé que de 25 %.



La lumière émise par la Nébuluse de l'œil de chat a mis 3 000 ans pour atteindre la Terre.

Au siècle suivant, un autre scientifique améliorait la mesure de la vitesse de la lumière. L'astronome anglais James Bradley avait compris que la lumière émise par une étoile atteignait la Terre avec un angle précis. Cependant, à cause du mouvement de la Terre, la lumière semblait arriver avec un angle légèrement différent. La mesure de cet angle lui a permis de calculer la vitesse de la lumière : 298 000 km/s.

Enfin, la valeur de la vitesse de la lumière que nous considérons exacte aujourd'hui a été déterminée en 1887 par deux scientifiques américains, Albert Michelson et Edward Morley. Ces physiciens tentaient de mesurer la vitesse de la Terre à travers une substance appelée « éther ». À cette époque, on croyait que l'éther était la substance qui permettait à la lumière de se propager. Michelson et Morley ont alors mis au point un interféromètre, un appareil qui sépare un rayon lumineux en deux parties et les envoie sur des miroirs. Ils sont parvenus à une mesure extrêmement précise de la vitesse de la lumière. L'expérience a aussi prouvé que l'éther n'existe pas.



Un appareil semblable a permis aux scientifiques de déterminer avec précision la vitesse de la lumière vers la fin du XIX^e siècle.

Comme tu l'as sûrement constaté à la lecture de ce chapitre et du chapitre 11, les distances dans l'espace sont tellement grandes qu'elles dépassent les capacités actuelles de notre technologie. Au moins, en connaissant la valeur de la vitesse de la lumière, les astronomes disposent d'une unité de mesure pratique pour évaluer les distances gigantesques dans l'Univers. Même l'étoile la plus proche de notre système solaire, Proxima du Centaure, se trouve à plus de 40×10^{13} kilomètres. Cette distance vaut 4,2 années-lumière, une valeur beaucoup plus pratique et facile à utiliser. Une année-lumière représente environ 9,5 billions de km (un billion de kilomètres, c'est un million de millions de kilomètres).

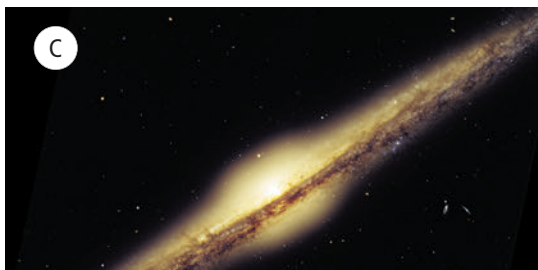
Questions

1. On voudrait émettre un signal à la vitesse de la lumière dans la galaxie naine du Grand Chien, une des galaxies les plus proches de la Voie lactée. Si la galaxie naine du Grand Chien se trouve à 25 000 années-lumière de la Terre, combien de temps s'écoulerait-il entre l'envoi du signal et la réception d'une réponse ?
2. Les astronomes ont identifié une étoile à neutrons qui se trouve à 855 billions de km de la Terre. Combien de temps faut-il pour que la lumière émise par cette étoile atteigne la Terre ?
3. La vitesse de la lumière calculée par James Bradley est de 298 000 km/s. En utilisant l'équation ci-dessous, détermine l'erreur relative (en %) de son calcul. (Rappelle-toi que la valeur réelle de la vitesse de la lumière est d'environ 300 000 km/s.)

$$\text{Erreur relative} = \frac{(\text{vitesse réelle de la lumière}) - (\text{vitesse de la lumière calculée})}{(\text{vitesse réelle de la lumière})} \times 100\%$$

Des concepts à retenir

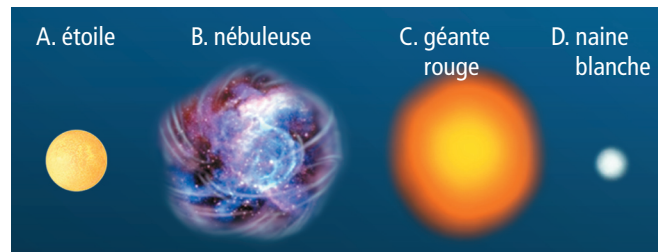
1. Quels sont les principaux composants de la matière interstellaire?
2. Comment les galaxies se forment-elles?
3. Les photographies ci-dessous montrent des galaxies de formes différentes.



- a) Quel est le type de galaxie sur chaque photo?
 - b) Quel est le type de galaxie de la Voie lactée?
 - c) Quel type de galaxie est un mélange d'anciennes et de nouvelles étoiles?
 - d) Laquelle de ces photos montre la forme des très grandes galaxies?
 - e) Quelle galaxie est entourée d'un halo?
4. Qu'est-ce que le « cannibalisme galactique »?
 5. Explique brièvement la formation d'une étoile.
 6. Décris les étapes du scénario de vie des catégories d'étoiles suivantes:
 - a) les étoiles de faible masse;
 - b) les étoiles de masse intermédiaire;
 - c) les étoiles de forte masse.

Des concepts clés à comprendre

7. Quels progrès de la technologie ont permis aux astronomes de « voir » à travers la poussière interstellaire?
8. Décris ce qu'est une fusion nucléaire.
9. Qu'arrivera-t-il finalement à toutes les étoiles de l'Univers?
10. Classe les corps célestes ci-dessous, du plus jeune au plus vieux.



11. Pourquoi la mort d'une étoile est-elle utile à l'Univers?
12. Pourquoi les trous noirs exercent-ils une attraction gravitationnelle extraordinaire?
13. Énonce trois preuves de l'existence des trous noirs.
14. Pourquoi les quasars sont-ils les objets les plus brillants que nous connaissons dans l'Univers?

Pause réflexion



Cette photographie des galaxies des Antennes a été prise par le télescope spatial Hubble.

Les galaxies des Antennes visibles se trouvent à 45 millions d'années-lumière de la Terre. Elles sont l'exemple le plus proche et le plus récent d'une collision de galaxies. Les astronomes croient que la plupart des galaxies subiront au moins une collision au cours de leur vie.

Rédige un court paragraphe pour expliquer comment des événements tels que les collisions de galaxies pourraient affecter notre Univers.

12.3 Notre avenir dans l'espace

Notions scientifiques de la section

- La technologie spatiale progresse incroyablement vite.
- Plus de 400 astronautes sont déjà allés dans l'espace. Des télescopes optiques et des télescopes captant d'autres portions du spectre électromagnétique sont en opération sur Terre et dans l'espace. Des sondes et des robots mobiles étudient des régions de l'espace inaccessibles pour les humains.
- Ces progrès technologiques nous permettent d'améliorer et d'étendre nos connaissances sur l'Univers.
- Dans quelle mesure le Canada doit-il prendre part à cette grande aventure ? Les coûts et les risques des vols spatiaux habités sont-ils trop élevés ?

Mots clés

éthique
optique adaptative
télescope spatial Hubble

Notre capacité à étudier le ciel et l'espace a toujours dépendu des outils à notre disposition. Au XVII^e siècle, le perfectionnement des télescopes et des lunettes a permis plusieurs nouvelles découvertes. Soudain, les astronomes pouvaient observer des détails qu'ils n'auraient jamais imaginés auparavant. Plus récemment, les progrès des télescopes au début du XX^e siècle ont permis aux astronomes d'observer des galaxies dans des régions éloignées de l'Univers.

Grâce à l'amélioration constante de la portée des outils et des technologies, les astronomes continuent de faire de nouvelles découvertes depuis la Terre et dans l'espace (voir la figure 12.25).

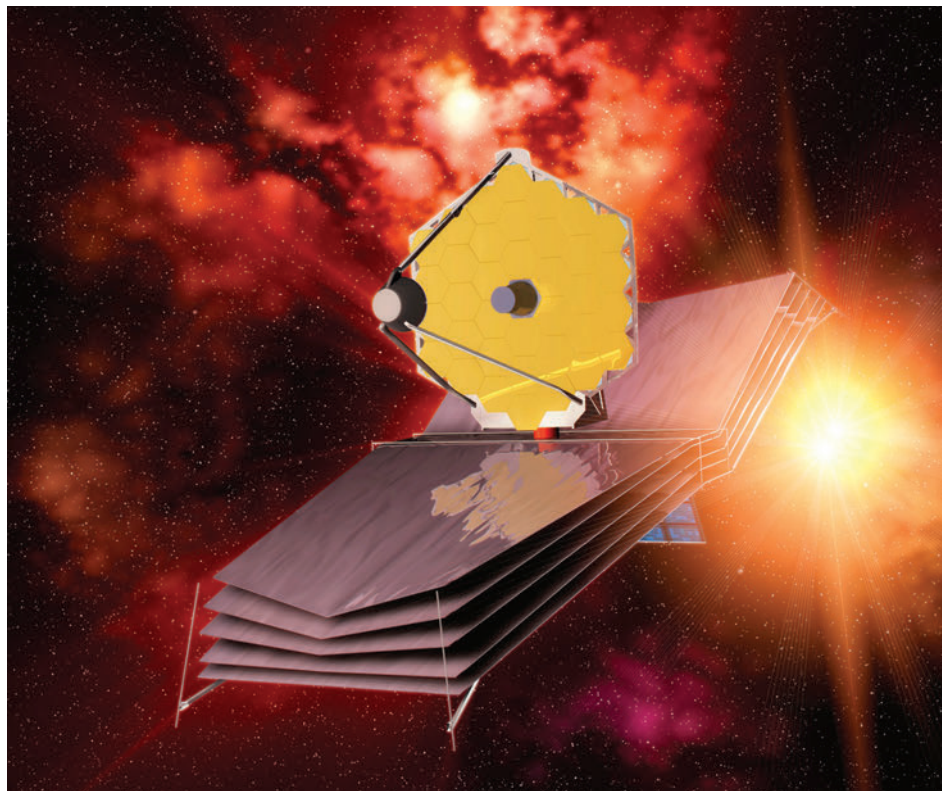


Figure 12.25 Le télescope spatial James Webb sera lancé au cours de la prochaine décennie. Il permettra de voir plus loin dans l'espace et donc plus loin dans le passé, tout juste après le big-bang.

Les télescopes du futur

Tu as appris au chapitre 10 que Galilée avait observé le relief de la Lune et les phases de Vénus avec une lunette astronomique. Dans une lunette astronomique, des lentilles captent et focalisent la lumière. Dans un télescope, une série de miroirs captent la lumière et forment une image nette dans l'oculaire. Les miroirs sont plus légers que les lentilles et les grands miroirs dégradent moins les images que les lentilles de même taille. Les télescopes peuvent donc être beaucoup plus grands que les lunettes astronomiques. Les plus grands télescopes au monde sont les télescopes jumeaux Keck, installés à 4 200 m d'altitude sur le Mauna Kea, à Hawaii. Le miroir principal de chaque télescope Keck mesure 10 m de diamètre et comporte 36 cellules hexagonales. Un nouveau télescope encore plus gros est en cours de développement et sera terminé en 2015. Ce télescope aura un miroir de 30 m de diamètre. Appelé 30-M, il devrait ainsi permettre de percevoir des objets 150 fois plus sombres que ceux observés par le télescope Hubble. Des astronomes canadiens participent au projet 30-M et pourront utiliser le nouveau télescope dès la fin de sa construction.

Au chapitre 11, tu as appris que l'atmosphère terrestre dégrade l'image des objets de l'espace qui a été obtenue sur la Terre avec un télescope. La lumière des étoiles est donc dégradée par les turbulences de l'atmosphère de la Terre. C'est pour cette raison que les étoiles semblent «scintiller». De nos jours, on peut construire des télescopes avec des miroirs dont on peut modifier légèrement la forme pour compenser cette dégradation créée par l'atmosphère. Cette conception relève de l'**optique adaptative**. Des ordinateurs observent l'atmosphère pendant le fonctionnement du télescope et de petits mécanismes modifient légèrement la forme du miroir pour compenser la dégradation. Ces télescopes fournissent une meilleure image des objets éloignés. Cette technologie sera utilisée pour le nouveau télescope 30-M.

L'observation à plusieurs fréquences

Les objets éloignés, comme les étoiles, les nébuleuses et les galaxies, émettent des ondes électromagnétiques ayant plusieurs fréquences différentes. Certains télescopes peuvent capter différentes fréquences et fournir ainsi de meilleurs renseignements sur les caractéristiques de ces objets. Par exemple, la lumière visible ne traverse pas la poussière interstellaire, tandis que les ondes radioélectriques et les rayons infrarouges peuvent traverser cette poussière et nous permettre de voir plus loin dans une galaxie.

Les télescopes dans l'espace

Idéalement, un télescope pourrait observer en même temps toutes les fréquences du spectre électromagnétique. On songe aux grandes longueurs d'onde, les ondes radioélectriques, et aux très courtes longueurs d'onde, les rayons gamma très énergétiques. Mais les télescopes ne peuvent être conçus que pour une plage précise de fréquences. C'est pourquoi les astronomes doivent utiliser plusieurs télescopes différents. De plus, toutes les fréquences ne traversent pas l'atmosphère terrestre.



Lien Internet

Beaucoup de secrets de l'Univers ne sont révélés que grâce à des instruments qui recherchent l'énergie émise dans tout le spectre électromagnétique, et pas seulement dans l'étroite bande de la lumière visible. Pour en savoir plus sur les différents types de télescopes capables de détecter de l'information «non visible» sur les objets célestes, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

www.cheneliere.ca

Certains rayons infrarouges, ainsi que les rayons ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma qui sont plus énergétiques, sont absorbés par l'atmosphère et n'atteignent pas la surface de la Terre (voir la figure 12.26). Pour détecter ces rayonnements, les télescopes doivent être placés au-dessus de l'atmosphère terrestre, c'est-à-dire dans l'espace.

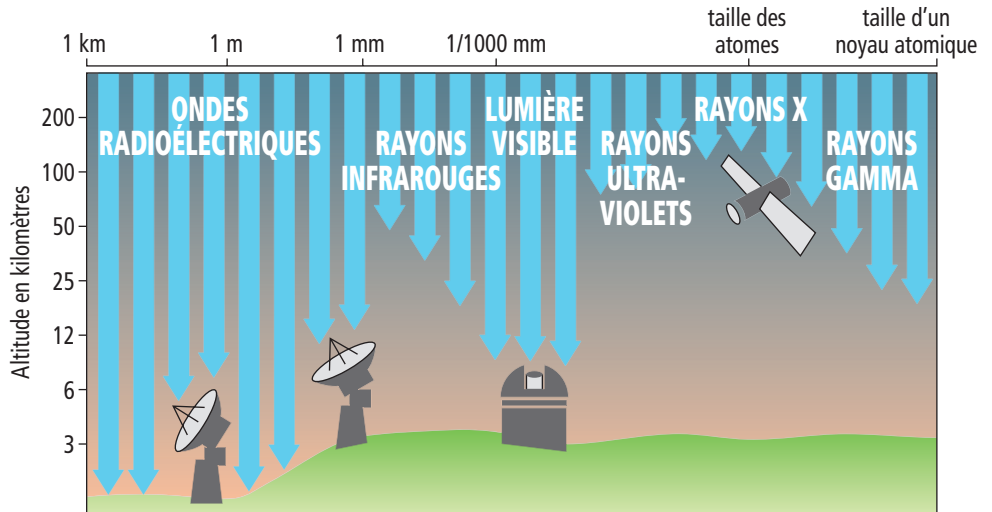


Figure 12.26 Les ondes électromagnétiques ne traversent pas toutes l'atmosphère terrestre. Les ondes radioélectriques parviennent à la surface de la Terre, mais les rayons gamma ne peuvent atteindre qu'entre 25 km et 100 km d'altitude.

Le savais-tu ?

Le télescope spatial Hubble en orbite fait le tour de la Terre à toutes les 96 minutes. Il voyage à une vitesse d'environ 8 km/s.

Le **télescope spatial Hubble** est un télescope optique qui a fourni des images des galaxies les plus anciennes jamais observées. Mis en orbite par la navette spatiale *Discovery* en 1990, le télescope Hubble (un hommage à Edwin Hubble) a changé l'astronomie. Ses images nettes des étoiles et des galaxies lointaines ont permis aux astronomes de résoudre beaucoup de problèmes (voir la figure 12.27). Grâce à lui, on a pu estimer l'âge de l'Univers entre 13 et 14 milliards d'années. En prenant des photographies de galaxies situées à 10 milliards d'années-lumière de la Terre, en captant donc de la lumière qui a mis 10 milliards d'années pour arriver jusqu'à nous, le télescope Hubble nous révèle à quoi ressemblaient les galaxies peu après le big-bang.

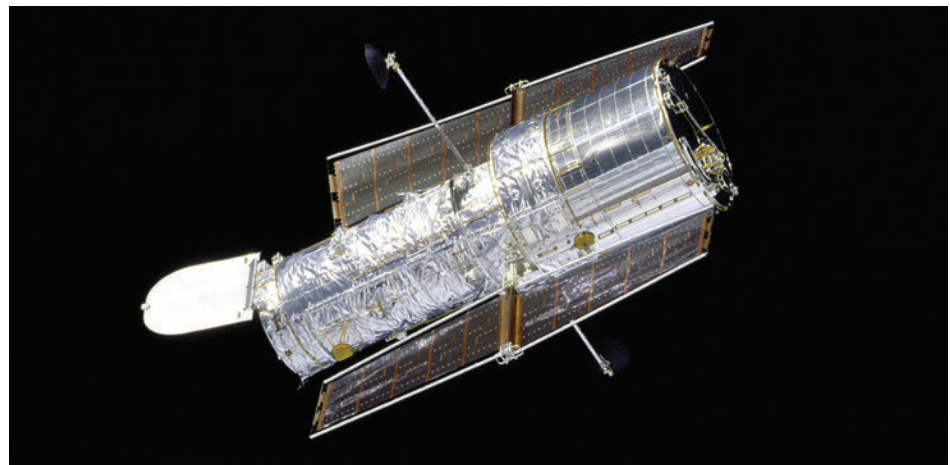


Figure 12.27 Le télescope spatial Hubble observe l'espace à partir de son orbite au-dessus de l'atmosphère terrestre. Il fournit donc des images plus nettes que ce que l'on pouvait obtenir avant, car il n'y a pas là de dégradation causée par l'atmosphère.

Les télescopes infrarouges permettent aux astronomes de « voir » à travers la matière interstellaire, en particulier dans les nébuleuses éloignées. Ces télescopes doivent être installés dans l'espace, puisque les rayons infrarouges ne pénètrent pas dans l'atmosphère terrestre (voir la figure 12.28). En 2013, la NASA prévoit de mettre en orbite un nouveau télescope infrarouge, le télescope spatial James Webb. Grâce à ce nouveau télescope, les astronomes pourront observer certaines des premières galaxies qui se sont formées après le big-bang.

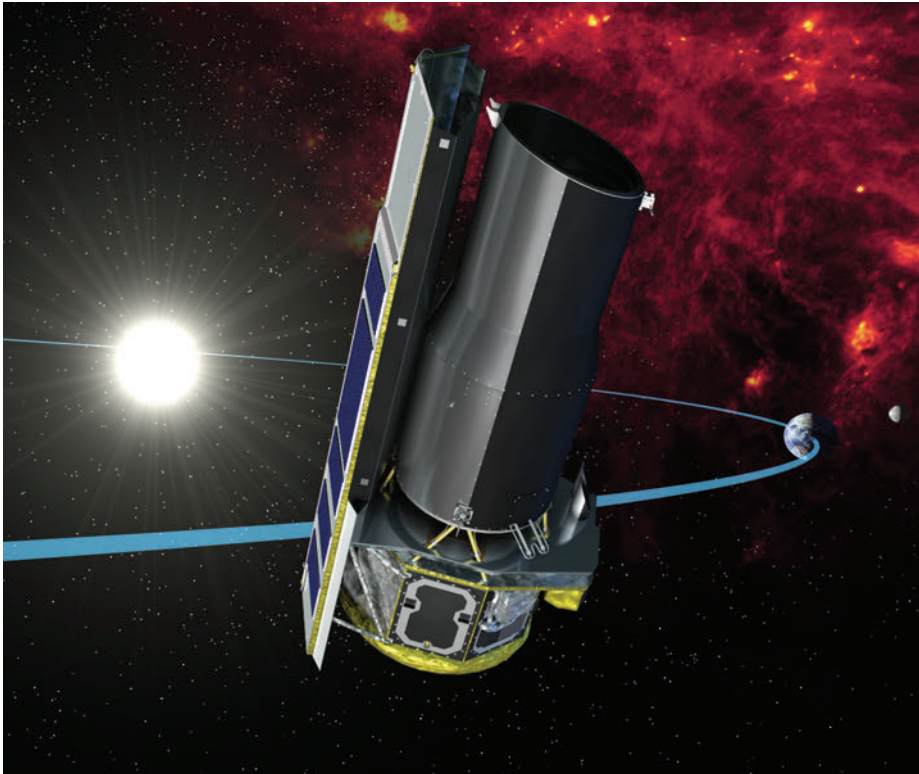


Figure 12.28 Le télescope spatial Spitzer observe les objets dans l'infrarouge. Il détecte la chaleur émise par les centres des galaxies et les nouveaux systèmes planétaires en formation. Pour pouvoir détecter cette chaleur, les senseurs doivent être refroidis à près de $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

L'observatoire à rayons X Chandra détecte les rayons X très énergétiques dans l'espace. Les rayons X sont émis par les explosions d'étoiles, les trous noirs et le centre des galaxies. Le télescope spatial Fermi à rayons gamma détecte quant à lui les rayons gamma émis par les explosion d'étoiles, les étoiles à neutrons et les galaxies (voir la figure 12.29 à la page suivante).

Grâce à tous ces télescopes en service dans l'espace, les astronomes peuvent recueillir plus d'information pour vérifier les théories actuelles sur la formation ainsi que sur le développement de l'Univers et du système solaire. Il est probable que l'un de ces télescopes puisse un jour fournir de nouvelles données qui obligeront les astronomes à repenser les théories existantes et à en élaborer de nouvelles. Cela s'est produit souvent depuis que Galilée a utilisé sa lunette astronomique et se produira sans doute à nouveau.

Approfondissement

En 2008, on a découvert du dioxyde de carbone dans l'atmosphère d'une planète en orbite autour d'une étoile découverte par Hubble. Bien que cette planète ne puisse accueillir la vie parce qu'elle est trop chaude, cette découverte a démontré qu'il est possible de déterminer si la vie sur une autre planète est possible ou non. Pour en apprendre plus sur les recherches faites au moyen des télescopes spatiaux, commence ta recherche dans Internet à partir des mots clés suivants : **planète, découverte et gaz carbonique.**

Suggestion d'activité

Réfléchis bien 12-3A, à la page 465.

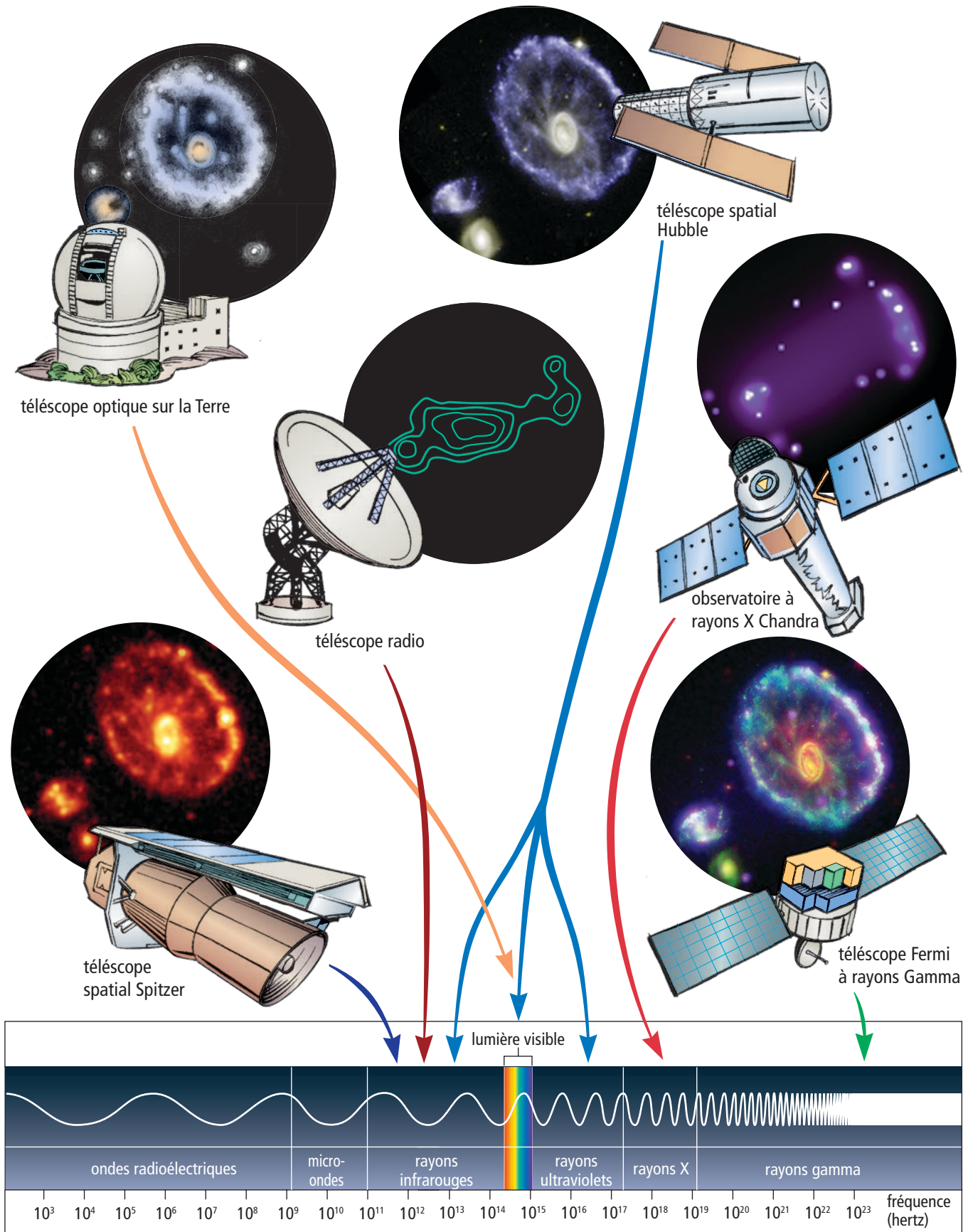


Figure 12.29 Des télescopes différents détectent des rayonnements dans des régions différentes du spectre électromagnétique. Chacun permet d'étudier différentes choses dans l'espace.

L'exploration spatiale et les voyages dans l'espace

Bien que les télescopes nous fournissent énormément de données sur l'espace, certaines choses ne peuvent être étudiées que grâce à d'autres méthodes. Voilà pourquoi des scientifiques sont allés dans l'espace, sur la Lune et dans la Station spatiale internationale pour réaliser des observations et des expériences. Toutefois, les voyages dans l'espace sont difficiles en raison des grandes distances à parcourir. Il faut en outre prévoir des réserves de nourriture et d'oxygène, protéger l'équipage du froid extrême et s'assurer que leur vaisseau spatial pourra les ramener sains et saufs. À l'heure actuelle, certaines destinations sont simplement trop éloignées pour que des humains puissent s'y rendre.

Nous explorons l'espace pour étudier l'Univers, mais c'est une aventure qui demeure en réalité très coûteuse. Le télescope spatial Hubble, lancé en 1990, a coûté près de 10 milliards de dollars. Les vols spatiaux comportent aussi de grands risques. Des astronautes ont perdu la vie lors de certaines missions. Bref, tout cela en vaut-il la peine ?

Les retombées de l'exploration spatiale et des voyages dans l'espace

L'exploration spatiale satisfait notre curiosité au sujet de notre monde. C'est en fin de compte l'une de ses plus grandes récompenses. Les humains sont curieux de nature et notre intelligence repose sur l'exploration et l'établissement de liens entre toutes nos connaissances. Nous avons déjà beaucoup appris en explorant l'espace, et les nouvelles technologies nous permettront d'en apprendre encore davantage.

Un grand nombre de technologies développées pour être utilisées dans l'espace ont trouvé de nouvelles applications sur la Terre. Ces technologies dérivées se retrouvent dans des centaines d'objets de notre quotidien. La liste est très longue, mais citons par exemple les aliments lyophilisés, des chaussures de sport ultra performantes, des casques de vélos, des vêtements contre le froid, des vêtements de sport légers, des lunettes de soleil, des pompes à insuline, des appareils d'examen oculaire, des balises radio et des ordinateurs autoréparables (voir la figure 12.30).

Il faut aussi savoir que la densité osseuse des astronautes passant plusieurs mois dans la Station spatiale internationale diminue. Cela ressemble aux symptômes de l'ostéoporose dont souffrent plusieurs personnes. Les recherches sur la prévention de ces symptômes chez les astronautes pourront nous aider à soigner les gens souffrant de cette maladie.

Enfin, l'attrait d'un voyage dans l'espace n'est plus uniquement réservé aux astronautes. Les progrès de la technologie des voyages spatiaux ont amélioré la sécurité et ont beaucoup diminué les coûts. Ainsi, le tourisme spatial est maintenant devenu une possibilité réelle.



Figure 12.30 Beaucoup d'objets de notre quotidien ont été d'abord conçus pour l'espace par des ingénieurs et des scientifiques.

Les risques de l'exploration spatiale et des voyages dans l'espace

Lors d'un voyage dans l'espace, le risque le plus évident est une défaillance du matériel. Ces problèmes peuvent survenir en raison d'une difficulté technique lors du lancement, d'une collision avec des débris dans l'espace ou d'une défaillance du bouclier thermique lors de la rentrée dans l'atmosphère. Le réservoir d'une navette spatiale contient plus de 750 000 kg de carburant très explosif, ce qui explique toutes les précautions prises au moment du lancement.

Lien terminologique

Le terme « déchet spatial » est utilisé pour décrire les débris qui sont en orbite autour de la Terre. Quelques-uns de ces débris sont notamment une caméra, une paire de pinces et une boîte complète d'outils qui ont été accidentellement échappées par des astronautes lors de missions spatiales.

La NASA estime qu'il y a des dizaines de millions de débris en orbite autour de la Terre. Ces débris vont de l'écaille de peinture et de la vis jusqu'aux vieux satellites. Peu importe leur taille, ils peuvent endommager tout ce qu'ils heurtent (voir la figure 12.31). Dans l'espace, en raison de sa vitesse, une boule de métal de la taille d'une pomme aurait la force de deux douzaines de bâtons de dynamite. Pour éviter les collisions, on a donc installé des radars sur la Terre pour surveiller la trajectoire des gros débris. Des précautions particulières sont prises pour les éviter lors des lancements ou des atterrissages.

À l'occasion, certains objets heurtent des molécules de la couche supérieure de l'atmosphère. Cela les ralentit et leur orbite se rapproche alors de la Terre. Plus ils se rapprochent, plus ils heurtent des molécules et plus ils ralentissent jusqu'à ce qu'ils pénètrent dans les zones plus denses de l'atmosphère.

Ils deviennent alors chauds à cause des frottements. La plupart des objets qui tombent se consomment dans l'atmosphère, mais de gros objets s'écrasent parfois sur la Terre. En 1978, un satellite soviétique s'est écrasé dans le Nord du Canada. En 2003, la navette *Columbia* s'est désintégrée quand une brèche dans le bouclier thermique a laissé des gaz chauds entrer dans l'aile, emportant avec elle les six membres de l'équipage. Les débris de la navette ont été dispersés dans trois États américains. Dans les deux cas, il n'y a eu aucun blessé au sol.

Récemment, deux satellites inhabités sont entrés en collision au-dessus de la Sibérie. Cette collision a produit deux vastes nuages de



Figure 12.31 La NASA estime qu'au moins deux collisions se produisent chaque jour entre des satellites en service et des débris en orbite autour de la Terre. Cette illustration montre tout le matériel connu en orbite autour de la Terre.

débris pouvant causer des problèmes durant plusieurs années. Ces débris peuvent heurter d'autres satellites et les endommager, ou mettre en danger la vie des astronautes dans la station spatiale. Régulièrement, les astronautes de la station spatiale doivent donc modifier leur orbite pour éviter ces débris. D'autres débris survivent à la rentrée dans l'atmosphère terrestre et tombent sur Terre. En 1978, en rentrant au-dessus de l'Arctique, un satellite soviétique avait dispersé des radiations dangereuses sur une zone étendue. Cet incident avait requis de longues et coûteuses procédures de nettoyage.

En plus de ces risques, les astronautes sont soumis aux radiations solaires. Sur Terre, le champ magnétique terrestre et l'atmosphère nous protègent des radiations dangereuses. Les astronautes en orbite bénéficient d'une certaine protection, mais le personnel de la station spatiale reçoit plus de radiations que les habitants de la Terre. Dès que les astronautes vont sur la Lune ou vers des destinations plus lointaines dans le système solaire, ils sont exposés à des doses de radiations plus élevées. Lors de tempêtes solaires intenses, ces radiations pourraient même être mortelles.

Le terme **éthique** réfère à un ensemble de valeurs et de principes moraux qui guident nos actions et nous aident à décider ce qui est bien ou mal. En matière d'exploration spatiale et d'utilisation des ressources de l'espace, il est important de considérer un certain nombre de questions éthiques. Comme pour toutes les ressources, les motivations économiques devraient tenir compte de l'environnement et des gens. Les êtres humains doivent être conscients des conséquences possibles de leurs gestes sur leurs congénères et sur la planète. Le tableau ci-dessous regroupe quelques questions importantes auxquelles il faut répondre pour s'assurer que l'exploration spatiale et l'utilisation de l'espace respectent des règles éthiques.

Le savais-tu ?

En 1979, la première station spatiale américaine *Skylab* s'est désintégrée lors de son entrée dans l'atmosphère terrestre. Des morceaux sont tombés dans l'océan Indien et quelques-uns en Australie. Le gouvernement australien a imposé aux États-Unis une amende de 400\$ pour avoir jeté des déchets.

Tableau 12.1 Quelques questions sur l'exploration spatiale et les voyages dans l'espace

Éthique	<ul style="list-style-type: none"> • Comment faire pour que les ressources de l'espace servent à toute l'humanité, et non à un seul pays ? • Les êtres humains ont-ils le droit d'envahir d'autres environnements uniques dans notre système solaire ? • Avons-nous le droit d'extraire des matériaux d'autres corps célestes du système solaire ? • Pourrait-on régler d'autres problèmes sur Terre avec l'argent consacré à l'exploration spatiale ?
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Quels seront les effets de l'exploration spatiale sur les écosystèmes de la Terre ? • Quelles conséquences aura l'extraction de matériaux sur les astéroïdes, les lunes et les planètes ? • Qui est responsable de la surveillance des effets sur l'environnement ? • Qui doit être réparer les dégâts et nettoyer les débris résultant de l'exploration spatiale ?
Politique	<ul style="list-style-type: none"> • Qui est propriétaire des ressources de l'espace ? • Les pays devraient-ils se partager les technologies et les ressources ? • Qui devrait décider de l'utilisation des ressources ?

L'exploration spatiale progresse à grands pas. Il faut donc s'empresser de résoudre ces questions, car elles ont un impact sur tous les peuples de la Terre. En particulier, devrions-nous penser à l'exploration spatiale alors qu'il y a tant de problèmes à régler sur notre propre planète? Chose certaine, on ne doit pas négliger ces préoccupations en les transmettant aux générations futures.

Suggestion d'activité

Réalise une expérience 12-3C, à la page 466.

Notre avenir dans l'espace

Que réserve l'avenir aux futurs voyageurs de l'espace? Déjà, des citoyens ordinaires ont acheté des voyages vers la Station spatiale internationale. Le prix à payer, de 20 à 30 millions de dollars américains, est hors de portée de la plupart des gens. Cependant, l'industrie du tourisme spatial est appelée à se développer et les prix baisseront. Certaines entreprises offriront sous peu des expéditions hors de l'atmosphère terrestre afin que les voyageurs puissent faire l'expérience de l'apesanteur et de l'obscurité totale de l'espace (voir la figure 12.32). Dans vingt ans, qui sait si un voyage dans l'espace ne coûtera pas plus cher qu'un voyage au pôle Sud aujourd'hui.

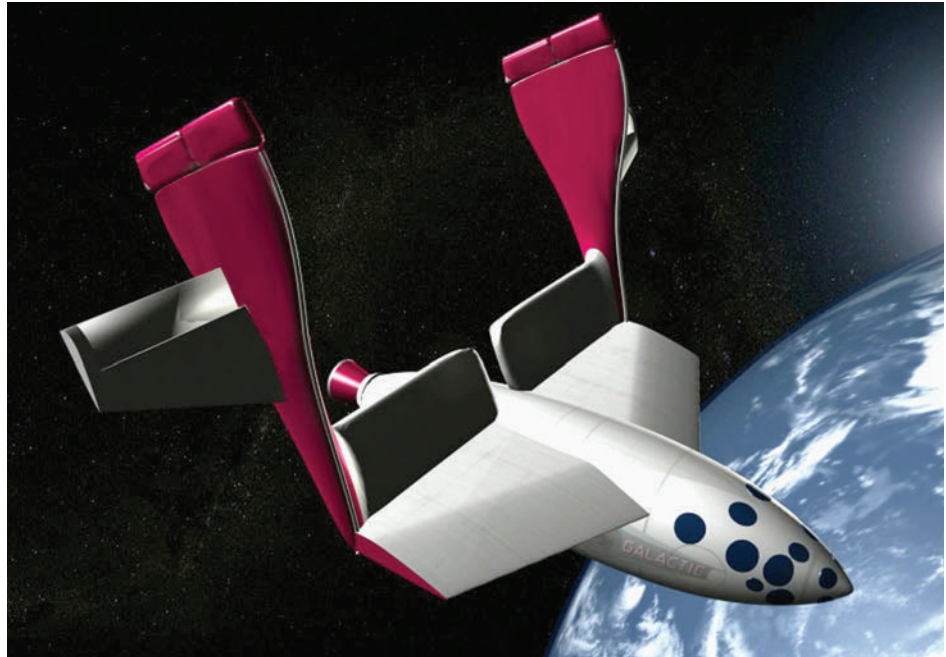


Figure 12.32 Bientôt, des touristes voyageront peut-être aux confins de l'atmosphère terrestre dans des engins comme celui-ci.

Les projets de voyage vers la Lune ou d'autres planètes sont plus incertains. Certaines équipes travaillent à préparer des voyages vers la Lune d'ici 2020. Des équipes de quatre personnes passeraient quelques semaines sur la Lune et pourraient éventuellement y installer une base permanente inhabitée. Cette base pourrait servir à la préparation de futurs voyages vers Mars. Cependant, les voyages vers cette planète ne sont pas pour demain. Il s'agit en effet d'une entreprise très coûteuse et de longue durée.

Vérifie ta lecture

1. Comment les inventions du télescope et de la lunette astronomique ont-elle contribué à l'astronomie?
2. Quelle est la principale différence entre les lunettes astronomiques et les télescopes?
3. Quel est l'avantage du télescope infrarouge par rapport au télescope optique?
4. Donne trois risques potentiels liés à l'exploration spatiale et aux voyages dans l'espace.

Les astronomes utilisent de nombreuses sortes d'instruments pour sonder l'Univers. Dans cette activité, tu montreras comment les progrès de la technologie ont permis de nouvelles découvertes qui ont conduit ces savants à modifier leurs théories existantes ou à en élaborer de nouvelles sur le système solaire, les étoiles, les galaxies et la formation de l'Univers.

Ce que tu dois faire

1. Choisis l'un des sujets ci-dessous :
 - a) Fais des recherches sur l'utilisation des télescopes ou des radiotélescopes terrestres. Explique comment les astronomes travaillent, fais une liste de leurs observations et associe-les à certaines de leurs conclusions.
 - b) Fais des recherches sur la contribution des télescopes spatiaux à nos connaissances sur
2. Présente les résultats de tes recherches en classe sous forme d'un court exposé ou d'une affiche.

l'Univers. Que nous permettent-ils d'observer ? Comment ? Quelles conclusions les scientifiques ont-ils tirées de ces observations ?

- c) Fais des recherches sur la contribution du télescope Canada-France-Hawaï et du radiotélescope VLA à nos connaissances sur l'Univers. Qu'est-ce que ces télescopes ont permis aux astronomes de réaliser (et qui n'était pas possible auparavant) ? Comment les scientifiques qui utilisent ces télescopes coopèrent-ils entre eux ?

Il existe aujourd'hui plusieurs carrières possibles dans le domaine de l'exploration spatiale. Dans cette activité, tu décriras des carrières en science et en technologie qui sont offertes au Canada et qui sont liées au domaine de l'exploration spatiale.

Ce que tu dois faire

1. Fais des recherches sur l'une des carrières suivantes :
 - i) astronaute ;
 - ii) biologiste ;
 - iii) ingénieur ou ingénieure en structure ;
 - iv) médecin ;
 - v) pilote ;
 - vi) technicien ou technicienne en informatique.Dresse une liste des compétences principales qui sont nécessaires pour la carrière choisie. Fais aussi une liste des principales tâches qu'il faut savoir effectuer.
2. Décris le rôle d'une personne qui a choisi cette carrière dans une équipe travaillant dans le domaine de l'exploration spatiale. Si nécessaire, fais d'autres recherches pour savoir quels rôles ont joués, en matière d'exploration spatiale, d'autres personnes ayant fait une carrière semblable.
3. Rédige une offre d'emploi pour un poste en exploration spatiale qui serait lié à cette carrière. Inclus les éléments suivants :
 - l'expérience et les compétences requises ;
 - les tâches liées au poste offert ;
 - le superviseur immédiat ;
 - les conditions de travail (par exemple, le travail à l'extérieur ou à l'intérieur, le nombre d'heures de travail, la nécessité de voyager, etc.).

Vérifie tes compétences

- Communiquer
- Évaluer l'information
- Travailler en collaboration
- Déterminer les problèmes éthiques

Question

Doit-on dépenser des sommes importantes pour l'exploration spatiale plutôt que pour des projets sur la Terre ?

Contexte

Quand la technologie nous a fait passer à « l'âge de l'espace », de nouveaux problèmes en rapport avec l'exploration spatiale se sont posés. Ce qui n'était au départ que des travaux de recherche scientifique est rapidement devenu une course au profit. Sans aucun doute, l'espace offre des perspectives d'avenir illimitées, mais l'exploitation des ressources a habituellement un coût environnemental comme nous avons pu le constater sur la Terre. Les êtres humains doivent ainsi évaluer les risques et les bénéfices des voyages spatiaux avant de prendre des décisions irréversibles. Pour certains, il faudrait remplacer la question « Pouvons-nous y aller ? » par « Devrions-nous y aller ? » Cette section traitera donc des risques et des bénéfices des voyages dans l'espace.

Identification et analyse des options

Dans ce module, tu as appris comment les êtres humains utilisent la technologie pour observer, étudier et explorer l'espace. Les bénéfices et les retombées de l'exploration spatiale ont permis de grands progrès dans les domaines de la santé, des communications et de l'observation de la Terre. Cependant, l'exploration spatiale nécessite des ressources et des budgets énormes. Le désir de mieux connaître notre Univers doit être mis en perspective avec les risques posés à l'environnement spatial, les coûts financiers et le risque d'une militarisation de l'espace. Chaque année, il semble que « l'espace » devienne de plus en plus accessible. Les hôtels en orbite, les vacances sur la Lune et même les voyages interplanétaires ne sont plus réservés seulement à la science-fiction.

L'industrie aérospatiale est constamment confrontée à une question essentielle : les humains doivent-ils dépenser autant d'argent pour l'exploration spatiale ou devraient-ils plutôt consacrer ces ressources à résoudre des problèmes sur notre planète ? Dans cette activité, tu devras prendre position au sujet des investissements massifs en exploration spatiale et soutenir ta position à l'aide d'arguments. Fais tes recherches en consultant les ressources suivantes :

1. Rends-toi à l'adresse www.cheneliere.ca pour te renseigner sur les coûts et les bénéfices de l'exploration spatiale.
2. Cherche des articles de journaux ou de magazines traitant des aspects positifs et négatifs de l'exploration spatiale.
3. Choisis un point de vue fondé sur tes recherches. Résume ta pensée et tes arguments en rédigeant un court rapport.

Conclusion

Présente ton opinion et le résultat de tes recherches lors d'un exposé oral ou d'un débat. Tu dois pouvoir défendre ton point de vue en t'appuyant sur des données pertinentes.

Omnitruc

Consulte l'Omnitruc 3 pour apprendre comment réaliser une recherche.

Des concepts à retenir

1. Quelle caractéristique du projet 30-M permettra aux astronomes d'observer plus d'objets dans l'espace que les télescopes Keck?
2. Que signifie l'expression «optique adaptative»?
3. Quelles sont les fréquences qui traversent difficilement l'atmosphère terrestre?
4. Quelles découvertes ont été rendues possibles grâce au télescope spatial Hubble?
5. Nomme les difficultés qu'éprouvent les humains lors des voyages dans l'espace.
6. La technologie liée à l'exploration spatiale a débouché sur l'invention de plusieurs produits utiles pour la vie quotidienne sur Terre. Nomme cinq de ces produits.
7. Explique pourquoi il est peu probable que l'on réalise la «terraformation» de Mars de ton vivant.
8. La plupart des débris qui flottent autour de la Terre sont plus petits qu'une balle de base-ball. Pourquoi des objets si petits préoccupent-ils les astronautes dans l'espace?
9. Si tu voyageais dans l'espace, à quels types d'expériences devrais-tu t'attendre?

Des concepts clés à comprendre

10. Quels sont les avantages des télescopes sur les lunettes astronomiques?
11. Décris un inconvénient à utiliser un télescope dans l'espace.
12. Les astronomes utilisent des télescopes différents selon les observations qu'ils veulent faire. Indique à quelle catégorie les télescopes suivants appartiennent et à quoi ils servent:
 - a) le télescope spatial Hubble;
 - b) le télescope spatial James Webb;
 - c) le télescope spatial Spitzer;
 - d) l'observatoire à rayons X Chandra;
 - e) le télescope spatial à rayons gamma Fermi.
13.
 - a) Que sont les débris de l'espace?
 - b) Qu'arrive-t-il à un débris de l'espace quand son orbite se rapproche de la Terre?
14. Imagine que tu sois un astronaute et que tu prépares un voyage vers une base lunaire. Nomme trois risques possibles lors de ton vol.

Pause réflexion

Dans cette section, tu as constaté que la pollution s'étend au-delà des limites de la Terre. Tu as en effet appris que des millions de débris sont en orbite autour de la Terre. À ton avis, un organisme international devrait-il veiller à mieux encadrer l'exploration spatiale afin d'éviter une telle situation? Rédige un court paragraphe qui explique ta position.

Prépare ton propre résumé

Rédige ton propre résumé des idées principales de ce chapitre. Tu peux ajouter des organisateurs graphiques ou des illustrations à tes notes. (Voir l'Omnitruc 8 pour savoir comment utiliser les organisateurs graphiques.) Sers-toi des titres suivants pour organiser tes notes :

1. Les technologies pour comprendre les étoiles et les galaxies
2. Les théories pour expliquer les origines et le futur de l'Univers
3. La mesure des distances dans l'espace
4. L'exploration spatiale

Des concepts à retenir

1. Qu'est-ce qu'une galaxie ?
2. De nos jours, quel est le nom de la principale théorie sur la formation de l'Univers ?
3. Selon les scientifiques, depuis combien de temps l'Univers est-il en expansion ?
4. Qu'avait remarqué Edwin Hubble sur le déplacement des galaxies lointaines et qui l'a conduit à formuler son hypothèse sur l'expansion de l'Univers ?
5. Les astronomes disent que la lumière provenant des galaxies lointaines est décalée vers le rouge. Que signifie cette expression ?
6. Explique la formation des objets suivants :
 - a) les étoiles ;
 - b) les planétésimaux ;
 - c) les planètes.
7. Pourquoi dit-on que les plus grosses planètes du système solaire sont des « géantes gazeuses » ?
8. Pourquoi utilise-t-on les années-lumière pour mesurer les distances dans l'espace ?
9. Quelle est la force qui retient les milliards d'étoiles à l'intérieur d'une galaxie ?
10. À quelle catégorie de galaxie la Voie lactée appartient-elle ?
11. Quel est le type de réaction qui fait briller les étoiles ?

12. Décris les caractéristiques physiques propres à chacune des étapes suivantes du développement d'une étoile :
 - a) naine rouge ;
 - b) naine blanche ;
 - c) géante rouge ;
 - d) naine noire ;
 - e) supernova ;
 - f) étoile à neutrons.
13. Quels sont les avantages des télescopes en orbite, comme le télescope spatial Hubble, par rapport aux télescopes terrestres ?
14. Quel est l'avantage des télescopes avec une optique adaptative sur les télescopes standards ?
15. Résume quelques-unes des principales découvertes faites avec le télescope Hubble.
16. Pourquoi les télescopes infrarouges doivent-ils être dans l'espace ?
17. Explique pourquoi il est moins coûteux d'envoyer des robots mobiles plutôt que des astronautes sur une autre planète.
18. Les technologies de l'exploration spatiale ont trouvé beaucoup de nouveaux usages sur la Terre. Nomme deux technologies initialement conçues pour l'espace et utilisées quotidiennement.

Des concepts clés à comprendre

19. Selon les astronomes, quelle serait la cause du rayonnement cosmologique ?
20. Quelles observations ont porté Hubble à penser que l'Univers est en expansion ?
21. Quelles sont les ressemblances entre un ballon qui se gonfle et l'Univers en expansion ?
22. Imagine qu'un astronome observe un groupe de trois galaxies. Si le spectre de chacune est décalé vers le rouge, que pourra conclure cet astronome au sujet de ces galaxies ?

23. Un astronome utilise la parallaxe pour déterminer la distance d'une étoile à la Terre. Il remarque que l'étoile ne change pas de position lorsqu'il l'observe depuis deux endroits différents. Que doit conclure l'astronome ?
24. Quelle est la différence de forme entre une galaxie spirale et une galaxie elliptique ?
25.
 - a) Explique pourquoi les trous noirs sont invisibles.
 - b) Si les trous noirs sont invisibles, comment les astronomes savent-ils qu'ils existent ?
26. Comment la découverte des quasars a-t-elle permis aux astronomes de mieux comprendre l'Univers ?
27. Carl Sagan a affirmé qu'il y a plus d'étoiles dans l'Univers que de grains de sable sur toutes les plages de la Terre. Explique cette affirmation.
28. Il existe plusieurs types de télescopes pour explorer les confins de l'Univers. Indique la région du spectre électromagnétique détectée par chaque télescope ci-dessous :
 - a) le télescope spatial Hubble ;
 - b) l'observatoire Chandra ;
 - c) le télescope spatial Fermi ;
 - d) le télescope spatial Spitzer.
29. Quelles seraient les difficultés de la « terraformation » d'une planète telle que Mars ?
30. Les débris de l'espace constituent un danger pour les satellites dans l'espace. Ces débris représentent-ils un danger pour les habitants de la Terre ? Explique ta réponse.

Pause réflexion

La technologie de l'exploration spatiale a mené au développement des télescopes, à la construction de la Station spatiale internationale, à d'éventuels projets de voyages privés dans l'espace ou encore à la terraformation d'autres planètes. Dans quelle mesure le Canada devrait-il participer à ces aventures ? L'exploration spatiale vaut-elle les coûts et les risques qui en découlent ? Rédige un court paragraphe pour décrire ta position sur la participation canadienne à ces projets.

10 Nos connaissances sur l'Univers : le fruit de milliers d'années d'études

- Les constellations sont des groupes d'étoiles ayant une forme remarquable. Ce terme provient du latin et signifie « avec des étoiles ». (10.1)
- La magnitude décrit la brillance d'une étoile. Elle dépend de sa distance à la Terre. (10.1)
- Les observations et les notes des premiers astronomes ont grandement contribué à nos connaissances actuelles de la Terre et de l'Univers. (10.2)
- Au XVI^e siècle, quand il a été établi que le Soleil est au centre du système solaire et que les planètes tournent autour du Soleil, les astronomes ont commencé à expliquer les mouvements des planètes. (10.3)

11 L'exploration spatiale et l'amélioration progressive de nos connaissances sur le système solaire

- La chaleur et la lumière du Soleil rendent possible la vie sur Terre. En étudiant le Soleil, les scientifiques en apprennent beaucoup sur les étoiles de taille moyenne. (11.1)
- Les planètes, les lunes, les astéroïdes et les comètes se déplacent autour du Soleil et font partie de notre système solaire. Les huit planètes de notre système solaire sont séparées par de très grandes distances. (11.2)
- Grâce à la technologie, nous pouvons voir plus loin dans l'espace et améliorer nos connaissances de l'Univers. Les bras robotiques de conception et de fabrication canadiennes sont l'une des grandes réussites du programme de la NASA. (11.3)
- La Station spatiale internationale (SSI) est en orbite autour de la Terre. On dit toutefois qu'elle est en effet maintenue en orbite par l'attraction gravitationnelle de la Terre. (11.3)

12 L'exploration spatiale et l'étude des étoiles, des nébuleuses et des galaxies hors de notre système solaire

- Il y a environ 13,7 milliard d'années, l'Univers se serait formé rapidement dans un petit volume d'espace. C'est ce que nous appelons le big-bang. (12.1)
- L'année-lumière est l'unité de mesure utilisée pour mesurer les énormes distances à l'extérieur de notre système solaire. Une année-lumière correspond à la distance parcourue par la lumière, qui se propage à 300 000 km/s, en une année. Cela équivaut à près de 9,5 billions de km. (12.1)
- Une étoile est un objet formé de gaz chauds et dont le cœur fonctionne comme un réacteur thermonucléaire. Les astronomes estiment que 9 000 milliards de milliards d'étoiles se sont formées au cours des 13,7 milliards d'années d'existence de l'Univers. Notre Soleil est l'une des 100 milliards d'étoiles de notre galaxie, la Voie lactée. (12.2)
- Grâce aux progrès constants des outils et des technologies, les astronomes font sans cesse de nouvelles découvertes. (12.3)
- Les débris en orbite autour de la Terre peuvent endommager tout ce qu'ils heurtent, peu importe leur taille. La NASA estime qu'il y a des dizaines de millions de débris en orbite autour de la Terre. Les scientifiques surveillent la trajectoire des plus gros débris pour les éviter lors d'un lancement ou d'un atterrissage. (12.3)

Chapitre 10



Mots clés

- astérisme
- astrolabe
- constellation
- constellation circumpolaire
- constellation du zodiaque
- corps céleste
- écliptique
- ellipse
- épicycle
- géocentrique
- héliocentrique
- magnitude
- mouvement rétrograde
- orbite

Chapitre 11



Mots clés

- astéroïde
- ceinture de Kuiper
- chromosphère
- comète
- couronne solaire
- lune
- lunette astronomique
- météo spatiale
- météore
- météorite
- météoroïde
- nuage d'Oort
- orbite géostationnaire
- photosphère
- planète
- planète naine
- protubérance solaire
- radiation solaire
- radiotélescope
- réaction thermonucléaire
- robot mobile
- satellite
- sonde
- tache solaire
- télescope
- transit
- unité astronomique (UA)
- vent solaire

Chapitre 12



Mots clés

- année-lumière
- axe
- décalage cosmologique vers le rouge
- éthique
- étoile
- fusion nucléaire
- galaxie
- galaxie elliptique
- galaxie irrégulière
- galaxie spirale
- matière interstellaire
- nébuleuse
- optique adaptative
- parallaxe
- planétésimal
- quasar
- raie spectrale
- rayonnement électromagnétique
- révolution
- rotation
- spectroscopie
- supernova
- télescope spatial Hubble
- théorie de l'oscillation
- théorie du big-bang
- triangulation
- trou noir

La conception d'une ville minière sur la Lune



Dans ce module, tu as beaucoup appris sur la nature de l'espace, les progrès de l'exploration spatiale et les possibilités des voyages dans l'espace. Beaucoup de scientifiques croient que la Lune, notre voisine céleste la plus proche, offre plusieurs ressources précieuses telles que du fer et beaucoup d'autres minerais.

Imagine que tu fais partie d'une équipe formée par une entreprise privée pour concevoir une ville minière moderne sur la Lune et en construire la maquette à l'échelle.

Problème

Que doit offrir une colonie lunaire à ses habitants pour qu'ils puissent y vivre en sécurité et extraire du minerai destiné à la Terre ?

Exigences

La maquette de la base lunaire doit comporter un certain nombre de sections reliées entre elles. Les membres du groupe détermineront la taille, la forme et le nombre de sections, mais il faut considérer les éléments suivants :

- des quartiers résidentiels ;
- les transports dans la base lunaire ;
- des activités récréatives ;
- les stratégies d'excavation et la technologie pour l'extraction du minerai ;
- la santé physique et mentale des habitants.

Marche à suivre

Partie 1 La conception

1. En équipe, faites un remue-méninges pour trouver tout ce qui est nécessaire aux gens pour vivre et travailler plusieurs mois d'affilée sur une base lunaire.
2. Pensez aux difficultés à surmonter pour vivre sur la Lune. Déterminez comment chaque section de la maquette résoudra ces problèmes. Consultez votre enseignant ou enseignante, ou faites une recherche dans Internet pour trouver des suggestions.
3. Tracez les plans de la maquette en utilisant une échelle appropriée. Par exemple, une boîte à chaussures peut-être à la bonne échelle pour représenter un quartier résidentiel.
4. Dressez une liste des matériaux nécessaires pour construire la maquette. Choisissez du matériel facile à trouver pour représenter les différents éléments ou construisez votre maquette avec du papier et du carton. Faites valider votre liste par votre enseignant ou enseignante.

Partie 2 La construction de la maquette

5. En suivant votre schéma, procurez-vous le matériel nécessaire et construisez votre maquette à l'échelle.
6. Une fois la construction terminée, passez en revue la liste de critères énumérés dans la présentation du projet. Votre maquette doit posséder tous les éléments nécessaires pour répondre aux besoins des habitants et pour exploiter la mine.

Présentez vos découvertes

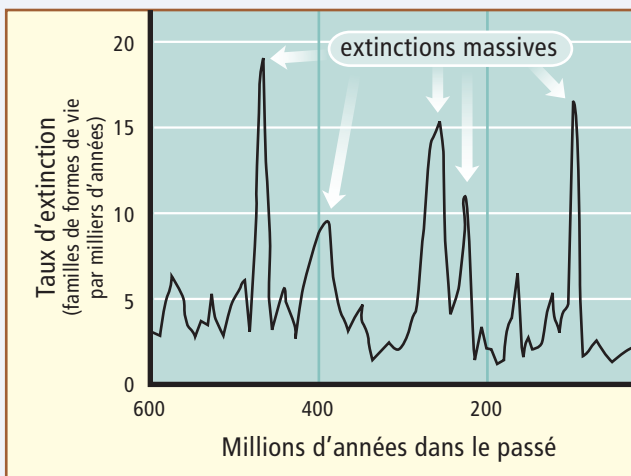
Présentez votre projet à la classe selon les instructions de votre enseignante ou de votre enseignant. Expliquez la solution retenue pour répondre à chaque critère. Comparez votre maquette avec celles des autres groupes. Quels sont les éléments semblables et différents ?

« C'est un oiseau, c'est un avion, c'est un astéroïde ! »

Les astronomes appellent « géocroiseurs » les astéroïdes, les comètes et les autres corps célestes de taille comparable dont l'orbite passe près de la Terre à cause de l'attraction gravitationnelle de la planète. Les astéroïdes potentiellement dangereux constituent un sous-ensemble de géocroiseurs. Ces astéroïdes mesurent plus de 2 km et pourraient entrer en collision avec la Terre avec une force qui générerait autant d'énergie que des millions de mégatonnes d'explosifs.

Mise en situation

On estime que des collisions entre la Terre et un autre objet céleste de taille importante se produisent environ une fois tous les 100 millions d'années. Le risque d'une collision avec la Terre est donc extrêmement faible, mais ses conséquences seraient catastrophiques. On croit que les impacts précédents ont déclenché des tremblements de terre. Ils auraient aussi envoyés tant de poussière et de débris dans l'atmosphère que le climat de la Terre aurait été modifié pendant des années. Certains scientifiques attribuent la disparition des dinosaures à l'impact d'un astéroïde survenu il y a environ 65 millions d'années.



Qu'arriverait-il si les astronomes découvraient qu'un gros astéroïde se dirige vers la Terre ? Dans le meilleur des cas, cet avertissement serait

lancé des années avant la collision. De nombreux scientifiques, ingénieurs et techniciens réfléchissent depuis des années pour trouver une solution. On pourrait par exemple détruire l'astéroïde. On pourrait aussi y attacher une fusée pour modifier sa trajectoire. On a même pensé à placer une voile solaire sur l'astéroïde ou à peindre l'un de ses côtés en noir pour qu'il absorbe les radiations solaires. Ces méthodes devraient être mises en œuvre plusieurs années, voire même plusieurs décennies, avant la date prévue de la collision.



Un astéroïde potentiellement dangereux pourrait endommager toute la planète. Heureusement, les collisions entre la Terre et les astéroïdes sont extrêmement rares.

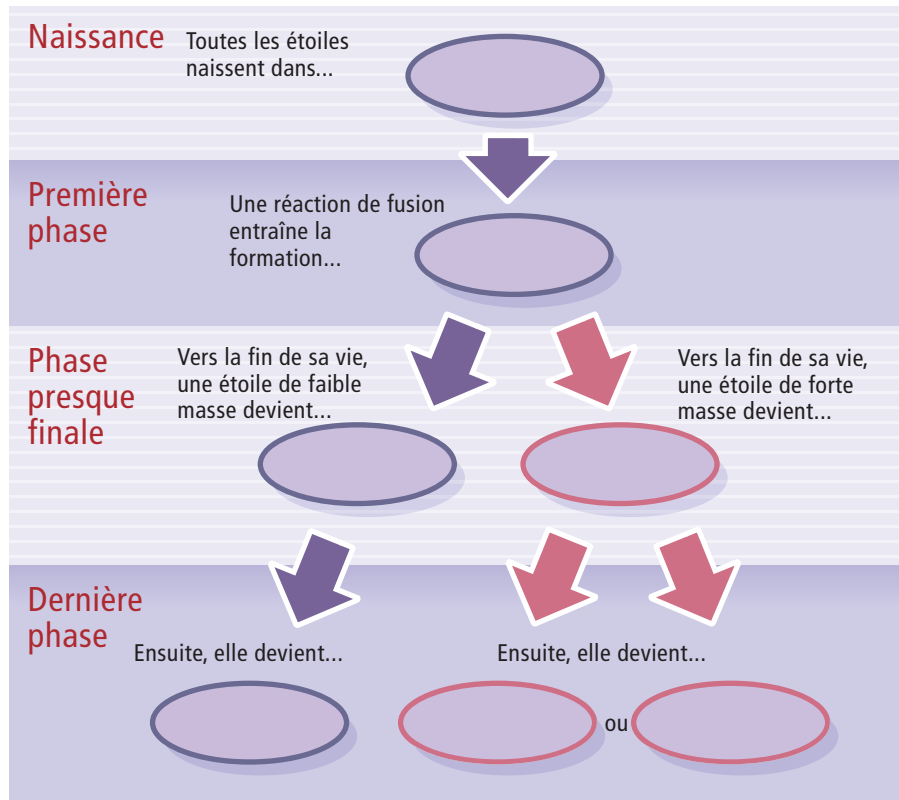
Renseigne-toi

Fais des recherches sur les techniques proposées par les scientifiques afin de protéger la Terre des objets géocroiseurs, en particulier des astéroïdes. Consulte Internet (en commençant ta recherche à l'adresse www.cheneliere.ca), des magazines ou des journaux. Tu peux aussi contacter le département d'astronomie d'une université ou la section locale de la Société royale d'astronomie du Canada pour obtenir des renseignements.

Présente tes découvertes

1. Choisis l'une des techniques que tu as étudiées. Prépare ensuite un rapport, une affiche ou une maquette pour présenter tes découvertes.
2. Quelle que soit ta méthode de présentation, assure-toi de répondre aux questions suivantes :
 - a) Cette technologie existe-t-elle ou est-elle uniquement en phase de recherche ?
 - b) Quel serait le délai de mise en œuvre de cette technologie ?

1. Copie le schéma ci-dessous dans ton cahier. Complète-le en utilisant le vocabulaire approprié pour décrire la formation et l'évolution d'une étoile.



Des mots clés à employer

2. Dans ton cahier, indique si les énoncés suivants sont vrais ou faux. S'ils sont faux, reformule l'énoncé pour qu'il soit vrai.
- Un groupe de planètes ayant une forme remarquable dans le ciel porte le nom de constellation.
 - La Voie lactée est un exemple d'astérisme.
 - La théorie héliocentrique place la Terre au centre de l'Univers.
 - Les planètes géantes gazeuses ont une croûte rocheuse.
 - La couronne solaire est la partie la plus externe de l'atmosphère du Soleil.
 - La révolution est le mouvement d'une planète tournant sur son axe.
 - Le cœur d'une étoile est comme une fournaise nucléaire.
 - La plupart des étoiles se forment dans un nuage tourbillonnant de gaz et de poussière appelé amas stellaire.
 - Notre système solaire comprend huit planètes.
 - Les robots mobiles sont envoyés en orbite autour de planètes lointaines.
 - Un groupe de millions ou de milliards de planètes est appelé une galaxie.
 - La théorie du big-bang concerne le moment de la formation de la Terre.
 - On utilise les années-lumière pour mesurer les distances qui nous séparent des étoiles à l'extérieur de notre système solaire.
 - Les trous noirs ont une telle force gravitationnelle que même la lumière ne peut s'en échapper.
 - Les supernovas fournissent du carbone à l'environnement terrestre.

Des concepts à retenir

10

3. Les premiers astronomes croyaient que les planètes tournaient autour du Soleil selon une trajectoire circulaire. Quelle est la véritable forme de leur trajectoire?
4. a) Qu'est-ce que le modèle géocentrique du système solaire?
b) Comment sait-on que le modèle géocentrique est inexact?
5. Quel instrument Ptolémée a-t-il utilisé pour situer et prédire les positions du Soleil, de la Lune et des étoiles?
6. Quelles observations Galilée a-t-il réalisées avec sa lunette astronomique?
7. Quelles sont les lois du mouvement des planètes énoncées par Kepler?
8. Comment Sir Isaac Newton a-t-il expliqué le mouvement des corps célestes dans l'Univers?

11

9. Quel processus nucléaire génère de l'énergie dans les étoiles?
10. Quel est le nom de la partie de la surface du Soleil qui est jaune?
11. Pourquoi les taches solaires apparaissent-elles plus sombres que les régions autour d'elles?
12. Qu'est-ce que l'UA?
13. Nomme quatre différences entre Jupiter et Mercure.
14. Pourquoi Pluton est-elle maintenant considérée comme une planète naine?
15. Qu'est-ce qu'un objet transneptunien? Donne-en un exemple.
16. Que trouve-t-on dans la charge utile d'une fusée?
17. Quelles sont les améliorations apportées au bras Canadarm 2 pour le rendre encore plus efficace que Canadarm 1?
18. Dans quelles conditions un satellite est-il en orbite géostationnaire autour de la Terre?
19. Quel terme devrions-nous utiliser pour décrire le fait que les astronautes semblent « flotter » dans l'espace?

12

20. a) Quel nom donne-t-on à la théorie la plus largement acceptée sur la formation de l'Univers?
b) Selon les astronomes, à quel moment l'Univers s'est-il formé?
21. Pourquoi les astronomes n'utilisent-ils pas l'unité astronomique pour mesurer les distances entre les étoiles?
22. L'astronome américain Edwin Hubble avait observé que la lumière provenant des galaxies lointaines était décalée vers la partie rouge du spectre. Quelle explication a-t-il donnée à ce phénomène?
23. Quel est le type de galaxie illustré dans l'image ci-dessous?



24. Pourquoi toutes les étoiles deviennent plus tard des géantes rouges?
25. Pourquoi les astronomes doivent-ils placer des télescopes au-dessus de l'atmosphère terrestre?
26. Nomme deux bénéfices et deux risques des voyages dans l'espace.

Des concepts clés à comprendre

27. Quelles planètes portent des noms de dieux romains?
28. Quels sont les deux facteurs affectant la magnitude d'une étoile?
29. Explique pourquoi les constellations semblent bouger dans le ciel nocturne.

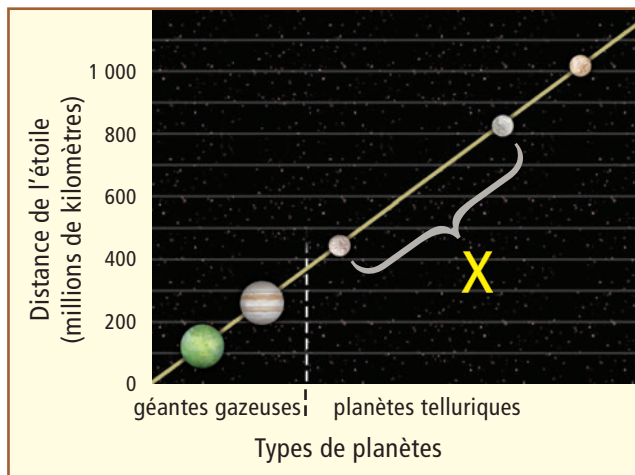
30. Résume les contributions de chaque astronome ci-dessous :
 - a) Aristarque;
 - b) Ératosthène;
 - c) Ptolémée;
 - d) Copernic.
31. Pourquoi dit-on que Kepler, Brahe et Newton étaient des astrophysiciens ?
32. Nomme quelques effets possibles du Soleil sur la Terre et l'environnement ?
33. Qu'est-ce que la chromosphère ?
34. Des télescopes installés sur Terre et des satellites observent attentivement les tempêtes solaires. Comment des tempêtes sur le Soleil peuvent-elles affecter les gens sur Terre ?
35. Imagine que l'on découvre une nouvelle planète entre Mercure et Vénus. Quelles seraient les caractéristiques de cette planète ?
36. À quoi attribue-t-on la formation de la Lune ?
37. Quelle est la différence entre un astéroïde et une comète ?
38. Quels types de recherches sont effectués dans la Station spatiale internationale ?
39. De quoi faut-il tenir compte pour la conception d'une combinaison pour les astronautes ?
40. Pourquoi est-il plus sensé d'envoyer un robot mobile sur la lune d'une planète géante gazeuse plutôt que sur cette planète elle-même ?
41.
 - a) Quelles sont les similitudes entre les sondes, les satellites et les robots mobiles ?
 - b) Quelles sont les différences ?
42.
 - a) Parmi les évènements suivants, lequel est arrivé le premier ?
 - A. la formation des galaxies;
 - B. la formation du système solaire;
 - C. la formation de l'Univers.
 - b) Lequel est le plus récent ?
43. Les astronomes croient que l'Univers est en expansion. Que signifie cette affirmation ?
44. L'espace est-il vide ? Explique ta réponse.
45. Compare la durée de vie des étoiles de faible masse, de masse intermédiaire et de forte masse.
46. Quels sont les objets les plus brillants que nous pouvons voir dans l'Univers ?
47. Les télescopes spatiaux permettent aux astronomes de recueillir des renseignements sur l'espace. Compare les types d'observations que les télescopes suivants peuvent réaliser :
 - a) le télescope spatial Hubble et le télescope spatial Spitzer;
 - b) l'observatoire à rayons X Chandra et le télescope spatial à rayons gamma Fermi;
 - c) les observations au sol et le télescope spatial James Webb.

Réflexion critique

48. Notre connaissance de la Terre et de sa place dans l'Univers a évolué grâce aux contributions de beaucoup d'astronomes. Que signifie l'expression « être sur les épaules de géants » ? Explique ta réponse avec des exemples.
49. Certaines comètes tournent en orbite autour du Soleil avec une période régulière. Pourquoi les astronomes ne considèrent-ils pas ces comètes comme des planètes ?
50. Imagine qu'un groupe de personnes veuille coloniser une lune de Jupiter. Décris trois problèmes à surmonter pour réussir ce projet.
51. Donne des exemples de contributions canadiennes à l'exploration spatiale.
52. Une astronome utilise la parallaxe pour calculer les distances entre la Terre et deux étoiles. Elle utilise la même étoile de référence pour les deux observations et remarque que l'étoile A se décale beaucoup plus que l'étoile B.
 - a) Que peut-elle conclure sur la distance de la Terre à l'une de ces étoiles et la distance à l'autre étoile ?
 - b) Explique comment elle peut parvenir à cette conclusion.

Des compétences à acquérir

53. La figure ci-dessous montre un système solaire à des années-lumière du nôtre. Les astronomes ont classé les cinq planètes comme montré sur l'illustration. Ils ont déterminé les distances entre ce soleil et les planètes en orbite autour de lui. Selon les astronomes, il existe une sixième planète dans ce système solaire, située quelque part dans la région marquée par un X.
- Quel type de planète devrait-on trouver dans cette région ?
 - Explique ta réponse donnée en a).
 - À quelle distance devrait-on trouver cette planète ?
 - Pourquoi as-tu choisi cette distance ?
 - Quelle est la différence de configuration entre ce système solaire et le nôtre ?



54. Sur Terre, lorsque tu lâches un objet, il tombe sur le sol. Son accélération est fonction de la force gravitationnelle. Il s'agit de l'accélération gravitationnelle. Si tu te tenais sur un autre corps céleste et que tu lâchais un objet, son accélération gravitationnelle serait différente. Le tableau à droite indique le poids d'une personne de 70 kg se trouvant sur d'autres corps célestes. Calcule le rapport entre la force gravitationnelle sur d'autres corps célestes et la force gravitationnelle sur Terre. L'exemple de Jupiter est donné.

Exemple : la force gravitationnelle sur Jupiter est combien de fois plus grande que celle sur Terre ?

Disons que la force gravitationnelle sur Terre = 1.

$$\frac{\text{poids d'une personne sur le corps céleste}}{\text{poids d'une personne sur Terre}} = \frac{\text{force gravitationnelle sur le corps céleste relative à celle sur Terre}}{1}$$

$$\frac{837 \text{ kg}}{70 \text{ kg}} = 2,5$$

- Recopie le tableau ci-dessous dans ton cahier. Calcule ensuite la force gravitationnelle d'un astéroïde, de la Lune, du Soleil et d'une étoile à neutrons, relative à celle de la Terre.

Corps céleste	Poids de l'objet (kg)	Force gravitationnelle relative à celle de la Terre
Terre	70,00	1,0
Jupiter	837,00	12
astéroïde	0,05	
Lune	12,00	
Soleil	1 913,00	
étoile à neutrons	19 000 000,00	

- Explique les facteurs qui déterminent si la force gravitationnelle d'un objet dans l'espace sera supérieure ou inférieure à la force gravitationnelle de la Terre.

Pause réflexion

Dans ce module, tu as étudié le système solaire, les origines de l'Univers et l'exploration spatiale. Les humains ont toujours rêvé d'explorer l'espace, mais puisque les coûts des voyages dans l'espace sont si élevés, soit des millions de dollars pour chaque excursion, seules quelques rares personnes peuvent se le permettre. Selon toi, les voyages vers la Station spatiale internationale devraient-ils être accessibles au grand public ?