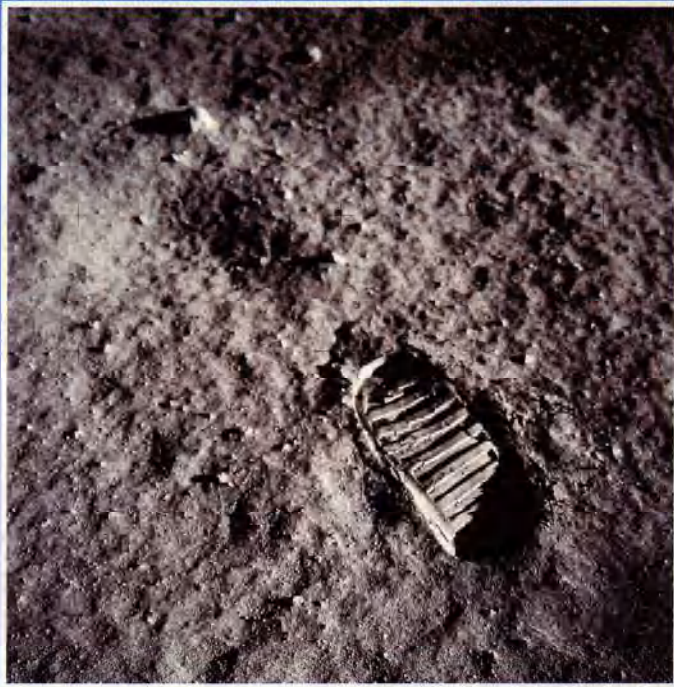


Astronomie

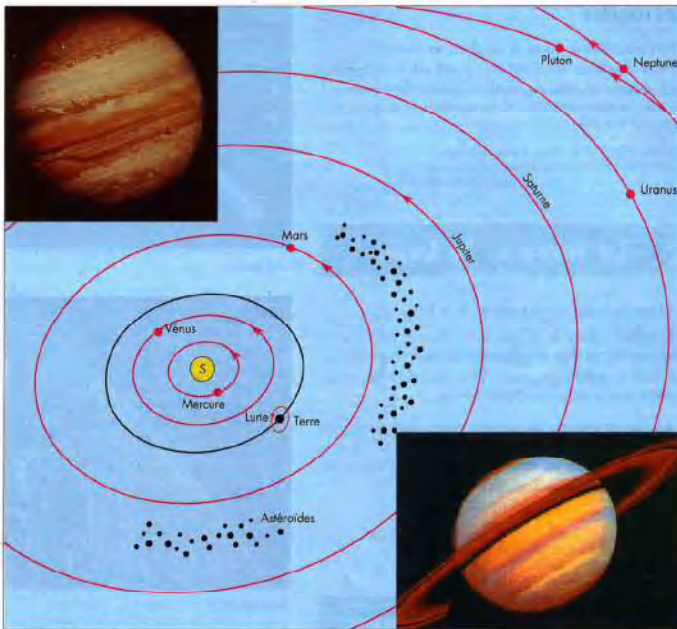
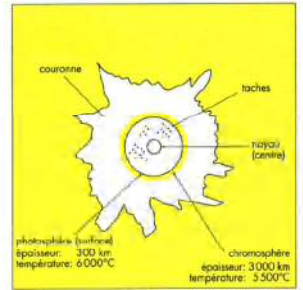
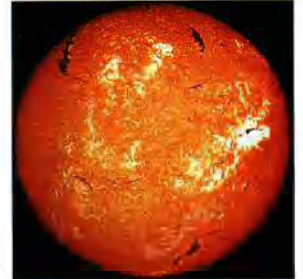


Chapitre 41. Le système solaire

Pendant des siècles, on a cru que la Terre était le centre de l'Univers. Depuis le XVI^e siècle, on a pu observer que la Terre, comme les autres planètes, tournait autour du Soleil (système héliocentrique). L'observation à l'œil nu, ou à l'aide d'instruments d'optique, réalisée par des astronomes anonymes ou renommés (Copernic, Kepler, Galilée) se complète maintenant par l'envoi de sondes interplanétaires (Mariner, Voyager, Voyager, Vénère, Lunick, Giotto, Ulysse) se posant sur les planètes ou passant à proximité.

1 Le Soleil

Nom SOLEIL alias Râ ou Hélios.
Né Il y a environ 4,5 milliards d'années.
Diamètre Environ 1 400 000 km.
Masse Environ $2 \cdot 10^{30}$ kg, soit 330 000 fois la masse de la Terre.
Composition 75 % d'hydrogène, 23 % d'hélium, 1 % d'oxygène et 1 % correspondant à une soixantaine d'espèces différentes d'atomes.
Atmosphère Invisible depuis la Terre, sauf en cas d'éclipse totale.
Température 6000 °C à la surface; 15 000 000 °C au centre.
Domicile Sans domicile fixe, mais toujours à environ cent cinquante millions de kilomètres de la Terre.
Signes particuliers Taches, protubérances et éruptions cycliques; surface visible jaune (photosphère).
 Perde de masse d'environ quatre millions de tonnes par seconde, transformée en énergie.
Activité Centre gravitationnel de l'ensemble des planètes constituant le système solaire. Permanente (pour encore cinq milliards d'années sous sa forme actuelle).



Les orbites des 9 planètes du système solaire. En haut, Jupiter et Io. En bas, Saturne.

Les comètes

Petits astéroïdes de roche et de glace, les comètes ont des orbites elliptiques très allongées. Quand une comète passe, périodiquement, près du Soleil, le rayonnement provoque sa volatilisation partielle, d'où sa chevelure et sa queue très brillante. Cela entraîne, à chaque passage, une déperdition de matière.



Une comète.

3 La Terre et la Lune

La Lune est le seul satellite naturel de la Terre.

Elle tourne autour de la Terre à une distance moyenne de 384 000 km en 27 j 8 h (période sidérale), en présentant toujours la même face vers la Terre. Son diamètre est de 3 500 km et sa masse vaut $7,35 \cdot 10^{22}$ kg.

La Lune ne possède pas d'atmosphère, d'où les grands écarts de température du sol entre le jour (+110°C) et la nuit (-100°C) et la présence de cratères, lieux d'impact de météorites de toutes tailles, non freinés.



Le sol lunaire.

4 Données numériques sur le système solaire

2 Le système solaire

Le système solaire comprend neuf planètes principales – accompagnées dans leur course autour du Soleil d'une cinquantaine de satellites –, de millions d'astéroïdes, de météorites et de comètes.

Les planètes

Les planètes principales décrivent autour du Soleil des orbites planes, quasiment circulaires et situées pratiquement dans le même plan, l'écliptique.

Nos plus proches voisins, Mercure, Vénus et Mars ont leur surface à l'état solide.

Beaucoup plus éloignées, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont aussi plus grosses que la Terre. Ce sont des planètes gazeuses.

La plus éloignée, Pluton, reste très mal connue. Son orbite n'est pas dans le plan de l'écliptique.

Visibles à l'œil nu, Mercure, Saturne, mais surtout Vénus, Mars et Jupiter se repèrent facilement dans le ciel étoilé, car leur position par rapport aux étoiles change au cours de la nuit (planète vient du mot grec signifiant «vagabond»).

Planètes	Distance moyenne au Soleil en millions de km	Diamètre en km	Période de révolution autour du Soleil	Période de rotation sur elle-même	Température moyenne au sol	Masse en kg
Mercure	58	4900	88 j	59 j	400 °C	$0,33 \cdot 10^{24}$
Vénus	108	12100	225 j	243 j rétrograde	470 °C	$4,9 \cdot 10^{24}$
Terre	150	12800	365,25 j	1 j	20 °C	$6,0 \cdot 10^{24}$
Mars	228	6800	687 j	24,6 h	0 °C	$0,64 \cdot 10^{24}$
«astéroïdes»	420	—	—	—	—	—
Jupiter	778	142600	12 ans	9,8 h	-130 °C	$1900 \cdot 10^{24}$
Saturne	1427	120000	29,5 ans	10,2 h	-160 °C	$570 \cdot 10^{24}$
Uranus	2870	52300	84 ans	15,5 h	-180 °C	$87 \cdot 10^{24}$
Neptune	4500	50200	165 ans	15,8 h	-190 °C	$100 \cdot 10^{24}$
Pluton	5900	2420	248 ans	6,25 j	-200 °C	$0,012 \cdot 10^{24}$

1 **Vrai ou faux ?**

- Le Soleil est une planète.
- Le Soleil brille même lorsque le temps est couvert ou quand il fait nuit.
- L'écliptique est le plan dans lequel la Terre tourne autour du Soleil.
- Toutes les planètes sont constituées de matière solide.
- La lumière se propage instantanément.
- La Lune est fixée par rapport à la Terre.

2 On classe parfois les planètes en deux groupes: planètes telluriques pour les quatre premières, planètes joviennes pour les autres. Pourquoi utilise-t-on cette classification et que signifient ces termes ?

3 Les cinq planètes visibles à l'œil nu étaient déjà connues des Chaldéens, des Grecs et des Romains. A quoi correspondent leurs noms ?

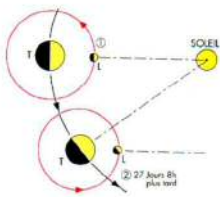
4 En consultant une encyclopédie ou un ouvrage d'astronomie, établir la fiche signalétique de la planète de votre choix.

Nom	Date de la découverte
Distance par rapport au Soleil	maximale minimale moyenne
Période de révolution autour du Soleil	
Diamètre	
Période de rotation sur son axe	
Nombre de satellites	
Atmosphère	
Nature de la surface	
Masse volumique (ou densité)	Masse
Valeur de la gravité à la surface	
Température à la surface	
Visite d'un engin spatial	
Autres particularités	

5 Pendant que la Lune effectue un tour autour de la Terre, elle fait également un tour sur elle-même. Savez-vous quelle en est la conséquence ?

6 Quel est le sens du mouvement apparent du Soleil autour de la Terre ? Quel est donc le sens de rotation de la Terre autour de son axe ?

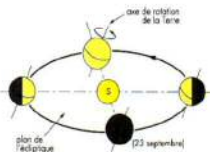
7 La figure ci-dessous représente la trajectoire de la Lune autour de la Terre. En position 1, c'est la nouvelle lune. Lorsque la Lune a effectué une révolution sidérale, elle se retrouve en position 2, ayant fait un tour complet de la Terre. Constatez alors que la Lune ne se retrouve pas en position de nouvelle lune.



La position de nouvelle lune a-t-elle déjà eu lieu ou aura-t-elle lieu un peu plus tard ? Reproduire le croquis et indiquer cette position.

Comment s'appelle la période entre deux nouvelles lunes successives ?

8 La Terre tourne autour du Soleil en 365,25 jours dans le plan de l'écliptique. De plus, elle tourne sur elle-même en 1 jour, autour d'un axe passant par les pôles; cet axe fait un angle voisin de 67° avec le plan de l'écliptique.



A partir de ces données et de la figure qui précède, expliquer:

- a) Pourquoi il y a succession de périodes diurnes et nocturnes sur la Terre.
- b) Pourquoi la durée des jours et des nuits varie avec la latitude.
- c) Pourquoi la durée des jours et des nuits varie, en un même lieu, au cours de l'année et quelle en est la conséquence.

Le système solaire

Exercice 1

- Le Soleil n'est pas une planète; c'est une étoile.
- Le Soleil brille en permanence.
- L'écliptique est effectivement le plan dans lequel la Terre tourne autour du Soleil.
- Certaines planètes ne contiennent pas de matière solide.
- La lumière ne se propage pas instantanément mais à 300 000 km/s.
- La Lune tourne autour de la Terre.

Le système solaire

Exercice 2

Certaines planètes sont constituées de matière solide; ce sont les planètes telluriques : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. D'autres sont essentiellement gazeuses; ce sont les planètes joviennes : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Les caractéristiques de Pluton sont encore méconnues.

Le système solaire

Exercice 3

Mercury: dieu romain du commerce et des voleurs. Messenger des dieux. Assimilé à l'Hermès grec.
 Vénus: déesse de l'amour, assimilée à l'Aphrodite grecque.
 Mars: dieu de la guerre, assimilé à l'Arès grec.
 Jupiter: dieu père et dieu du ciel. Assimilé au Zeus grec. Jupiter était le dieu principal et souverain.
 Saturne: dieu des vignerons et des paysans. Assimilé au Chronos grec.

Le système solaire

Exercice 4

Pour répondre à cette question, ont été utilisées les données du livre de physique-chimie, celles contenues dans la table des formules et valeurs numériques distribuée aux élèves du CO de Genève, celles du *Grand Dictionnaire Encyclopédique Larousse* et celles de l'atlas *Universalis* Astronomie.

NOM: Mercure DATE DE LA DÉCOUVERTE: Antiquité.
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $69,82 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $45,99 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $58 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE MERCURIENNE: 87 j 23 h 15 min.
 DIAMÈTRE MOYEN: 4 900 km. NOMBRE DE SATELLITE: 0 satellite.
 ATMOSPHÈRE: très fine (environ 0 mbar), pas de nuages, constituée principalement d'hélium.
 NATURE DE LA SURFACE: croûte solide. DENSITÉ: 5,43.
 MASSE: $0,33 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 3,8 N/kg.
 TEMPÉRATURE DIURNE MOYENNE À LA SURFACE: +400 °C. (-430 °C à -170 °C).
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: Mariner 10 en 1974.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 58 j 15 h 30 min. PÉRIODE DE ROTATION SYNODIQUE (JOUR MERCURIEN): 176 Jours. On voit qu'un jour mercurien dure plus longtemps qu'une année mercurienne.

NOM: Vénus DATE DE LA DÉCOUVERTE: Antiquité
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $108,94 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $107,47 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $108 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE VÉNUSIENNE: 224 j 16 h 49 min.
 DIAMÈTRE MOYEN : 12 104 km. NOMBRE DE SATELLITE: 0 satellite.
 ATMOSPHÈRE: épaisse (100 000 mbar), nuageuse, constituée principalement de gaz carbonique.
 NATURE DE LA SURFACE: croûte solide. DENSITÉ: 5,24.
 MASSE: $4,87 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 8,6 N/kg.
 TEMPÉRATURE DIURNE MOYENNE À LA SURFACE: +470 °C. (A cause de l'effet de serre.)
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: Diverses sondes l'ont depuis 1962, survolée puis se sont satellisées et enfin se sont posées sur Vénus. Citons les sondes soviétiques Vénéra 1 à 14, les sondes américaines Mariner 2, 5 et 10 et Pioneer, Venus 1 et 2.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 243 J dans le sens rétrograde. PÉRIODE DE ROTATION SYNODIQUE (JOUR VÉNUSIEN): environ 117 J. Après le Soleil et la Lune, Vénus est l'astre le plus lumineux dans le ciel.

NOM: Terre DATE DE LA DÉCOUVERTE: l'Homme y est apparu.
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $152,1 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $147,1 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $150 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE TERRIENNE: 365 j 6 h 9min 9,5 secondes.
 DIAMÈTRE MOYEN: 12 800 km. NOMBRE DE SATELLITES: 1 satellite: la Lune.
 ATMOSPHÈRE: plutôt épaisse (1 013 mbar), parfois nuageuse, constituée principalement d'azote et d'oxygène.
 NATURE DE LA SURFACE: croûte solide recouverte aux 4/5 par des océans.
 DENSITÉ: 5,52. MASSE: $5,97 \cdot 10^{24}$ kg.
 VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 9,8 N/kg.
 TEMPÉRATURE DIURNE MOYENNE À LA SURFACE: +15 °C. (+60 °C à -90 °C).
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 23 h 56 min 4 secondes. PÉRIODE DE ROTATION SYNODIQUE (JOUR TERRIEN): 1 J (24 h).

NOM: Mars DATE DE LA DÉCOUVERTE: Antiquité
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $249,23 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $206,65 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $228 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE MARSISIENNE: 1 an 321 j 23 h 31 min.
 DIAMÈTRE MOYEN: 6 800 km. NOMBRE DE SATELLITES: 2 satellites découverts en 1877 par A. Hall (Phobos et Deimos).
 ATMOSPHÈRE: fine (7 mbar), rarement nuageuse, formée principalement de gaz carbonique.
 NATURE DE LA SURFACE: croûte solide. DENSITÉ: 3,94.
 MASSE: $0,64 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 3,7 N/kg.
 TEMPÉRATURE DIURNE MOYENNE À LA SURFACE: 0 °C (+22 °C à -143 °C).
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: depuis 1965, plusieurs sondes l'ont survolée, se sont satellisées ou s'y sont posées. Citons les sondes soviétiques Mars 1 à 9 et américaines Mariner 9 et Viking 1 et 2.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 24 h 37 min. PÉRIODE DE ROTATION SYNODIQUE (JOUR MARTIEN): 25 h 25 min 33 secondes.

NOM: Jupiter DATE DE LA DÉCOUVERTE: Antiquité
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $815,92 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $740,88 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $778 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE JUPITÉRIENNE: 11 ans 314 j 20 h 9 min.
 DIAMÈTRE MOYEN: 142 600 km. NOMBRE DE SATELLITES: 16 satellites (les 4 premiers découverts par Galilée en 1610 et les 3 derniers en 1979), et quelques anneaux très fins formés de poussières et de glace.
 ATMOSPHÈRE: épaisse (100 à 1 000 mbar), nuageuse, constituée principalement d'hydrogène et d'hélium.
 NATURE DE LA SURFACE: pas de croûte solide à la base de l'atmosphère. DENSITÉ: 1,33.
 MASSE: $1,900 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 22,9 N/kg.
 TEMPÉRATURE MOYENNE À LA BASE DES NUAGES: -138 °C.
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: plusieurs sondes spatiales l'ont survolée depuis 1973. Citons en particulier les sondes américaines Voyager 1 et 2 en 1979.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 9h 52 min à 9 h 56 min.

NOM: Saturne DATE DE LA DÉCOUVERTE: Antiquité
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $1\,511 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $1\,346 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $1\,427 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE SATURNIENNE: 29 ans 167 jours.
 DIAMÈTRE MOYEN: 120 000 km. NOMBRE DE SATELLITES: 21 satellites découverts entre 1655 et 1981 et surtout un gigantesque système d'anneaux formés de poussières et de glace, s'étendant jusqu'à 300 000 km de la planète.
 ATMOSPHÈRE: épaisse (100 à 1000 mbar), nuageuse, constituée principalement d'hydrogène, d'hélium et de méthane.
 NATURE DE LA SURFACE: pas de croûte solide à la base de l'atmosphère. DENSITÉ: 0,69.
 MASSE: $570 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 9,1 N/kg.
 TEMPÉRATURE MOYENNE À LA BASE DES NUAGES: -176 °C.
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: Voyager 1 et 2 en 1980 et 1981.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 10 h 14 min à 10 h 39 min.

NOM: Uranus DATE DE LA DÉCOUVERTE: 1781 par W. Herschel.
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $3\,004,4 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $2\,729,7 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $2\,870 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE URANUSIENNE: 84 ans 7 jours 9 heures 36 min.
 DIAMÈTRE MOYEN: 52 300 km. NOMBRE DE SATELLITES: 15 satellites découverts entre 1787 et 1986 et plusieurs anneaux très fins.
 ATMOSPHÈRE: épaisse (4 000 à 10 000 mbar), nuageuse, constituée principalement d'hydrogène et de méthane.
 NATURE DE LA SURFACE: pas de croûte solide à la base de l'atmosphère. DENSITÉ: 1,3.
 MASSE: $86,6 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 7,8 N/kg.
 TEMPÉRATURE MOYENNE À LA BASE DES NUAGES: -215 °C.
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: Voyager 2 en 1986.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: environ 16 heures dans le sens rétrograde, avec un axe de rotation qui est pratiquement dans le plan de son orbite. Uranus présente donc alternativement, au cours d'une année uranienne, ses deux pôles au Soleil.

NOM: Neptune DATE DE LA DÉCOUVERTE: 1846 par J. G. Galle, grâce aux calculs de Le Verrier.
 DIST. MAX. P/R AU SOLEIL: $4\,531,5 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $4\,445,3 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $4\,500 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE NEPTUNIENNE: 164 ans 280 jours.
 DIAMÈTRE MOYEN: 30 200 km. NOMBRE DE SATELLITES: 8 satellites découverts entre 1846 et 1989 et de fins anneaux de poussière et de glace.
 ATMOSPHÈRE: épaisse, constituée d'hydrogène et de méthane.
 NATURE DE LA SURFACE: pas de croûte solide à la base de l'atmosphère. DENSITÉ: 1,76.
 MASSE: $103 \cdot 10^{24}$ kg. VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 11 N/kg.
 TEMPÉRATURE MOYENNE À LA BASE DES NUAGES: -225 °C.
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: Voyager 2 en 1989.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 15 h 48 min.

NOM: Pluton DATE DE LA DÉCOUVERTE: prédite dès 1915 par P. Lowell et W. Pickering, elle fut découverte (par hasard) en 1930 par C. Tombaugh.
 DIST. MAX. P/RAUSOLEIL: $7\,382,8 \cdot 10^6$ km. MINIMALE: $4\,436,3 \cdot 10^6$ km. MOYENNE: $5\,900 \cdot 10^6$ km.
 PÉRIODE DE RÉVOLUTION SIDÉRALE OU ANNÉE PLUTONIENNE: 247 ans 249 jours.
 DIAMÈTRE MOYEN: 3 500 km. NOMBRE DE SATELLITES: 1 satellite (Charron). Pluton et Charron formeraient un système de planète double.
 ATMOSPHÈRE: ?
 NATURE DE LA SURFACE: ? DENSITÉ: environ 2 ?
 MASSE: environ $0,013 \cdot 10^{24}$ kg ? VALEUR MOYENNE DE LA GRAVITÉ: 0,44 N/kg ?
 TEMPÉRATURE MOYENNE À LA BASE DES NUAGES: ?
 VISITE D'UN ENGIN SPATIAL: pas prévu pour le moment.
 PÉRIODE DE ROTATION SIDÉRALE: 6 jours 9 heures 18 minutes dans le sens rétrograde.

Le système solaire Exercice 5

La Lune présente toujours la même face à la Terre.

Le système solaire Exercice 6

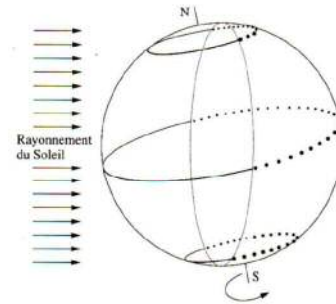
Pour un observateur terrestre, le Soleil se déplace autour de la Terre d'Est en Ouest. La Terre tourne donc sur elle-même dans l'autre sens.

Le système solaire Exercice 7

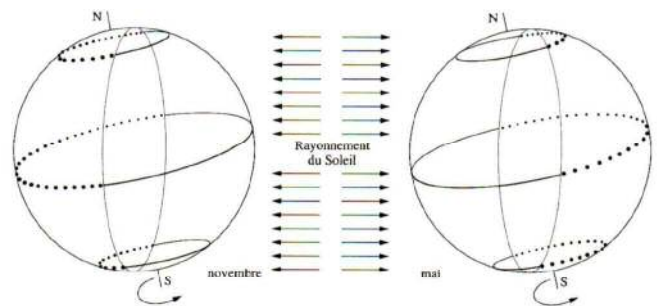
A cause du déplacement de la Terre, la position de nouvelle Lune aura lieu plus tard; l'intervalle de temps entre deux nouvelles Lunes successives est de 29 jours et 12 heures (période synodique) alors que la Lune met 27 jours et 8 heures pour effectuer un tour (360°) autour de la Terre (période sidérale).

Le système solaire Exercice 8

- a) La succession des périodes diurnes et nocturnes est due à la rotation de la Terre sur elle-même : un point de la surface de la Terre passe successivement en 24 heures dans une zone éclairée par le Soleil (jour) et dans une zone d'ombre (nuit).
- b) La durée des jours et des nuits varie avec la latitude à cause de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique (plan dans lequel se trouve la direction du Soleil). La figure représente la situation à trois latitudes différentes. En 24 heures, un point de la surface de la Terre passe successivement par une zone où il fait jour (trait plein) et une zone où il fait nuit (pointillé). On remarque que la proportion du jour (trait plein) et de la nuit (pointillé) n'est pas la même pour chaque latitude. Dans le cas de cette figure, le jour dure 24 heures au Pôle Nord et la nuit dure 24 heures au Pôle Sud.



- c) Les figures ci-dessus représentent la situation à 6 mois d'intervalle. On constate que pour une latitude donnée la proportion de jour et de nuit s'est inversée. La conséquence de cette inversion est la succession des saisons.



Chapitre 42. L'univers

Selon la luminosité ambiante, de deux mille à six mille étoiles sont visibles à l'œil nu. Bien qu'étant gigantesques, et très loin les unes des autres, les étoiles apparaissent toujours comme de simples points lumineux, formant des figures dans le ciel. Cependant, ces astres visibles ne représentent qu'un volume extrêmement réduit de notre Univers.

1 Le ciel étoilé

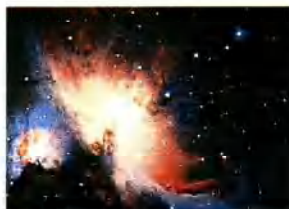
Mouvements apparents

Apparemment, le Ciel tourne autour d'un axe nord-sud (axe du monde) d'est en ouest. Au fil des heures, l'aspect du ciel nocturne, en un même lieu et selon la même orientation, change: des étoiles sont visibles toute la nuit, certaines se lèvent et d'autres se couchent. Ce mouvement apparent s'explique par le fait que c'est la Terre qui tourne sur elle-même, d'ouest en est.

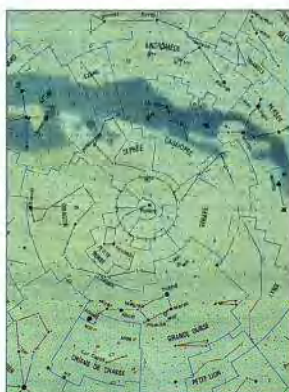
Comme la Terre se déplace autour du Soleil, un observateur ne verra pas, tous les soirs à la même heure, au même endroit, le même ciel. D'ailleurs, certains groupes d'étoiles sont visibles toute l'année, d'autres seulement certaines saisons.

Constellations

Depuis l'Antiquité, pour pouvoir les reconnaître et les mémoriser facilement, on a regroupé les étoiles en constellations auxquelles on a donné des noms souvent mythologiques ou liés à leur forme.



Cette nébuleuse se trouve dans une constellation bien visible l'hiver: Orion.



Carte du ciel boréal (vue partielle).

2 L'arpentage de l'espace

Les limites du système solaire sont à environ $6 \cdot 10^{12}$ m de la Terre, mais l'étoile la plus proche (Proxima du Centaure) est à plus de $4 \cdot 10^{16}$ m, soit environ 6500 fois plus loin. A notre niveau de technologie, une sonde spatiale mettrait environ 80000 années pour atteindre Proxima du Centaure.

Par commodité, en astronomie, on utilise une autre unité de longueur, l'année-lumière.

L'année-lumière (al) est la distance parcourue par la lumière en une année soit environ 10000 milliards de kilomètres.

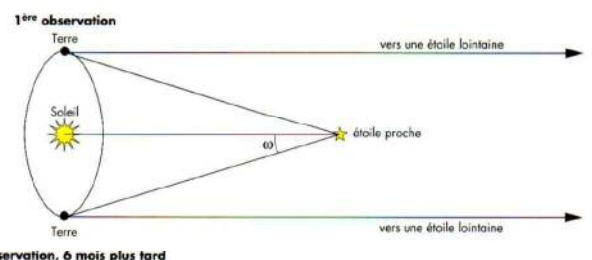
Etoile	Distance en al	Température en °C	Couleur
Soleil		6000	jaune
Proxima du Centaure	4,3	6100	jaune
Sirius	8,7	10000	bleu-vert
Altair	16	8000	blanche
Vega	26	10000	bleu-vert
Aldebaran	68	4000	rouge
Croix du Sud	260	25000	bleue
Bételgeuse	650	3000	rouge
Etoile Polaire	782	6500	jaune
Rigel	820	13000	bleu-vert

Caractéristiques de quelques étoiles.

Distances des étoiles proches

La première mesure de distance stellaire (l'étoile 61 Cygni) a été réalisée par l'allemand Friedrich Bessel en 1838. Il utilisa une méthode analogue à celle des géomètres qui désirent connaître la distance d'un point inaccessible. Le procédé consiste en une triangulation prenant pour base le diamètre de l'orbite terrestre.

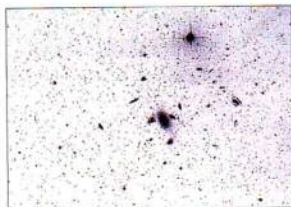
Le principe de la mesure de la distance d'une étoile proche par triangulation est représenté ci-dessous.



Dans ce cas, on définit la parallaxe comme l'angle ω (oméga) sous lequel on verrait, depuis l'étoile, la distance Terre-Soleil (150 millions de km).

Le plus grand angle mesuré est de 0,772 seconde d'arc pour l'étoile Proxima du Centaure. Un angle de 1 seconde d'arc est très petit ; c'est celui sous lequel on voit une bille de 1 cm de diamètre placée à 2 km ou plus précisément à 206265 fois son diamètre.

Cette méthode a été appliquée à environ 10000 étoiles et les distances mesurées vont jusqu'à 130 années-lumière. Au-delà, les mesures sont trop imprécises et il est nécessaire de recourir à d'autres procédés. Cependant, cette méthode est fondamentale, car c'est la seule qui permette d'obtenir la distance d'une étoile sans faire d'hypothèses sur son état physique. Elle permet également de calibrer les autres méthodes permettant de mesurer la distance d'objets lointains.



Amas de galaxies dans la Constellation du Pavo. La photographie est en négatif, pour mieux distinguer les détails.

Distances des astres lointains

En étudiant les caractéristiques du spectre de la lumière émise par une étoile lointaine, on peut déduire à quel type d'étoile elle appartient. La comparaison de sa luminosité avec celle d'une étoile, dont la distance est connue et ayant le même spectre, permet de déterminer sa distance. Cette méthode est applicable jusqu'à 300 000 années-lumière, c'est-à-dire à toutes les étoiles de notre Galaxie.

Pour mesurer la distance des galaxies, l'étude porte sur des étoiles de luminosité variable comme les Céphéïdes ; ces étoiles permettent des estimations de distance jusqu'à 7 millions d'années-lumière, c'est à dire la détermination des distances des galaxies proches de la nôtre.

Pour déterminer la distance de galaxies plus lointaines, on utilise la luminosité des étoiles explosives (supernovae). Cette méthode porte à 50 millions d'années-lumière nos estimations de distance.

Pour déterminer la distance d'une galaxie très lointaine, on étudie le spectre de sa lumière. Ce spectre présente un décalage systématique vers le rouge. Ce décalage s'explique par une vitesse d'éloignement de la source lumineuse (effet Doppler-Fizeau). E.P. Hubble formula en 1929 une loi, reposant sur l'observation, selon laquelle les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur distance. Il venait de conforter le modèle d'un Univers en expansion.

On peut exprimer mathématiquement la loi de Hubble de la façon suivante :

$$V_r = H_0 \cdot r$$

V_r vitesse radiale en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$
 H_0 constante de Hubble = $23 \cdot 10^6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{al}^{-1}$
 r distance de la galaxie

Remarque : la constante de Hubble a été déterminée expérimentalement à l'aide des autres méthodes d'arpentage de l'espace.

La vitesse d'éloignement des galaxies est déterminée ainsi :

$$V_r = z \cdot c$$

z décalage vers le rouge (sans unité)
 c vitesse de la lumière = $299\,972,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

Le décalage vers le rouge se calcule ainsi :

$$z = (\lambda_0 - \lambda) / \lambda_0$$

λ_0 longueur d'onde de la raie considérée mesurée en laboratoire
 λ longueur d'onde de cette même raie à l'observation

3 Les étoiles

L'âge du Soleil est d'environ 4,5 milliards d'années et celui de l'Univers d'environ 15 milliards d'années. La plupart des étoiles de notre Galaxie sont donc nées bien après l'origine de l'Univers. Les étoiles se forment à partir de nuages de gaz et de poussières interstellaires (nébuleuse) qui se contractent sous l'effet de leur propre gravité. Sous l'effet de cette contraction, le nuage s'échauffe. Si la température centrale atteint une dizaine de millions de degrés, les réactions thermonucléaires s'amorcent et l'étoile se met à briller. Ce processus permet l'apparition d'étoiles qui évoluent différemment selon leurs masses et leurs dimensions.



La partie centrale de la nébuleuse d'Orion est une région où les étoiles sont en cours de formation. Les étoiles les plus brillantes sont très jeunes et massives.

Les étoiles dans l'espace

Lorsqu'on regarde le ciel, même avec une petite lunette astronomique, on s'aperçoit que des étoiles qui semblent uniques sont en réalité constituées par deux astres rapprochés : ce sont des étoiles doubles. Il existe aussi des étoiles triples et d'autres multiples. En fait, dans la plupart des cas, les étoiles sont liées à d'autres étoiles à l'instar des planètes autour du Soleil. Du reste, si Jupiter avait été 60 fois plus massif, le système solaire aurait été composé de deux étoiles... et nous ne serions probablement pas là pour en parler !

Dans certaines régions du ciel, les étoiles sont concentrées par centaines (amas ouvert), voire par centaines de milliers (amas globulaire).

L'ensemble des objets visibles à l'œil nu depuis la Terre font partie d'une gigantesque structure : notre Galaxie, qui compte plus de 100 milliards d'étoiles. On estime à 100 milliards le nombre de galaxies de notre Univers.

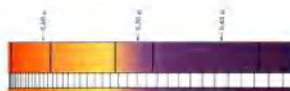


L'amas globulaire M13 dans la constellation d'Hercule rassemble plusieurs centaines de milliers d'étoiles dans un volume de moins de 200 al de diamètre.

La classification des étoiles

La couleur d'une étoile est caractéristique de sa température de surface. Une étoile bleue est très chaude ; notre Soleil, qui a une température intermédiaire, est jaune alors qu'une étoile rouge est moins chaude.

L'étude du spectre continue précise cette température. L'éclat d'une étoile dépend de sa température de surface, mais aussi de ses dimensions.



Spectre de Sirius.

La lumière émise par la surface stellaire traverse l'atmosphère de l'étoile, en général plus froide et dont les constituants absorbent une partie du rayonnement. L'étude du spectre de la lumière reçue permet de connaître les atomes présents dans l'atmosphère de l'étoile, comme une signature des atomes. Dans les étoiles, on trouve des atomes d'hydrogène et d'hélium, mais aussi de carbone, d'azote, d'oxygène, de fer, etc.

Les nébuleuses, nuages de gaz et de poussières, absorbent la lumière des étoiles lointaines et rayonnent parfois par luminescence.

Pour classer les étoiles, les astronomes ont défini des « types spectraux », allant des types chauds vers les types froids, à l'aide des lettres suivantes : O, B, A, F, G, K, M. (Un bon moyen mnémotechnique pour se rappeler cette séquence de lettres est la phrase anglaise suivante : O Be A Fine Girl, Kiss Me!) Les types spectraux de plus de 220 000 étoiles ont été déterminés et sont réunis dans le catalogue de Henry Draper.

Voici quelques étoiles typiques des différents types spectraux :

type spectral	O	B	A	F	G	K	M
étoile typique	λ Orion	ϵ Orion	Véga	α Persée	Soleil	Arcturus	Antarès
température de surface [K]	30 000	28 000 à 10 000	10 000 à 7 500	7 500 à 6 000	6 000 à 5 000	5 000 à 3 500	3 500

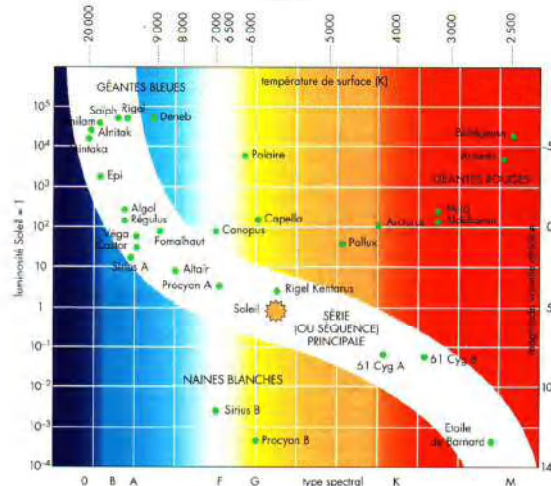
En plaçant ces étoiles sur un diagramme luminosité-type spectral (appelé diagramme Hertzsprung-Russell, du nom de ses inventeurs), on constate qu'elles dessinent une bande appelée « série (ou séquence) principale ».



Nébuleuse Trifide. La couleur rouge indique la présence d'hydrogène.



Nébuleuse M 42. (Photo René Durussel)



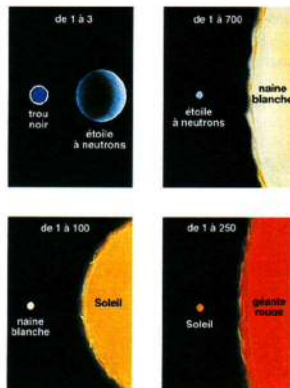
Position sur le diagramme de Hertzsprung-Russell des étoiles proches et des étoiles les plus brillantes.

L'évolution des étoiles

L'espace est un formidable laboratoire car, en un moment précis, il est possible d'observer tous les stades de l'évolution des étoiles.

Il existe de petites étoiles (naines) et des étoiles volumineuses (géantes ou supergéantes). Bételgeuse est une étoile dont le diamètre est 400 fois plus grand que le diamètre du Soleil. Si le Soleil avait la taille de Bételgeuse, la Terre se trouverait à plus de 100 millions de km à l'intérieur du Soleil. Les plus grosses étoiles que l'on a observées peuvent atteindre des diamètres supérieurs à 2 000 fois le diamètre solaire. Ces supergéantes engloberaient le système solaire jusqu'à Uranus ; leur densité moyenne est dans ce cas extrêmement faible.

En ce qui concerne la masse des étoiles, on sait qu'elles peuvent atteindre plus de 50 fois la masse du Soleil. On ne connaît cependant pas précisément la limite inférieure pour la masse d'une étoile. Il n'est pas évident qu'il y ait une frontière nette entre une étoile de très faible masse et une planète géante. L'idée que Jupiter soit une micro-étoile



Comparaison des dimensions de différentes étoiles (le rapport des diamètres est indiqué).

est plausible dans la mesure où Jupiter rayonne deux fois plus d'énergie qu'il n'en reçoit du Soleil. On estime cependant entre 0,1 et 0,25 masse solaire la limite inférieure pour amorcer les réactions thermonucléaires au cœur de l'étoile. Ces petites étoiles peu massives sont appelées « naines brunes ».

L'évolution d'une étoile et sa durée de vie va dépendre de sa masse et de son volume. Pour les étoiles jusqu'à 0,7 masses solaires, on ne connaît pas leur évolution ultime car ces étoiles ont une durée de vie supérieure à l'âge de l'Univers!

Pour notre Soleil, dans environ 4 milliards d'années, sa réserve d'hydrogène en son centre se sera transformée en hélium. Suite à divers phénomènes, il se mettra à grossir et à se refroidir. Il sera devenu une géante rouge. Vu depuis la Terre, son diamètre apparent sera 55 fois plus grand qu'actuellement. Cependant, son noyau central sous l'effet de la gravitation des couches internes du Soleil se réchauffera. Lorsque la température atteindra 100 millions de degrés, l'hélium se transformera en carbone, puis le carbone en oxygène, en azote, en néon, en magnésium, etc., et cela selon des processus cycliques. A ce stade de son évolution, le Soleil deviendra une étoile variable et son diamètre sera colossal. En effet, il englobera alors l'orbite de Mercure, de Vénus et de la Terre. Notre planète aura disparu de la carte de l'Univers, évaporée dans le globe de feu solaire. Certaines des réactions du carbone sont explosives et notre Soleil expulsera une partie de son atmosphère sous la forme d'une nova, donnant naissance à une nébuleuse planétaire. Cette nébuleuse sera riche en nouveaux éléments fabriqués par le Soleil (carbone, azote, oxygène) qui sont les éléments mêmes qui ont permis l'apparition de la vie sur la Terre. Le système solaire lui-même s'est du reste formé à partir des gaz expulsés par d'autres étoiles et notre propre existence est le fruit d'étoiles mortes qui ont explosé.

Au terme de son évolution, le Soleil se contractera sous la forme d'une petite étoile très chaude (20000 K) appelée « naine blanche ». Sa densité est considérable puisque sa masse est de l'ordre d'une masse solaire confinée dans un astre comparable aux dimensions de la Terre; 1 cm³ du centre d'une naine blanche contient une masse de 16 tonnes.

L'évolution des étoiles ayant une masse supérieure à 4 masses solaires suit un scénario évolutif comparable à celui du Soleil jusqu'au stade de géante, mais beaucoup plus rapidement (quelques dizaines de millions d'années seulement).



La nébuleuse planétaire Hélicé est la masse de gaz éjectée par une étoile qui a explosé en nova.

Cependant, elles subissent un événement véritablement catastrophique en fin de vie : elles explosent ! Cette fantastique explosion porte le nom de supernova; en quelques instants, la supernova émet autant d'énergie que le Soleil en 10 milliards d'années. A plusieurs reprises au cours de l'histoire, les astronomes furent témoins d'un tel événement :

- le 4 juillet 1054, les Chinois observèrent l'apparition d'une étoile visible en plein jour et ce pendant 3 semaines. Elle resta visible à l'œil nu pendant 22 mois. Ce phénomène semble cependant être passé inaperçu en Europe! On a réussi à identifier les vestiges de cette explosion : c'est la nébuleuse du Crabe.
- En 1572, Tycho Brahe a observé pendant 18 mois une supernova aussi brillante que Vénus.
- Elève et successeur de Tycho Brahe, l'astronome allemand Johannes Kepler eut également la chance d'être témoin d'un tel phénomène en 1604; cette supernova atteignit la luminosité de Sirius et resta observable pendant un an.
- En 1987, dans le nuage de Magellan (galaxie satellite de la nôtre), une supernova apparut. Depuis, les télescopes sont continuellement braqués dans cette direction; cette supernova est une source précieuse d'informations en vue de préciser les modèles d'évolution des étoiles.



La nébuleuse du Crabe dans la constellation du Taurus résulte de l'explosion d'une étoile en supernova dont les Chinois furent témoins en 1054.

Le phénomène de supernova est relativement peu fréquent à l'échelle humaine; statistiquement, on peut s'attendre à voir l'apparition d'une supernova par galaxie tous les 350 ans. A titre de comparaison, le phénomène de nova est dix à vingt mille fois plus fréquent.

Suite à l'explosion d'une étoile en supernova, le résidu de l'étoile dégénère. L'astre condense alors sa matière dans une sphère d'une dizaine de kilomètres de rayon; on l'appelle « étoile à neutrons » en raison de sa constitution. Sa densité est phénoménale; en effet, 1 cm³ peut contenir une masse de 500 millions de tonnes! Pour transformer la Terre en un astre aussi dense, il faudrait la réduire à une boule de 30 mètres de diamètre! Cette étoile tourne sur elle-même très rapidement. Actuellement, on connaît une cinquantaine d'étoiles à neutrons dont les périodes de rotation sont comprises entre 0,033 s et 3,7 s. Ces étoiles sont comme des phares dans le firmament car on capte leur lumière sous la forme de pulsations; ces étoiles sont également appelées « pulsars ».



La matière, éjectée lors de l'explosion d'une étoile il y a environ 12000 ans, s'est dispersée dans l'espace pour former cette nébuleuse dite des Voiles.

Cependant, l'évolution d'étoiles très massives (plus de 8 masses solaires) mène vraisemblablement, après la phase de supernova, à un résidu d'étoile trop massif pour devenir une étoile à neutrons. En effet, si tel devait être le cas, la vitesse de la surface de l'astre moribond devrait être supérieure à celle de la lumière. L'étoile ne peut alors que s'effondrer sur elle-même, toute la masse du noyau de la supernova se trouvant concentrée en un point central où la densité devient infinie! Un tel astre est un véritable trou dans l'Univers car il n'émet aucun rayonnement, d'où son nom de « trou noir ». Pour l'observer, il faut avoir recours à ses effets sur l'espace autour de lui. Quelques candidats « trou noir » sont actuellement à l'étude; on a en effet observé que l'atmosphère de certaines étoiles était vampirisée par un astre très dense; s'agit-il d'un trou noir ou d'une étoile à neutrons? Seules des observations et des modèles d'évolution plus poussés permettront de le dire.

(Voir également le document 28 du chapitre 5 « Les forces »)

Il existe, entre autres, des galaxies extrêmement lumineuses qui rayonnent 100 à 1000 fois plus de lumière que notre galaxie, tout en ayant de très faibles dimensions. En raison de leur luminosité, on a longtemps cru qu'il s'agissait d'étoiles, d'où leur nom de « quasars », contraction de l'anglais « quasi stellar sources ». On ne comprend actuellement que partiellement l'existence de ces quasars. Comme ces objets sont extrêmement éloignés (donc on en reçoit une image d'un passé lointain), une hypothèse est de dire qu'un quasar est une sorte de « bébé-galaxie ».



Une galaxie spirale NGC4321 dans l'amas de la Vierge.

Evolution de l'Univers

Il y a, dans l'Univers, des centaines de milliers d'amas de galaxies. Les observations de Ed. Hubble ont montré que les galaxies s'éloignent les unes des autres, d'où l'idée d'un Univers en expansion.

A l'heure actuelle, on ne sait toujours pas si cette expansion sera sans limite ou si elle s'arrêtera. Dans cette dernière hypothèse, l'Univers pourrait se contracter sous l'effet de sa propre gravité dans un phénomène que les astronomes appellent le « Big Crunch ».

L'origine de l'Univers est l'objet de beaucoup de recherches. Il semblerait qu'il ait été concentré en un lieu unique, très dense, et une gigantesque explosion lui aurait donné naissance; c'est la théorie du Big-Bang. La matière ainsi dispersée se serait ensuite agglomérée, concentrée en certains points pour donner les galaxies formées d'étoiles dont certaines, comme le Soleil, sont accompagnées de planètes.

Un peu partout dans l'Univers, des étoiles sont encore en train de naître (par concentration de gaz ou de poussières) alors que d'autres sont en train de mourir (par explosion, par implosion ou par extinction).



Les Pléiades, amas d'étoiles jeunes (50 millions d'années) toutes nées en même temps.

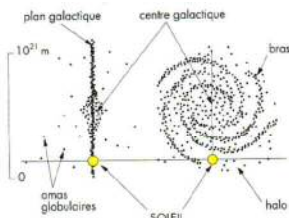
4 L'Univers

Lorsque l'on regarde le ciel par une nuit claire, on peut observer une large bande à l'aspect laiteux formée par un grand nombre d'étoiles : « la Voie lactée ». Ce nom a été conservé pour nommer notre galaxie. Cette dernière est animée d'un mouvement de rotation autour de son centre; le Soleil et les étoiles proches tournent en 250 millions d'années. Le Soleil se trouve à 33 000 al du centre, soit aux 2/3 du rayon de la Galaxie.

Les autres galaxies

Notre galaxie fait partie d'un ensemble plus vaste, l'amas local, constitué d'une trentaine de galaxies occupant un espace d'environ 5 millions d'années-lumière de diamètre. A l'œil nu, trois galaxies sont visibles: la galaxie d'Andromède dans le ciel boréal, les deux nuages de Magellan dans le ciel austral. Certaines galaxies ont des formes différentes de la nôtre.

L'amas local et l'ensemble des amas galactiques voisins (dont celui de la Vierge) font partie d'un système de vastes dimensions qu'on appelle le « superamas local ». Il comporte une dizaine de milliers de galaxies. Son rayon est d'environ 50 millions d'années-lumière et sa structure présente un certain aplatissement.



Notre galaxie, de type spirale.



Galaxie d'Andromède.



Le télescope spatial Hubble est un formidable instrument permettant aux astronomes de scruter l'Univers. Cet appareil a fait l'objet du premier « dépannage spatial » dont la réussite est en grande partie due au premier astronaute suisse: Claude Nicollier, qui a réalisé cette photographie (décembre 1993).

1 Chercher la signification du terme «quasar» donné à certains objets célestes. Ils sont situés à une distance supérieure à 10 milliards d'années-lumière de la Terre.
Quel est l'âge minimal de l'Univers ?

2 Le ciel a été photographié dans l'hémisphère Nord, en direction de l'Étoile Polaire. La pose a duré 240 min.



- a) De quel angle ont «tourné» les étoiles ?
- b) De quel angle «tourment-elles» en une heure ?
- c) Pourquoi l'Étoile Polaire peut-elle servir à s'orienter ?
- d) Dans l'hémisphère Sud, quelle constellation peut jouer le même rôle ?

3 Quand on dit qu'un «voit naître» ou «exploser» une étoile, le terme employé est-il exact ? Pourquoi ?

4 Pourquoi ne voit-on pas les étoiles en plein jour ?

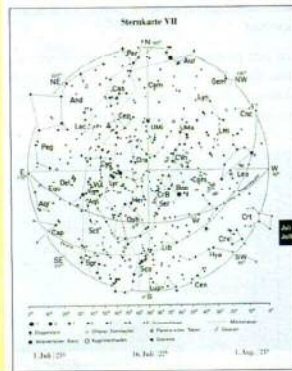
5 La carte du ciel

Les figures suivantes représentent l'aspect du ciel le 16 janvier à 21 h T.U. (en haut) et le 16 juillet à 22 h T.U. (en bas).

- a) Utiliser ce document pour observer le ciel, le soir, à la date et à l'heure indiquées. Attention, l'heure est donnée en T.U. (temps universel) ; penser que l'heure légale est en avance de 1 h (heure d'hiver) ou de 2 h (heure d'été) sur l'heure T.U.
- b) Si l'on fait les observations un autre jour, à la même heure, tourner la carte d'un angle de 30° pour un mois.

Si l'on fait les observations le même jour à une autre heure, tourner la carte d'un angle de 15° pour un décalage d'une heure. Justifier ces valeurs.

c) Certaines constellations se repèrent par rapport à la Grande Ourse par la méthode des alignements. Vérifier que l'on peut retrouver l'Étoile Polaire en prolongeant 5 fois le bord de la Grande Ourse. On dit que Cassiopeé se trouve à un W ou à un M ouvert. Pourquoi ces deux configurations ?



Le Big-Bang

Si l'Univers a constamment grandi, il est logique de supposer qu'il était plus petit dans le passé qu'il ne l'est maintenant, et qu'à un certain moment, il y a très longtemps, il a débuté sous la forme d'un noyau de matière dense.

Le premier à suggérer cette possibilité, en 1929, a été le mathématicien russe Alexandre Alexandrovitch Friedmann. [...]

En 1927, l'astronome belge Georges Lemaître, sans connaître apparemment les travaux de Friedmann, est arrivé à une représentation analogue de l'Univers en expansion. Puisqu'il était en expansion, l'Univers avait dû, dans le passé, être très petit, et aussi dense que possible. Lemaître a donné à cet état le nom d'œuf cosmique. Suivant les équations d'Einstein, il ne pouvait que grandir, et compte tenu de sa densité énorme, cette expansion devait avoir lieu avec une violence prodigieuse. Les galaxies actuelles sont des fragments de l'œuf cosmique, et leur mouvement d'éloignement est l'écho de cette très lointaine explosion. [...]

Mais c'est un physicien américain d'origine russe, George Gamow, qui a réellement répandu, dans les années trente et quarante, cette idée d'un début explosif de l'Univers. Il a donné à cette expansion initiale le nom de Big-Bang sous lequel elle est maintenant désignée dans le monde entier.

Quand le Big-Bang s'est-il produit ? [...]

On considère généralement comme plausible une estimation à quinze milliards d'années de l'ancienneté du Big-Bang. Si son éon représente un milliard d'années, le Big-Bang se serait produit il y a quinze éons, mais c'est aussi possible qu'il se soit produit il y a vingt éons, ou seulement dix. [...]

Et avant ? Que s'est-il passé avant le Big-Bang ? D'où vient l'œuf cosmique ?

Certains astronomes imaginent qu'en réalité, l'Univers a commencé sous la forme d'un gaz très ténu, qui se serait lentement condensé, en

formant peut-être des étoiles et des galaxies, et aurait continué à se contracter, jusqu'à former un œuf cosmique au cours d'un Big-Crunch. S'il est formé, l'œuf cosmique aurait explosé (Big-Bang) en formant à nouveau des étoiles et des galaxies, mais cette fois en expansion, jusqu'à redevenir, dans un futur lointain, un gaz ténu.

Un modèle à « un aller et retour » de ce genre, l'homme occupant une place assez proche du Big-Bang pour que la vie soit possible (sinon, nous ne serions pas là pour observer l'Univers et tenter d'interpréter nos observations) s'appelle un univers ouvert.

Il va sans dire qu'aucun résultat expérimental ne permet encore de trancher en faveur de l'apparition de l'œuf cosmique à partir de rien, ou en faveur de l'existence d'une infinité d'univers – et il est bien possible qu'il en soit toujours ainsi. Mais dans quel monde vivrions-nous si les scientifiques n'avaient plus le droit, en l'absence de résultats expérimentaux, de laisser vagabonder leur imagination ?

Et d'ailleurs, sommes-nous même sûrs que l'Univers va se dilater indéfiniment ? Il le fait en dépit de son attraction gravitationnelle, et peut-être cette attraction deviendra-t-elle suffisante pour stopper l'expansion, et provoquer une contraction de l'Univers ? Après son expansion, l'Univers pourrait se contracter, jusqu'à s'écrouler sur lui-même (Big-Crunch) et disparaître – ou au contraire «rebondir» pour se dilater à nouveau avant de se contracter une nouvelle fois, en une série infinie d'oscillations. Dans les deux cas, ce serait un univers fermé.

Isaac Asimov
L'Univers de la Science

- a) En comparant ce texte avec le précédent, quels sont les points sur lesquels s'accordent les deux auteurs ?
- b) Qu'est-ce qui apparaît comme sûr, et qu'est-ce qui reste hypothétique dans les explications sur l'évolution de l'Univers ?

6 Physique et métaphysique
L'origine de l'Univers

L'évolution de l'Univers

L'espace est peuplé d'étoiles semblables à notre Soleil. Les étoiles qui nous entourent sont groupées en une galaxie, la nôtre, que nous appelons la Voie lactée.

Il existe des milliards de galaxies comme la nôtre dans l'Univers. Ces galaxies se groupent elles-mêmes en amas de galaxies. Et ces amas s'assemblent en super-amas.

C'est grâce à la lumière que nous observons le monde. Cette lumière ne se propage pas instantanément. Dans certains cas, elle met des millions, voire des milliards d'années à nous arriver. Ce fait va profondément influencer notre vision du monde. Il nous rendra l'image du passé.

L'observation nous montre que toutes les galaxies s'éloignent les unes des autres. [...] Ce mouvement d'expansion se poursuit depuis environ quinze milliards d'années. C'est l'âge de l'Univers. Aujourd'hui, nous savons également mesurer l'âge des étoiles et l'âge des atomes. Les plus vieilles étoiles et les plus vieux atomes ont aussi environ quinze milliards d'années. Tout cela forme un ensemble assez cohérent.

L'expansion débute par une fulgurante explosion où la matière est portée à des températures et des densités extrêmes. On a détecté au radiotélescope les vestiges de la lumière éblouissante qui accompagnait cette explosion. [...]

On aimerait bien aller voir ce qu'il y avait «avant» l'explosion initiale. Mais il faudrait pour cela traverser le «mur du temps zéro». Des difficultés redoutables nous y attendent, tant sur le plan de la physique que sur celui de la logique elle-même.

Il est plus facile de parler du futur. Il se peut que l'expansion se poursuive indéfiniment. Il se

peut également que, d'ici à quelques dizaines de milliards d'années, elle s'arrête et fasse marche arrière. À l'expansion présente succéderait alors une période de contraction et une implosion finale. Le choix entre ces deux possibilités dépend de la quantité de matière qui se trouve dans l'Univers. Aujourd'hui, nous avons quelques raisons de penser que la première possibilité – expansion indéfinie – est la bonne. Mais certaines découvertes récentes pourraient prochainement remettre ce choix en question.

... Même en expansion indéfinie, l'Univers ne serait peut-être pas éternel. La matière dont nos objets sont formés se désintégrerait lentement en lumière. Fort heureusement, l'échecance est lointaine...

Hubert Reeves,

Préface dans L'Atome, © Éditions du Seuil

- a) Qu'est-ce que la Voie lactée ?
- b) Quel est l'âge de l'Univers ?
- c) Comment aurait débuté l'Univers ?
- d) Quels scénarios présente l'auteur sur l'avenir de l'Univers ?

Corrigé des exercices

L'Univers

Exercice 1

QUASAR signifie Quasi Stellar Astronomical Radiosource. Ces astres, d'apparence stellaire, très lointains (grand décalage spectral vers le rouge), rayonnent comme 100 à 1000 galaxies et auraient une dimension correspondant à 1/100 de galaxie.

L'âge minimal de l'Univers est 10 milliards d'années. (Voir les textes de Hubert Reeves et Isaac Asimov dans les pages suivantes du livre).

L'Univers

Exercice 2

Le temps de pose de la photo est de 240 minutes (4 heures); il y a une erreur dans la première édition du livre.

- a) Les étoiles ont «tourné» de 60°. (C'est en fait la Terre qui tourne sur elle-même.)
- b) 15°.
- c) L'Étoile Polaire se trouve sur le «prolongement de l'axe de rotation de la Terre» et ne «tourne» pas comme les autres étoiles.
- d) La Croix du Sud.

L'Univers

Exercice 3

La «naissance» d'une étoile par contraction gravitationnelle d'un nuage de gaz interstellaire est un phénomène lent par rapport au temps d'une vie humaine. A ce jour, aucune «naissance» d'étoile n'a été observée en temps réel.

Lors de l'explosion d'une nova, une étoile, souvent très peu visible auparavant, apparaît dans le ciel à cause de la brusque augmentation de luminosité due à l'explosion (l'éclat de l'étoile peut être multiplié, en 2 ou 3 jours, plusieurs milliers ou dizaines de milliers de fois). Ce phénomène peut apparaître comme la «naissance» d'un astre. Petit à petit, l'éclat diminue. Les novae sont des étoiles doubles formées d'une naine blanche et d'une géante rouge. C'est le transfert de matière de la géante vers la naine qui provoque cette brusque augmentation de luminosité.

Les supernovae sont beaucoup plus rares que les novae; 1 fois par siècle et par galaxie en moyenne. Elles sont toutefois beaucoup plus puissantes et l'éclat de la supernova peut atteindre celle de sa galaxie. Ce phénomène correspond à l'explosion d'une étoile en fin de vie. La plus grande partie de la masse de l'étoile est éjectée et devient source de rayonnement X. La fraction de masse non éjectée constitue un résidu très compact sous forme d'une étoile à neutrons décelable en tant que pulsar.

L'Univers**Exercice 4**

La diffusion de la lumière du Soleil par l'atmosphère est suffisamment lumineuse pour masquer la lumière des étoiles.

L'Univers**Exercice 5**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice.

L'Univers**Exercice 6**

Il n'y a pas de corrigé pour cet exercice (se référer au texte).