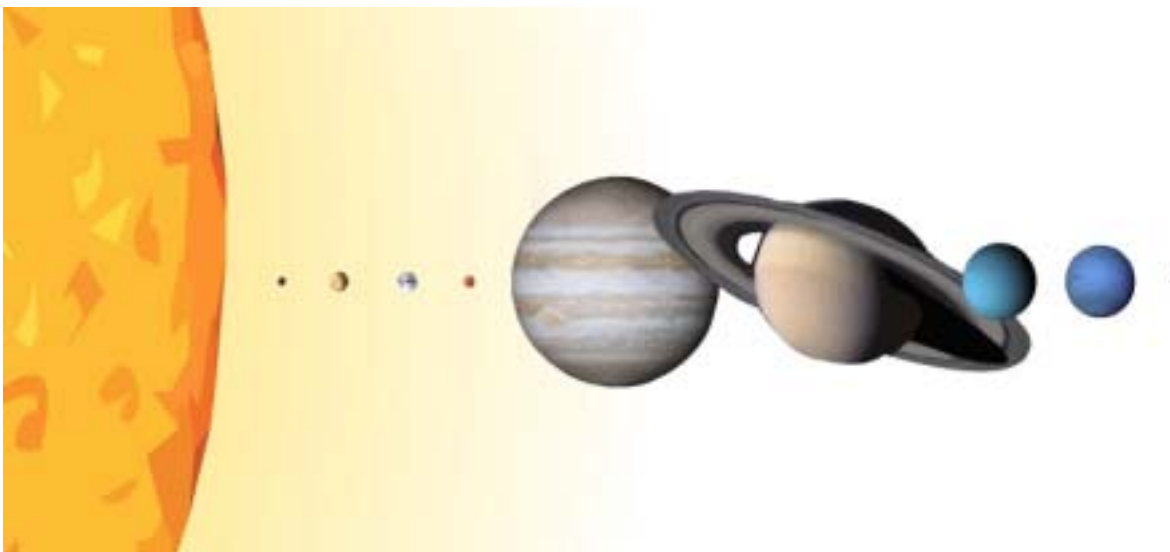


# FORMATION DES PERSONNES-RESSOURCES EN SCIENCE ET TECHNOLOGIE

## UN TOUR D'HORIZON DU SYSTÈME SOLAIRE

Pierre Chastenay  
astronome



Source : Centre de développement pédagogique

Mise à jour : octobre 2006

© 2004 — Planétarium de Montréal. Tous droits réservés

DOCUMENT DE TRAVAIL

## Introduction

Notre système solaire contient une étoile, le Soleil, autour duquel tournent huit planètes et leurs satellites, au moins trois planètes naines, ainsi qu'une multitude d'astéroïdes, de comètes, de roches et de poussières de toutes tailles reconnus collectivement comme les petits corps du système solaire. Dans l'immensité vertigineuse du cosmos, le système solaire est notre proche banlieue. Faisons connaissance avec les objets qui l'habitent.

## Le système solaire



Note : Ce dessin n'est pas à l'échelle.

Source : Centre de développement pédagogique

## Le Soleil, notre étoile

Le Soleil est une étoile, ce qui signifie qu'il produit sa propre lumière. De ce fait, il est semblable aux autres étoiles qui brillent dans le ciel, la nuit. Le Soleil nous apparaît beaucoup plus brillant (et plus gros!) que les autres étoiles, simplement parce qu'il est très près de nous. Le Soleil est situé à 150 millions de kilomètres de la Terre; l'étoile la plus proche, Proxima du Centaure, est 268 872 fois plus éloignée! Un rayon de lumière prend un peu plus de huit minutes pour nous parvenir du Soleil; il faudrait à ce même rayon de lumière 4,22 années pour atteindre Proxima du Centaure...

Quand on le compare aux autres étoiles, le Soleil est un astre ordinaire. Certaines étoiles sont des milliers de fois plus grosses et des millions de fois plus lumineuses que lui. Le Soleil est une naine jaune, une des centaines de milliards d'étoiles qui composent notre Galaxie, la Voie lactée.

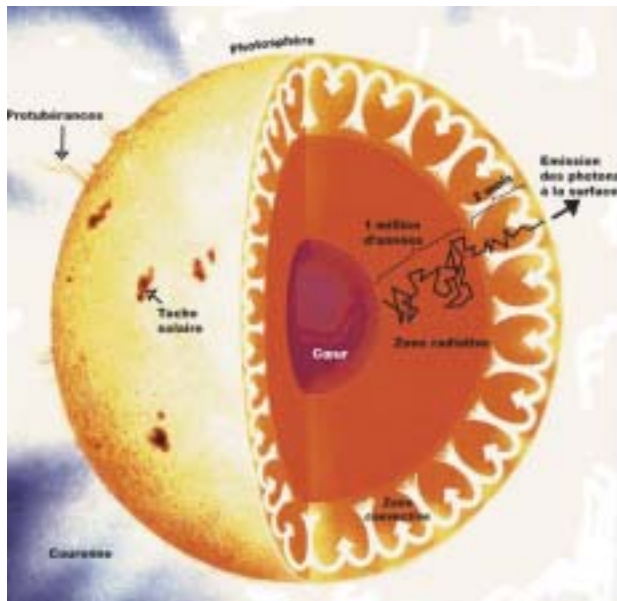
C'est quand on le compare à son cortège de planètes que le Soleil redevient un géant. Il faudrait aligner pas moins de 109 planètes de la taille de la Terre pour égaler son diamètre! Son volume contiendrait facilement 1 300 000 planètes comme la nôtre! Il renferme à lui seul plus de 99 % de toute la masse du système solaire.

## Diamètres comparés de la Terre et du Soleil



Source : Centre de développement pédagogique

Le Soleil est une immense boule de gaz chauds constituée principalement d'hydrogène et d'hélium, les deux éléments les plus abondants de l'Univers. La température moyenne à la surface du Soleil est de 5 500 degrés Celsius et augmente au fur et à mesure que l'on s'enfonce vers le cœur de la fournaise solaire. Au centre du Soleil, la température frôle les 15 millions de degrés!



Vue en coupe du Soleil

Source : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article>

Le Soleil produit toute son énergie par un processus que l'on nomme fusion nucléaire. Au centre du Soleil, des noyaux d'hydrogène fusionnent et se transforment en noyaux d'hélium. À chaque seconde, notre étoile transforme ainsi 600 millions de tonnes d'hydrogène en 596 millions de tonnes d'hélium. Les quatre millions de tonnes d'hydrogène « perdues » sont transformées en énergie, selon la célèbre formule  $E = mc^2$ . C'est un rythme infernal, mais les réserves du Soleil sont grandes : les calculs indiquent qu'il brille ainsi depuis cinq milliards d'années et qu'il continuera de le faire pendant encore cinq autres milliards d'années!

L'énergie dégagée par les réactions de fusion nucléaires est d'abord transportée depuis le cœur du Soleil vers les zones plus proches de la surface par des photons, de minuscules « grains » de lumière. On appelle zone radiative la région où l'énergie du Soleil est ainsi transportée.

Mais la zone radiative est opaque à la lumière, ce qui signifie que les photons sont constamment absorbés puis réémis par les atomes de gaz qui composent l'intérieur du Soleil. Cela a pour effet de dévier les photons de leur course; un photon peut ainsi zigzaguer pendant plusieurs centaines de milliers d'années pour franchir la distance correspondant à la moitié du rayon du Soleil!

Au-dessus de la zone radiative se trouve la zone de convection, où l'énergie est transportée par la matière elle-même : les régions plus chaudes remontent vers la surface où elles se refroidissent en rejetant lumière et chaleur dans l'espace, tandis que les régions plus froides s'enfoncent vers la base de la zone de convection, se réchauffent et remontent à leur tour vers la surface. C'est un phénomène très similaire à ce qui se produit dans une soupe épaisse qui « bouillonne ». Au-dessus de la zone de convection se trouve la photosphère, la « surface » du Soleil; c'est la région du Soleil que l'on aperçoit depuis la Terre.



Taches solaires - source : Nasa

La surface du Soleil est intéressante à plus d'un titre, et on y observe un grand nombre de phénomènes spectaculaires. Les taches solaires sont des parties de la surface du Soleil légèrement plus froides que les régions voisines. La température moyenne y est de 4 500 degrés. Les taches apparaissent sombres par contraste avec le reste de la surface du Soleil, plus chaude et donc plus brillante. Leur nombre augmente avec le niveau d'activité du Soleil, qui varie selon un cycle dont la période est de onze ans.

Il est possible d'observer les taches solaires à l'aide d'un instrument optique (jumelles ou télescope), mais ce type d'observation requiert la plus grande prudence. La lumière du Soleil, concentrée par les lentilles ou les miroirs, peut provoquer des brûlures incurables à la rétine. Il faut donc se munir de filtres adéquats ou, encore mieux, utiliser le système optique pour projeter une image du Soleil sur un écran (voir l'annexe 2 du document intitulé « Les éclipses de Lune et de Soleil »). De cette manière, en dessinant ce que l'on voit et en répétant les observations d'un jour à l'autre, il est possible de mettre en évidence la rotation du Soleil d'est en ouest.

Notons cependant que le Soleil étant une immense boule de gaz, il ne tourne pas sur lui-même comme un objet solide. En particulier, les régions situées près de l'équateur solaire ont une période de rotation de 25 jours, beaucoup plus courte que celle des régions situées près des pôles et qui complètent un tour en 35 jours. On nomme ce phénomène « rotation différentielle ».

Les taches solaires sont généralement accompagnées d'explosions violentes. Ces éruptions solaires projettent dans l'espace autour du Soleil des quantités impressionnantes de matière brûlante. Ces colonnes de gaz, constituées principalement de protons et d'électrons, peuvent s'élever jusqu'à des centaines de milliers de kilomètres au-dessus de la surface du Soleil.



Éruption solaire - source : Nasa

Lorsque les particules émises par les éruptions solaires quittent le Soleil et arrivent à proximité de la Terre, elles sont déviées vers les pôles Nord et Sud de notre planète par le champ magnétique terrestre. Elles bombardent alors la haute atmosphère de la Terre, ce qui fait briller les molécules de l'air. C'est ce phénomène, équivalent à ce qui se passe à l'intérieur d'un tube néon sous tension, qui donne naissance aux magnifiques aurores polaires, boréales dans l'hémisphère Nord et australes dans l'hémisphère Sud (voir le document intitulé « Les aurores boréales »).



Aurore boréale - source : Nasa

## Notre planète, la Terre



Source : Nasa

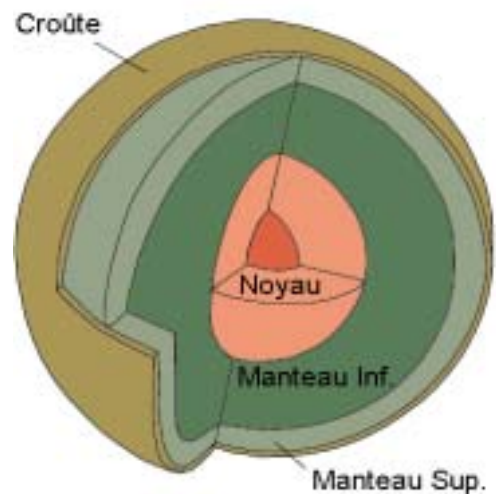
La Terre est la troisième planète du système solaire, après Mercure et Vénus. Son atmosphère abrite une étonnante variété de climats. La Terre est un monde couvert principalement d'eau, mais également de masses continentales importantes. Certains continents sont couverts de glace, d'autres d'une végétation luxuriante. Plus important encore, la Terre est la seule planète à notre connaissance où la vie est apparue et s'est développée.

Mais pour se développer, la vie telle que nous la connaissons a besoin d'eau. Heureusement, la Terre en regorge : plus de 70 % de la superficie totale de la planète en est recouverte, ce qui représente pas moins de 360 millions de kilomètres carrés! La Terre est la seule planète du

système solaire où l'eau existe en abondance à l'état liquide. Nous devons cette chance extraordinaire à la présence autour de notre planète d'une atmosphère dense (l'eau ne peut exister à l'état liquide dans le vide de l'espace), et au fait que la Terre se trouve juste à la bonne distance du Soleil. Plus près, et toute l'eau s'évaporerait; plus loin, et la Terre se couvrirait de glace!

L'atmosphère terrestre est unique dans le système solaire. C'est cette mince couche de gaz qui nous protège du vide et du froid de l'espace. Toutes proportions gardées, l'atmosphère de la Terre est aussi mince que la pelure d'une pomme! L'air que nous respirons contient de l'azote et de l'oxygène, alors que les atmosphères de Mars et de Vénus en sont dépourvues. Leurs atmosphères sont plutôt constituées de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), un gaz irrespirable. L'atmosphère terrestre tempère les climats en transportant la chaleur des régions tropicales vers les zones plus froides, près des pôles.

On peut diviser l'intérieur de la Terre en trois zones : la croûte, le manteau et le noyau. La croûte terrestre est la partie que nous connaissons le mieux. Elle mesure en moyenne 12 kilomètres d'épaisseur sous les océans, 30 kilomètres sous les continents et 60 kilomètres sous les régions montagneuses. Sous la croûte, on trouve le manteau, composé de roches en fusion que l'on nomme magma. On peut à l'occasion étudier des échantillons de magma éjectés par les volcans sous forme de lave. Le manteau s'étend de la base de la croûte terrestre jusqu'à une profondeur de 3 000 kilomètres.



Vue de la Terre en coupe  
Source : <http://www.prim.net/dessins/schemaglobeico.jpg>

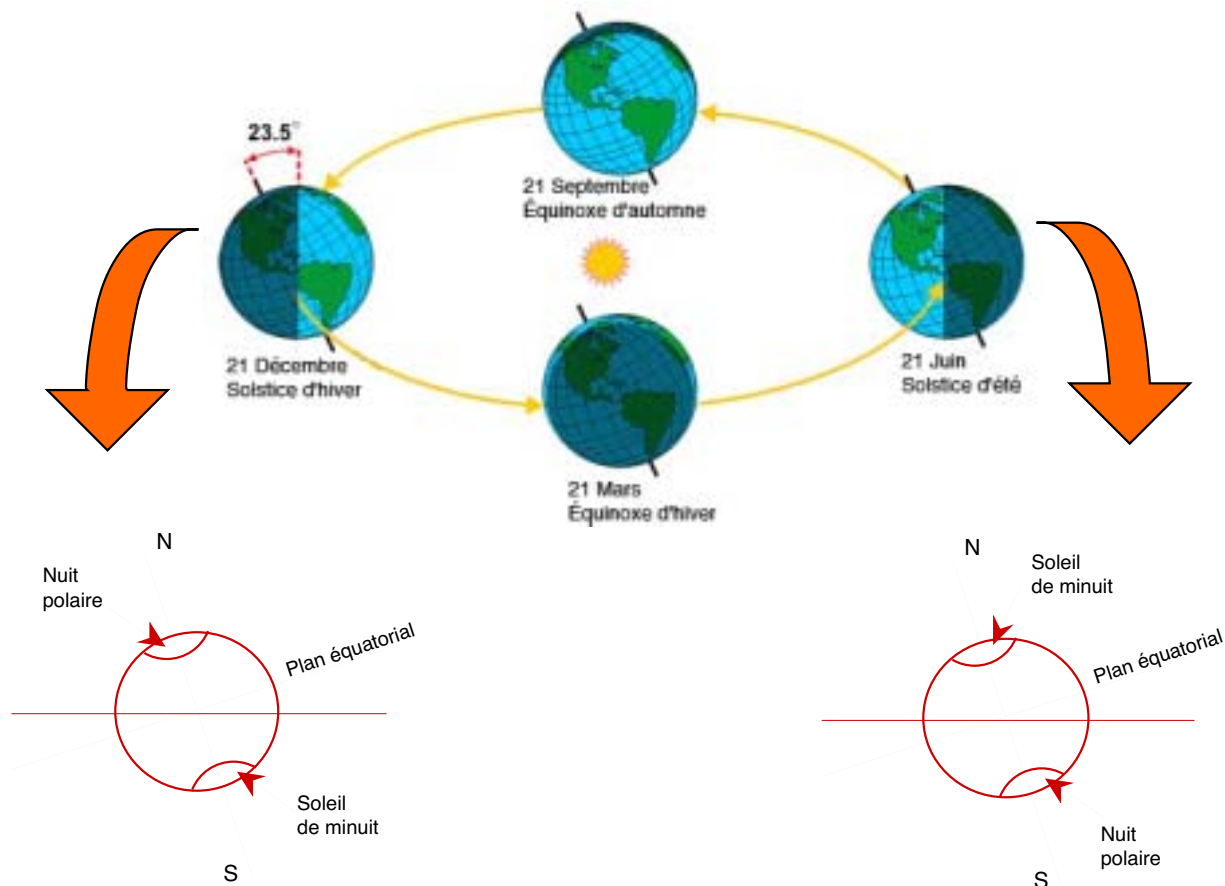
Le centre de la Terre est occupé par le noyau, une région extrêmement dense qui mesure 7 000 kilomètres de diamètre; le noyau de la Terre est plus gros que la planète Mercure! La portion extérieure du noyau est liquide, alors que le centre est solidifié par la grande pression. Le noyau est constitué principalement de fer et de nickel. La température au centre du noyau est d'environ 5 000 degrés Celsius.

On compare souvent la Terre à un œuf. Toutes proportions gardées, la croûte terrestre est aussi mince, par rapport au diamètre de la planète, que la coquille d'un œuf! Le blanc de l'œuf représente le manteau, et le jaune, le noyau.

La Terre est la seule planète du système solaire où des plaques tectoniques dérivent les unes par rapport aux autres. Ces plaques continentales flottent littéralement sur le manteau. L'écartement ou la collision de deux plaques est responsable du volcanisme, de la formation des chaînes de montagnes et des multiples séismes qui secouent régulièrement notre planète.

La Terre tourne sur elle-même comme une toupie penchée, autour d'un axe de rotation que l'on nomme l'axe des pôles. Elle met vingt-quatre heures pour faire un tour complet. On appelle ce mouvement « rotation », et c'est lui qui est responsable de l'alternance du jour et de la nuit. La période de rotation mesurée entre deux passages successifs du Soleil au-dessus du méridien d'un lieu quelconque s'appelle la rotation synodique et elle est égale à 24 h. La période de rotation mesurée entre deux passages successifs de la même étoile au méridien s'appelle la rotation sidérale et mesure 23 h 56 m (voir le document intitulé « Le cycle du jour et de nuit »).

### Le mécanisme des saisons



Source : Planétarium de Montréal

En plus de tourner sur elle-même, la Terre se déplace autour du Soleil le long d'une orbite légèrement elliptique (aplatie). Elle met un an (365,2425 jours) pour compléter une révolution autour du Soleil. C'est au cours de ce long voyage autour de notre étoile que se succèdent les

saisons sur Terre. Le phénomène des saisons ne doit cependant rien à la variation de la distance Terre-Soleil, elle-même due à l'excentricité de l'orbite terrestre. La distance Terre-Soleil varie en effet de moins de trois pour cent en un an, soit de 147 à 152 millions de kilomètres. Il est intéressant de noter que la Terre est au point de son orbite le plus rapproché du Soleil (le périhélie) au début de janvier, alors que l'hémisphère Nord vit ses journées les plus froides de l'année! La Terre est au plus loin du Soleil (l'aphélie) autour du 4 juillet...

Les saisons sont en réalité dues à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite autour du Soleil et au fait que l'axe pointe toujours dans la même direction tandis que la Terre se déplace autour du Soleil. Lorsque l'hémisphère Nord est incliné en direction du Soleil, ses rayons y frappent la surface presque à angle droit. Les journées sont plus longues, le transfert de chaleur au sol est maximum, et il fait plus chaud : c'est l'été dans l'hémisphère Nord. Au même moment, l'hémisphère Sud penche dans la direction opposée au Soleil. Ses rayons y frappent la surface avec un angle plus rasant. Les jours sont plus courts, le transfert de chaleur se fait moins efficacement, donc il fait plus froid : c'est l'hiver dans l'hémisphère Sud. Six mois plus tard, la situation s'inverse et c'est au tour du pôle sud de pencher en direction du Soleil : l'hiver s'installe dans l'hémisphère Nord, pendant que l'été réchauffe l'hémisphère Sud.

## **À la découverte des planètes**

Lorsque les premiers humains levèrent les yeux au ciel, ils virent d'abord une multitude d'étoiles scintillantes qui paraissaient fixes et immuables, entraînés de l'est et vers l'ouest par le mouvement d'ensemble de la voûte céleste (mouvement en réalité dû à la rotation de la Terre sur elle-même). Mais en observant le ciel plus attentivement, ils s'aperçurent bientôt que certaines « étoiles » bougeaient par rapport aux autres. Elles se déplaçaient de manière capricieuse et imprévisible, comme si elles erraient à travers le ciel. C'est ce comportement étrange qui incita les Grecs de l'Antiquité à leur donner un nom qui signifie errants ou vagabonds. En grec, ce mot se dit « planêtês ». Ces astres vagabonds sont les planètes...

Le 24 août 2006, les astronomes membres de l'Union astronomique internationale (UAI) réunis à Prague, en République tchèque, ont adopté une résolution définissant pour la première fois dans l'histoire ce qu'est une planète. La nouvelle définition pose trois critères pour déterminer le statut planétaire d'un corps céleste. Ces trois critères sont:

1. Une planète est un astre non lumineux en orbite autour d'une étoile (en l'occurrence, le Soleil);
2. Une planète est un astre suffisamment massif pour s'être arrondi sous l'effet de sa propre gravité. On dit d'un tel objet sphérique qu'il a atteint un état d'équilibre hydrostatique. Bien qu'il n'existe pas de limite inférieure bien définie, on estime



généralement qu'un corps doit posséder un diamètre d'au moins 800 km pour atteindre un tel équilibre;

3. Une planète a éliminé tout corps se trouvant sur une orbite proche de la sienne, soit en l'absorbant, soit en l'éjectant de son orbite. En d'autres termes, une planète occupe une place prépondérante dans la région du système solaire où se trouve son orbite.

Avant l'adoption de cette définition, Pluton était considérée comme la neuvième planète, tandis que Cérès faisait partie de la ceinture d'astéroïdes. La découverte de 2003UB313 (aujourd'hui connu sous le nom d'Éris), un objet trans-neptunien dont le diamètre est supérieur à celui de Pluton, a forcé les astronomes à s'interroger sérieusement sur ce qu'est - et n'est pas - une planète. La définition présentée ci-haut, fruit d'un compromis imparfait, n'en représente pas moins la meilleure tentative pour classer de façon raisonnée les objets qui peuplent le système solaire.

La nouvelle nomenclature reconnaît donc huit planètes (de Mercure à Neptune), au moins trois planètes naines (des objets qui satisfont aux deux premiers critères mais pas au troisième, soit Cérès, Pluton, et Éris) et enfin la catégorie des petits corps du système solaire (qui regroupe les astéroïdes et les comètes). Bien qu'il soit peu probable que l'on découvre un jour une nouvelle planète dans le système solaire (la fameuse planète X !), le nombre d'objets dans la catégorie des planètes naines et des petits corps du système solaire est appelée à augmenter de façon vertigineuse au fur et à mesure que des télescopes plus performants nous permettront de mieux explorer les régions plus lointaines du système solaire.

En plaçant les planètes dans l'ordre croissant de leurs distances moyennes au Soleil, on retrouve d'abord Mercure, puis Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Voici un moyen mnémotechnique pour se remémorer l'ordre des planètes, de la plus proche à la plus éloignée du Soleil : « **M**on **V**ieux, **T**u **M**'as **J**eté **S**ur **U**ne **N**aine ». La première lettre de chaque mot est également la première lettre du nom des planètes (**M**ercure, **V**énus, etc.). En prime, l'auxiliaire avoir (« **M'as** ») nous rappelle la position de la ceinture d'**ast**éroïdes entre les orbites de Mars et Jupiter!

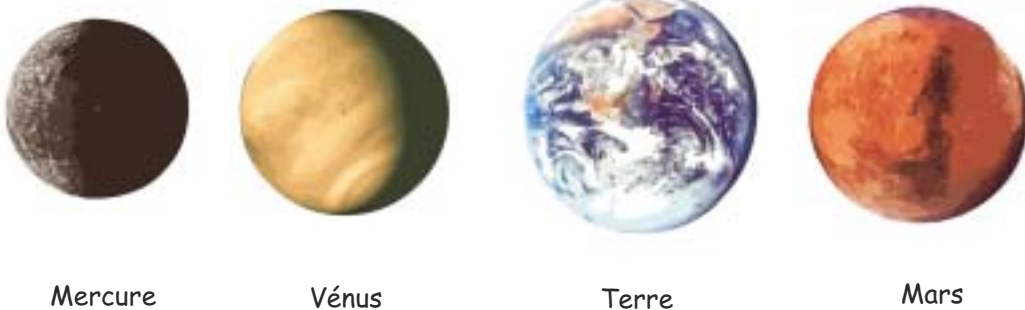
Le classement est bien sûr différent lorsqu'on considère la taille des planètes. Jupiter est la plus grosse planète du système solaire, suivie de Saturne, Uranus et Neptune. Vient ensuite la Terre (la plus grosse des planètes solides), suivie de Vénus, Mars et Mercure, la plus petite des huit planètes.



Source : Centre de développement pédagogique

On peut regrouper les planètes en deux familles, selon leur composition et leur constitution. Il y a d'abord les planètes terrestres, ou telluriques, dont les caractéristiques ressemblent à celles de la Terre. Ces planètes possèdent un noyau métallique dense et chaud, un manteau rocheux plus ou moins élastique, et une croûte solide plus ou moins épaisse. Mercure, Vénus, la Terre et Mars sont des planètes telluriques.

### Les planètes telluriques



Mercury

Venus

Terre

Mars

Source : Centre de développement pédagogique

L'autre groupe principal est constitué des planètes gazeuses, ou joviennes, dont les caractéristiques ressemblent à celles de Jupiter. Ces planètes sont composées principalement de gaz, surtout de l'hydrogène et de l'hélium. Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune sont des planètes gazeuses. Ces planètes géantes possèdent vraisemblablement des noyaux solides de roche et de glace de la taille de la Terre, entourés d'océans d'hydrogène liquide plus ou moins profonds. Ce sont leurs atmosphères démesurées qui expliquent les dimensions impressionnantes des géantes gazeuses.

### Les planètes joviennes



Source : Centre de développement pédagogique

Cinq planètes seulement sont visibles à l'œil nu depuis la Terre. Il s'agit de Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. Ces planètes sont connues depuis l'aube de l'humanité. Uranus et Neptune ne peuvent être observées qu'au moyen de télescopes relativement puissants. Ces deux planètes étaient donc inconnues de nos lointains ancêtres.

Uranus a été découverte en mars 1781 par le musicien et astronome amateur anglais William Herschel. Neptune a été observée pour la première fois en 1846 par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle, après que deux mathématiciens, le français Urbain Jean Joseph Le Verrier et l'anglais John Couch Adams, eurent prédit mathématiquement la position de la planète en se basant sur les perturbations observées de la trajectoire d'Uranus.

Il n'y a pas que dans notre système solaire que l'on trouve des planètes. Depuis 1995, on découvre de plus en plus de planètes géantes en orbite autour d'étoiles proches du Soleil. La plupart de ces planètes extrasolaires sont plus grosses que Jupiter, et donc peu propices au développement de la vie. Mais des planètes de la taille d'Uranus et de Neptune ont été découvertes récemment, ce qui permet de croire que des planètes comme la Terre existent peut-être, attendant que nos instruments soient suffisamment sensibles pour les détecter.

## Les planètes telluriques



Mercure - source : Nasa

Malgré ces températures infernales, on a observé ce qui semble être de la glace sur Mercure, au creux de cratères situés près des pôles Nord et Sud de la planète. Les bords de ces cratères sont si élevés que les rayons du Soleil n'en atteignent jamais le fond. La glace y a sans doute été déposée par des comètes qui se sont écrasées sur Mercure, il y a très longtemps. Mercure n'a reçu qu'une seule fois la visite d'une sonde spatiale, l'américaine *Mariner 10*, en 1974.

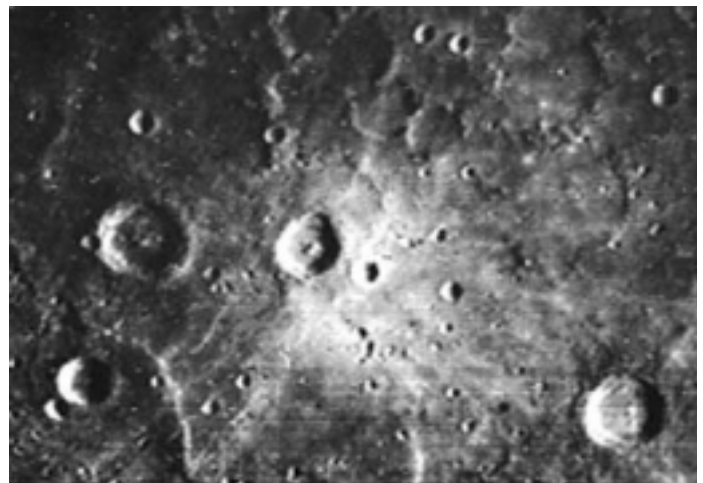
La sonde américaine *Messenger* a été lancée le 3 août 2004; elle devrait atteindre Mercure en mars 2011 après de longues manœuvres de correction d'orbite qui lui feront survoler la Terre et Vénus à deux reprises.

Vénus est la planète qui s'approche au plus près de la Terre. Par son diamètre et sa composition chimique, c'est également la planète qui lui ressemble le plus. Comme la Terre, Vénus possède une atmosphère dense, mais composée presque exclusivement de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), un gaz irrespirable. Le dioxyde de carbone est à l'origine d'un effet de serre incontrôlable qui fait que la température à la surface de Vénus atteint 450 degrés. La pression atmosphérique à la surface équivaut à celle qu'on mesure



Vénus - source : Nasa

Mercure est la planète la plus rapprochée du Soleil. C'est un petit corps à peine plus gros que notre Lune. Tout comme notre satellite, la surface de Mercure est couverte de cratères. Mercure ne possède pas d'atmosphère. Elle ne peut donc atténuer les écarts de température entre son côté tourné vers le Soleil et son côté nuit. Ainsi, lorsque le Soleil tout proche brille dans le ciel de Mercure, la température au sol atteint 425 degrés Celsius. Mais dès que la nuit tombe, la température chute à 200 degrés sous zéro! Cet écart de température de 625 degrés est le plus important de tout le système solaire!



Surface de Mercure - source : Nasa

sous un kilomètre d'eau. L'atmosphère est si dense qu'un astronaute muni d'ailes de carton pourrait presque y voler! D'épais nuages flottent dans la haute atmosphère de Vénus, voilant continuellement la surface de la planète. De plus, il pleut en permanence des gouttelettes d'acide sulfurique concentré. Vénus est loin d'être un endroit accueillant!

Seul un puissant radar peut pénétrer la couverture nuageuse opaque qui entoure Vénus. Le relief de la planète a été reconstitué grâce aux données radar obtenues par la sonde américaine *Magellan*, qui est demeurée en orbite autour de Vénus de 1990 à 1994. Le relief vénusien ressemble à celui de la Terre, avec des montagnes, des vallées, des plateaux et des volcans. On a même cru y déceler des traces de coulées de lave relativement récentes.

La surface de Vénus a été photographiée de près à quelques reprises par des sondes soviétiques *Venera* qui s'y sont posées dans les années 70. Les roches qu'on y retrouve sont vraisemblablement d'origine volcanique.

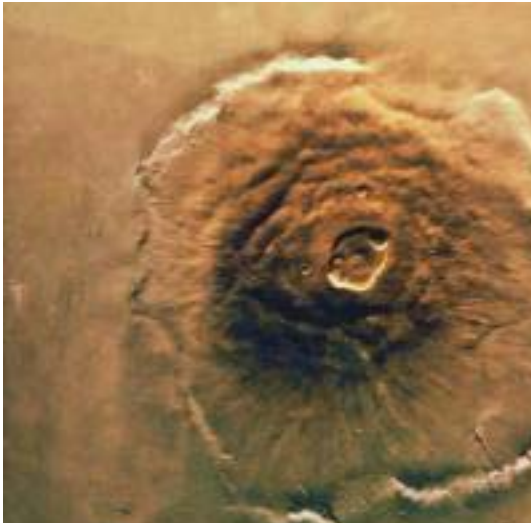
En 2006, l'Agence spatiale européenne (ESA) plaçait en orbite autour de Vénus la sonde *Venus Express*, qui a pour mission d'étudier en détail l'atmosphère de notre voisine. Entre autres instruments, la sonde emporte un appareil qui permettra d'analyser en détail la composition chimique de l'atmosphère vénusienne à la recherche, entre autres, de gaz d'origine volcanique qui prouveraient que des éruptions ont récemment modifié le relief vénusien.



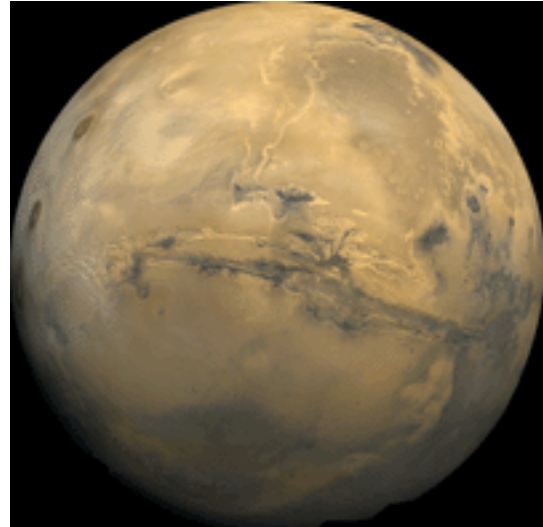
Surface de Vénus - source : Nasa

Au-delà de l'orbite de la Terre, on trouve Mars, la « planète rouge ». Mars doit son surnom au fait que sa surface est recouverte d'une poudre de minerai de fer oxydé : en d'autres mots, la planète est rouillée! Les régions plus sombres sont des plateaux montagneux ou des vallées profondes. Les pôles Nord et Sud sont recouverts de couches plus ou moins épaisses de neige carbonique et de glace qui croissent et rétrécissent au gré des saisons martiennes. Mars possède en outre une mince atmosphère irrespirable de dioxyde de carbone. Il fait plutôt froid sur Mars : -80 degrés Celsius en moyenne.

Mars est environ deux fois plus petite que la Terre. Malgré cela, elle possède le plus haut volcan et le plus long cañon de tout le système solaire. *Olympus Mons* s'élève en effet à près de 26 kilomètres au-dessus de la surface martienne. C'est plus de trois fois la taille du mont Everest! Sa base mesure plus de 500 kilomètres de diamètre, soit presque la distance entre Montréal et Toronto.



Olympus Mons - source : Nasa



Valles Marineris - source : Nasa

Le cañon *Valles Marineris* est une profonde cicatrice longue de 5 000 kilomètres, soit la distance entre Montréal et Vancouver. Elle mesure plus de 100 kilomètres de large et sept kilomètres de profondeur par endroits.

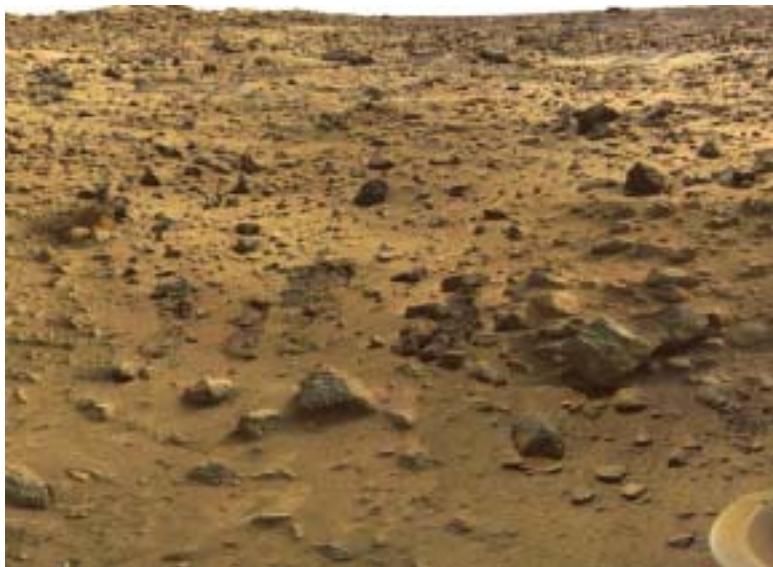
En outre, Mars possède deux satellites de forme irrégulière, Phobos et Deimos (« peur » et « terreur », en grec), qui mesurent respectivement 27 et 15 kilomètres dans leur plus grande longueur.



Phobos et Deimos - Source: [planete.astronomie.free.fr/Mars/](http://planete.astronomie.free.fr/Mars/)

De nombreuses sondes spatiales américaines et soviétiques se sont rendues à proximité de la planète Mars, mais seulement un tiers environ des missions ont connu le succès. En 1976, deux sondes américaines *Viking* se posaient sur la surface de la planète. Elles emportaient à leur bord des expériences visant à détecter la présence d'éventuelles formes de vie microscopiques dans le sol martien. Les résultats de ces expériences furent négatif : le sol de Mars est stérile.

En janvier 2004, les deux sondes américaines *Mars Exploration Rover* baptisées *Spirit* et *Opportunity* se posaient avec succès sur Mars, renvoyant vers la Terre de superbes images de la surface de la planète rouge. Entre autres découvertes remarquables, les deux robots-géologues ont confirmé qu'autrefois, Mars regorgeait d'eau liquide à sa surface. Toute cette eau aurait mystérieusement disparu, il y a quelques milliards d'années, sans que les scientifiques ne sachent pourquoi, ni où elle se trouve aujourd'hui. Cette découverte a relancé le débat concernant la possibilité que la vie soit apparue brièvement sur Mars au même moment où elle apparaissait sur Terre, il y a environ 4 milliards d'années.



Surface de Mars - source : Nasa

D'autres missions spatiales seront lancées pour scruter Mars à la loupe au cours des prochaines années. Les responsables de mission profitent du fait que Mars se rapproche de la Terre à tous les deux ans et deux mois pour lancer des sondes qui atteignent la planète en moins de six mois. Des sondes de surface munies de pénétrateurs creuseront bientôt le sous-sol martien près des pôles à la recherche d'eau et de fossiles de micro-organismes qui auraient pu exister sur la planète rouge, il y a quelques milliards d'années. Toutes ces missions visent à mieux comprendre notre proche voisine, dans l'espoir qu'un jour des êtres humains pourront peut-être y établir une colonie.

## Les astéroïdes

En nous éloignant davantage du Soleil, nous atteignons une région occupée par des millions de roches et de blocs de toutes tailles : c'est la ceinture d'astéroïdes. Longtemps considéré comme le plus gros astéroïde mais aujourd'hui classé dans la catégorie des planètes naines, Cérès fut le premier à être détecté; on doit sa découverte à l'astronome italien Giuseppe Piazzi, le premier janvier 1801. Cette planète naine fait environ 1 000 kilomètres de diamètre. C'est à peu près la distance entre Montréal et Percé. Les astéroïdes sont plus petits. Ils sont difficiles à repérer, à moins de savoir dans quelle direction pointer nos télescopes. On a longtemps cru que les astéroïdes étaient les débris d'une planète qui se serait désintégrée à la suite d'une collision. Aujourd'hui, les astronomes croient plutôt que l'influence gravitationnelle de la géante Jupiter, toute proche, a empêché les astéroïdes de se regrouper pour former une planète.

Contrairement à ce que certains films de science-fiction ou certaines émissions de télévision pourraient nous porter à croire, la ceinture d'astéroïdes est essentiellement vide : les astéroïdes sont tellement petits et tellement éloignés les uns des autres et la région où on les retrouve est tellement vaste que l'on pourrait traverser la ceinture sans jamais risquer la moindre collision. Les astéroïdes occupent en effet moins de  $3,5 \times 10^{-18}$  % de tout le volume de la ceinture...



La ceinture d'astéroïdes - source : University Corporation for atmospheric Research

De nombreux autres astéroïdes qui ne font pas partie de la ceinture errent entre les planètes. Certains d'entre eux croisent parfois l'orbite de la Terre. Ces astéroïdes géocroiseurs sont une menace pour la vie sur notre planète. On calcule que la chute sur Terre d'un astéroïde de dix kilomètres de diamètre pourrait provoquer une extinction massive, comme ce fut probablement



le cas au moment de la grande extinction des dinosaures, il y a 65 millions d'années. On a retrouvé au large de la péninsule du Yucatan le cratère de Chicxulub correspondant à cet impact : le cratère mesure environ 100 km de diamètre (voir le document intitulé « Les impacts météoritiques »). Les astronomes ont entrepris il y a quelques années de recenser l'ensemble des astéroïdes géocroiseurs, afin de prévenir tout risque de collision qui pourrait survenir dans un avenir plus ou moins proche.

## Les planètes joviennes

Une fois dépassée la ceinture d'astéroïdes, nous quittons le domaine des planètes telluriques. Nous voici dans le royaume des géantes gazeuses : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune...

Contrairement à Mercure, Vénus, la Terre et Mars, qui sont des planètes terrestres sur lesquelles nous pourrions nous poser et marcher, les géantes gazeuses sont, comme leur nom l'indique, d'immenses boules de gaz. Elles sont constituées presque exclusivement d'hydrogène et d'hélium. Impossible donc « d'atterrir » à la surface de ces mondes étranges. Un vaisseau spatial tombant dans l'atmosphère de ces géantes s'enfoncerait inexorablement, jusqu'à ce que la grande pression qui règne en profondeur l'écrase comme une vulgaire canette vide!

La plus impressionnante de ces géantes est Jupiter, la plus grosse planète du système solaire. Dans son volume, on pourrait loger 1 400 planètes de la taille de la Terre! Jupiter est deux fois et demie plus massive que toutes les autres planètes réunies. Entourée d'un cortège de 63 satellites<sup>1</sup> et de quatre minces anneaux, Jupiter est véritablement la reine des planètes.

Les sondes spatiales américaines *Pioneer 10* et *11* et *Voyager 1* et *2* lancées vers Jupiter dans les années 70 nous ont montré des bandes de couleur, des nuages et de nombreux cyclones qui tourbillonnent dans l'atmosphère de la géante. Une de ces tempêtes est la grande tache rouge, un cyclone assez vaste pour contenir deux fois la Terre. Cette tempête souffle dans l'atmosphère de Jupiter depuis plus de trois cents ans! On a récemment vu apparaître une seconde tache rouge, plus petite, baptisée « Rouge jr. ». Les teintes rouges, brunes et orangées de l'atmosphère de Jupiter semblent être causées par des impuretés et des composés organiques en suspension dans les nuages de méthane.



La Grande tache rouge de Jupiter - source : Nasa

<sup>1</sup> Chiffre au 25 septembre 2006.

Les anneaux de Jupiter ont été découverts par hasard par la sonde *Voyager 1* en 1979 alors qu'elle photographiait le côté sombre de la planète. Les anneaux sont en effet si minces qu'ils ne sont visibles qu'à contre-jour. Les quatre anneaux sont emboîtés les uns dans les autres, si bien qu'ils apparaissent comme un seul et même anneau. Ils sont composés essentiellement de roches et de poussières microscopiques sombres, arrachées aux surfaces des quatre petites lunes situées le plus près de la planète. Les anneaux s'étendent jusqu'à l'orbite du satellite Thébé, à 220 000 kilomètres du centre de la planète.



Les anneaux de Jupiter - source : Nasa

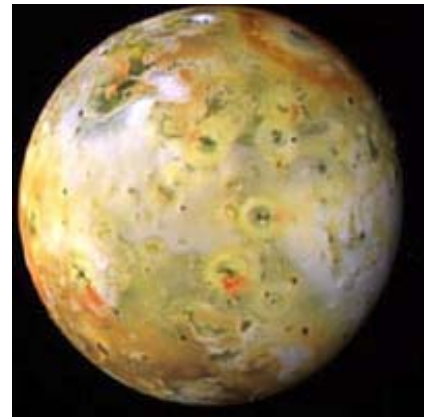
Les quatre plus gros satellites de Jupiter sont suffisamment brillants pour être vus depuis la Terre au moyen de jumelles ou d'un télescope d'amateur.

Du plus proche au plus éloigné de Jupiter, il s'agit d'Io, Europe, Ganymède et Callisto. Ce sont les satellites galiléens, nommés en l'honneur de l'astronome italien Galileo Galilei qui les a découverts en 1610.



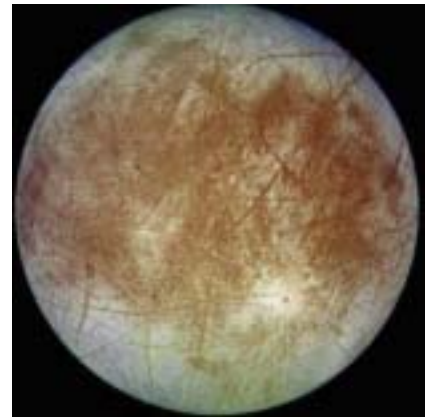
Satellites de Jupiter - source : Nasa

Io (prononcé « iyo ») est continuellement secoué par de violentes éruptions volcaniques qui recouvrent sa surface de composés sulfureux orangés et blanchâtres. La petite Lune ressemble tout à fait à une pizza! Io se trouve au milieu d'une intense lutte gravitationnelle, une sorte de « soucque à la corde », entre Jupiter d'un côté, et Europe, le satellite voisin, de l'autre. Leurs actions combinées étirent et compriment Io, ce qui réchauffe l'intérieur du satellite et provoque de nombreuses éruptions volcaniques.



Io - source : Nasa

Au contraire, la surface d'Europe est recouverte d'une épaisse couche de glace, ce qui en fait l'objet le plus lisse de tout le système solaire : les « bosses » à sa surface ne dépassent pas un kilomètre d'altitude. Un réseau complexe de fissures sillonne la surface. La lente dérive de blocs de glace le long de ces fissures, de même que l'absence de cratères, laissent croire qu'un vaste océan d'eau liquide se cache sous la glace. Certains spécialistes s'interrogent quant à la possibilité que la vie soit apparue dans cet océan...



Europe - source : Nasa



Ganymède - source : Nasa

Ganymède est le plus gros satellite du système solaire, plus gros même que la planète Mercure. Sa densité est toutefois proche de celle de l'eau, ce qui indique qu'il est composé en proportions égales de glace et de roche. Contrairement à Europe, la surface de Ganymède porte un grand nombre de cratères d'impact; s'il existe un océan d'eau liquide sous la surface, la croûte de glace qui le recouvre doit donc être plus épaisse que sur Europe.

Callisto, enfin, est une version réduite de Ganymède. Sa composition et sa constitution interne semblent être similaires à celles de sa voisine. La surface de Callisto porte toutefois un nombre beaucoup plus élevé de cratères d'impact que celle de Ganymède, ce qui signifie que la croûte de glace qui la recouvre doit être encore plus épaisse.



Calisto - source : Nasa

La sonde américaine *Galileo* est demeurée en orbite autour de Jupiter de décembre 1995 jusqu'en septembre 2003. Peu de temps après son arrivée, *Galileo* a largué une petite sonde dans l'atmosphère de Jupiter. Pendant cinquante-sept minutes, la sonde a étudié la composition chimique de l'atmosphère, sa température et sa pression, de même que la forme des nuages. Les nombreux instruments scientifiques à bord de *Galileo* ont étudié l'atmosphère et le puissant champ magnétique de la géante, de même que ses anneaux et ses nombreux satellites. La mission s'est terminée le 21 septembre 2003 lorsque ses responsables ont volontairement fait plonger la sonde dans l'atmosphère de la géante, où elle s'est désintégrée quelques minutes plus tard.

Avec son magnifique système d'anneaux, Saturne est sans conteste la plus belle planète du système solaire. Saturne est la seconde des géantes gazeuses, avec un diamètre près de dix fois supérieur à celui de la Terre. Mais Saturne est moins dense que l'eau : si l'on pouvait la déposer dans un bain suffisamment vaste, la planète flotterait !

Les anneaux de Saturne sont une collection de blocs de glace et de débris de roche givrés, de toutes tailles, qui tournent autour de la géante. Les anneaux de Saturne sont extrêmement minces; même s'ils s'étendent sur des dizaines de milliers de kilomètres, ils dépassent rarement 1 000 mètres d'épaisseur. Si l'on ramenait l'épaisseur des anneaux à celle d'une feuille de papier, la feuille mesurerait 27 mètres de diamètre, et Saturne elle-même serait une montgolfière de 12 mètres de diamètre!



Saturne - source : Nasa

Saturne possède 56 lunes<sup>2</sup>. Titan, la plus grosse, est le second plus gros satellite du système solaire après *Ganymède*, et le seul qui possède une atmosphère dense. La pression atmosphérique à la surface de Titan est une fois et demie supérieure à la pression atmosphérique terrestre. Son atmosphère est constituée à 90 % d'azote, le reste étant surtout du méthane. On y retrouve également une grande quantité de molécules organiques complexes. Une épaisse brume orangée voile continuellement la surface du satellite.

<sup>2</sup> Chiffre au 25 septembre 2006.

Entre 1979 et 1981, Saturne a reçu la visite de trois sondes spatiales américaines : *Pioneer 11*, et les *Voyager 1* et *2*. La sonde *Cassini*, lancée en octobre 1997, a atteint Saturne en juillet 2004. Cette sonde étudie l'atmosphère de la géante, de même que ses anneaux et ses satellites. Le 25 décembre 2004, *Cassini* a largué une sonde plus petite, baptisée *Huygens*, qui s'est enfoncée sous les nuages de Titan 21 jours plus tard, en janvier 2005. *Huygens* a étudié la composition chimique de l'atmosphère de Titan, sa température et sa pression, et nous a renvoyé des images inédites de la surface de ce mystérieux satellite. Plusieurs astronomes croient que Titan ressemble à la Terre primitive; son étude pourrait nous renseigner sur les conditions qui régnaient sur Terre au moment où la vie est apparue sur notre planète.

Uranus, la troisième géante gazeuse, a un diamètre quatre fois supérieur à celui de la Terre. L'épaisse brume de méthane qui la recouvre lui donne sa teinte bleu-vert caractéristique. L'axe de rotation d'Uranus est tellement incliné qu'au lieu de tourner sur elle-même comme une toupie, Uranus « roule » comme un baril, pointant tour à tour ses pôles Nord et Sud vers le Soleil. Puisque Uranus met quatre-vingt-quatre ans à compléter une orbite autour du Soleil, chacun de ses pôles est éclairé pendant quarante-deux ans, devenant ainsi le point le plus chaud de la planète, avant d'être plongé dans le noir et le froid pour les quarante-deux années suivantes.

Les anneaux d'Uranus ont été observés en détail par la sonde *Voyager 2* lors de son passage à proximité de la planète, en janvier 1986. On en dénombre 11 au total, tous plus noirs que du charbon. Les anneaux sont constitués d'un mélange de roches et de glace d'eau et de méthane. Le plus important fait environ 100 kilomètres de large, mais la majorité des autres ne dépassent pas dix kilomètres. Dans tous les cas, leur épaisseur est inférieure à 100 mètres.

Titania est la plus grosse des 27 lunes<sup>3</sup> en orbite autour d'Uranus. Elle mesure 1 610 kilomètres de diamètre, soit près de la moitié du diamètre de notre Lune. Elle est vraisemblablement composée d'un mélange de roches et de glace. Sa surface porte un grand nombre de cratères, de même que des fissures et des vallées profondes. Les plus petits satellites d'Uranus mesurent à peine 30 kilomètres de diamètre.

Neptune est la dernière des planètes gazeuses. Cette jumelle d'Uranus est à peine plus petite que sa voisine. Elle a reçu la visite de la sonde *Voyager 2* en 1989. Sa haute atmosphère est dominée par le méthane, mais le gaz est ici à plus basse température que sur Uranus, ce qui donne à la planète sa couleur bleue caractéristique.

La grande tache bleue découverte dans l'atmosphère de Neptune par la sonde *Voyager 2* était un cyclone similaire à la grande tache rouge de Jupiter. Les nuages blancs qui l'accompagnaient étaient des cirrus de méthane situés très loin au-dessus de la tempête. Des observations récentes

<sup>3</sup> Chiffre au 25 septembre 2006.

effectuées grâce au télescope spatial Hubble ont toutefois montré que la grande tache bleue a disparu. On a mesuré dans l'atmosphère de Neptune des vents soufflant à plusieurs milliers de kilomètres à l'heure, les plus rapides de tout le système solaire!

Les cinq anneaux de Neptune sont semblables aux anneaux d'Uranus, à une différence près : certaines portions sont plus larges que d'autres, ce qui les fait ressembler à des arcs. Comme pour Uranus, les anneaux sont un mélange de roches et de glace d'eau et de méthane. Les anneaux de Neptune sont particulièrement sombres : ils réfléchissent moins de cinq pour cent de la lumière qu'ils reçoivent du Soleil.

Triton est le plus gros des treize satellites de Neptune<sup>4</sup>. Il mesure 2 700 kilomètres de diamètre, ce qui le place parmi les dix principaux satellites du système solaire. Sa surface très variée rappelle la peau d'un cantaloup. On a découvert sur Triton plusieurs geysers qui soufflent régulièrement de la neige d'azote jusqu'à huit kilomètres d'altitude. Triton est un géant parmi les lunes de Neptune : le diamètre des autres satellites varie de 60 à 340 kilomètres.

### **Pluton, Éris et les objets trans-neptuniens**

Au-delà de l'orbite de Neptune, nous entrons dans le domaine des objets trans-neptuniens. Le premier de ces objets à avoir été découvert est Pluton, observée pour la première fois en 1930 par l'astronome états-unien Clyde Tombaugh. Au moment de sa découverte, on a surestimé le diamètre de l'objet, qui a été tout naturellement ajouté à la liste des planètes. Ce n'est que beaucoup plus tard que l'on s'est aperçu que Pluton (et son principal satellite, Charon) étaient des petits mondes dont les caractéristiques physiques et orbitales étaient beaucoup plus proches des astéroïdes que des planètes. Pluton ne mesure que 2400 km de diamètre et circule autour du Soleil sur une orbite beaucoup plus excentrique et plus inclinée que celle des autres planètes.

La découverte d'autres objets de même nature sur des orbites tout aussi « irrégulières » dans les années 1990 a renforcé l'opinion que Pluton n'était pas une planète comme les autres. Mais c'est la découverte de 2003UB313, un objet dont le diamètre est supérieur à celui de Pluton, qui a finalement entraîné une révision majeure de son statut. L'UAI a déterminé en 2006 que Pluton, Éris (le nouveau nom de 2003UB313) et Cérès font désormais partie d'une nouvelle classe d'objets baptisés planètes naines. Une demi-douzaine d'autres objets, dont Sedna, Orcus, Quaoar et Varuna complètent l'inventaire des objets trans-neptuniens connus, sans que leur statut de planète naine ne soit encore établi. De l'avis de tous, le nombre d'objets dans cette catégorie est appelé à croître au fur et à mesure des nouvelles découvertes aux confins du système solaire.

<sup>4</sup> Chiffre au 25 septembre 2006.

On considère généralement Pluton et Charon comme système double. Pluton et Charon présentent en effet le plus grand rapport de diamètres de toutes les planètes du système solaire : le diamètre de Charon représente un peu plus de la moitié de celui de Pluton, alors que le diamètre de notre Lune équivaut au quart du diamètre de la Terre. De plus, Pluton et Charon sont plus rapprochés, toutes proportions gardées, que n'importe quel autre astre l'est de son principal satellite. La distance Pluton-Charon correspond à 17 fois le rayon de Pluton, alors que la distance Terre-Lune représente 60 fois le rayon de la Terre. Ces caractéristiques uniques font de Pluton et Charon un cas à part dans le système solaire.

Une forte résonance gravitationnelle fait en sorte que la période orbitale de Charon est précisément égale à la période de rotation de Pluton sur elle-même. Puisque les deux mouvements se font dans la même direction, Charon demeure toujours au-dessus du même point de la surface de la planète naine. Pour un observateur sur Pluton situé directement sous Charon, le satellite semblerait fixe, suspendu à jamais dans le ciel. Au contraire, un observateur situé à l'antipode du premier ne verrait jamais Charon!

La NASA a lancé en janvier 2006 une sonde vers Pluton baptisée *New Horizons*. La sonde atteindra Pluton et Charon en 2015 et poursuivra ensuite sa route pour explorer d'autres objets trans-neptuniens au cours des années suivantes. Parions que cette mission d'exploration nous révélera quelques surprises!

### **Comètes, étoiles filantes et météorites**

Les comètes sont des boules de neige sale qui mesurent en moyenne une dizaine de kilomètres de diamètre. Elles se sont formées il y a cinq milliards d'années à partir des matériaux de la nébuleuse protosolaire qui a donné naissance au Soleil et à son cortège de planètes. Les comètes sont donc des « fossiles », datant de l'époque de la formation de notre système solaire.

La plupart des comètes trouvent leur origine dans un vaste nuage sphérique qui s'étend bien au-delà de l'orbite de Pluton. Le rayon de cette « coquille » centrée sur le Soleil équivaut à 50 000 fois la distance Terre-Soleil, soit environ le quart de la distance séparant le Soleil de l'étoile voisine la plus proche. On donne à ce réservoir de comètes le nom de « nuage de Oort », du nom de l'astronome hollandais qui a le premier prédit son existence.

Un autre important réservoir de comètes se trouve dans le plan des orbites des planètes, au-delà de l'orbite d'Uranus et de Neptune : il s'agit de la ceinture de Kuiper, du nom de l'astronome américain Gerard Kuiper qui l'a découverte.

Il arrive parfois qu'une perturbation gravitationnelle « pousse » une comète vers le centre du système solaire. La comète plonge alors vers le Soleil, autour duquel elle se met en orbite sur une

trajectoire fortement allongée. Lorsqu'une comète s'approche du Soleil, la chaleur de l'étoile sublime (passage direct de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide) la « neige », un mélange de gaz carbonique, d'eau, de méthane et d'ammoniac gelés. Il se forme alors autour du noyau une « tête » ou « coma » de gaz et de poussières mesurant environ 100 000 km de diamètre et une longue queue de gaz et de poussières pouvant atteindre plusieurs centaines de millions de kilomètres de long. Après son passage, la comète s'éloigne du Soleil et disparaît dans le vide glacé du système solaire... jusqu'à sa prochaine apparition!

En passant ainsi périodiquement à proximité du Soleil, une comète « sème » derrière elle une véritable rivière de débris qui flottent le long de son orbite autour du Soleil. Si, par hasard, l'orbite de la comète croise celle de la Terre, notre planète sera littéralement bombardée par des poussières de toutes tailles (aussi appelées « météoroïdes »), chaque fois qu'elle traversera ce nuage de débris. C'est ce qui donne naissance au phénomène des pluies annuelles d'étoiles filantes.

La plus connue de ces pluies est celle des Perséides, qui atteint un maximum d'activité à la mi-août. Sous un ciel clair et sans Lune, loin des lumières des villes, on peut apercevoir une cinquantaine d'étoiles filantes à l'heure! Chacune trahit l'entrée à grande vitesse dans l'atmosphère de la Terre d'un grain de poussière éjecté par un noyau de comète. En se « frottant » aux molécules de l'air, le grain s'échauffe et illumine brièvement l'air autour de lui. C'est cette colonne d'air lumineux que l'on nomme « étoile filante ».

D'autres étoiles filantes sont produites par l'entrée dans l'atmosphère de particules plus ou moins grosses qui ne font pas partie d'un nuage de poussières de comètes. On peut voir ces étoiles filantes « sporadiques » s'allumer à tout moment. La plupart de ces météoroïdes solitaires sont originaires de la ceinture d'astéroïdes. Dans le vide et le froid de l'espace, les météoroïdes sont demeurés intacts depuis leur formation, il y a cinq milliards d'années.

On évalue à environ 100 000 tonnes la quantité de météoroïdes qui entrent dans l'atmosphère terrestre chaque année. Les plus petits de ces météoroïdes se vaporisent complètement dans l'atmosphère avant d'atteindre le sol. Mais les objets suffisamment gros ne se réchauffent qu'en surface et atteignent le sol plus ou moins intacts. On les appelle alors des météorites. Il tombe ainsi au sol quelques centaines de tonnes de météorites chaque année, dont on ne retrouve en général qu'une vingtaine d'échantillons. Ces « pierres tombées du ciel » sont, pour les astronomes, des sources inestimables d'informations sur la composition chimique, la température et la pression qui régnaient au sein de la nébuleuse à l'origine du système solaire.



## **La formation du système solaire**

On croit que le Soleil et son cortège de planètes se sont formés, il y a environ 5 milliards d'années, suite à l'effondrement gravitationnel d'une vaste nébuleuse (un nuage de gaz et de poussières) des dizaines de fois plus vaste que le système solaire actuel. En se contractant sous l'effet de son propre poids, cette nébuleuse protosolaire s'est aplatie pour former un disque et s'est réchauffée en son centre. Éventuellement, la température et la pression au centre de la nébuleuse ont permis d'initier des réactions de fusion nucléaire, « allumant » ainsi le Soleil. Dès ce moment, le Soleil a répandu sa lumière et sa chaleur dans la nébuleuse en contraction.

Autour de ce jeune Soleil, d'autres concentrations de matière moins importantes ont continué à attirer vers elles le gaz et les poussières résiduels du disque protosolaire. Par accrétion (un processus qui s'apparente à rouler une boule de neige dans la neige collante pour la faire croître), ces concentrations de matière ont grossi jusqu'à donner naissance aux planètes et à leurs satellites. Près du Soleil, seuls les matériaux ayant un point de fusion élevé ont pu se condenser, ce qui explique que les objets proches - de Mercure à Mars et jusqu'aux astéroïdes - soient majoritairement constitués de métaux et de roches. Ces matériaux étaient plutôt rares dans la nébuleuse protosolaire; c'est pourquoi les planètes qui se sont formées à partir de ces matériaux moins abondants sont plus petites. Plus loin du Soleil, là où les températures plus froides ont permis la condensation des glaces et la concentration des gaz légers comme l'hydrogène et l'hélium, des planètes géantes sont apparues, de Jupiter à Neptune. D'autres petits corps glacés se sont également condensés au-delà de l'orbite des planètes, dans une région plus ténue de la nébuleuse protosolaire, pour donner naissance aux comètes.

Les 500 premiers millions d'années d'existence des planètes ont été marqués par un intense bombardement de la part d'astéroïdes et de comètes, des restes de la formation du système solaire qui circulaient sur des orbites erratiques entre les planètes. C'est à cette époque qu'est apparue notre Lune, fruit d'une violente collision entre la jeune Terre et un objet de la taille de la planète Mars. Mais une fois passé cet épisode de bombardement intensif, le système solaire est devenu beaucoup plus calme. Il subsiste toutefois une multitude d'objets de toutes tailles qui « encomrent » le système solaire, des astéroïdes de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre jusqu'aux poussières microscopiques en passant par des noyaux de comètes glacées. Ces objets, regroupés dans la catégorie des petits corps du système solaire, sont des fossiles de l'époque de la formation du Soleil et des planètes. Leur étude revêt une importance considérable pour qui veut comprendre en détail comment notre système solaire est apparu.

## Bibliographie

### ***Pour les enfants...***

- Asimov, Isaac. (divers titres). Paris, Père Castor/Flammarion (coll. bibliothèque de l'Univers), 1989, 32 p.
- Bond, Peter. Guide de l'espace, Montréal, Hurtubise HMH, 1999, 64 p.
- Brillon, Gilles. J'observe le ciel : activités d'astronomie, Waterloo, Michel Quintin (coll. Ça grouille autour de moi), 1994, 102 p.
- Chastenay, Pierre. Je deviens astronome, Waterloo, Michel Quintin (coll. Astro-jeunes), 2002, 48 p.
- Chastenay, Pierre. La Terre, la Lune et le Soleil, Waterloo, Michel Quintin (coll. Astro-jeunes), 2004, 48 p.
- Delafosse, Claude. J'observe le ciel et l'espace, Paris, Gallimard Jeunesse (coll. Mes premières découvertes-J'observe), 1998, 26 p.
- Doxat, Éric. Observer le ciel de nuit, Paris, Nathan (coll. Carnet du jeune Robinson), 1998, 32 p.
- En collaboration. Le ciel par-dessus nos têtes, Paris, Gallimard Jeunesse (coll. Les racines du savoir), 1993, 48 p.
- Grenier, Christian et Guillaume Canat. L'espace infini, Paris, Nathan (coll. Mégascopie sciences), 1998, 64 p.
- Kerrod, Robin. Atlas du ciel et de l'espace, Paris, Casterman, 1993, 96 p.
- Kerrod, Robin. Comprendre les étoiles et les planètes, Paris, Gründ, 1990, 80 p.
- Masson, Claudine et Jean-Michel Masson. Copain du ciel : explorer le ciel pour mieux connaître la Terre, Toulouse, Milan, 1999, 202 p.
- Oxlade, Christopher. L'Univers, voyage dans l'infiniment grand, Paris, Nathan (coll. Miroirs de la connaissance), 1997, 24 p.
- Verdet, Jean-Pierre. Le ciel, les étoiles et la nuit, Paris, Le livre de Paris-Gallimard (coll. Découverte Benjamin), 1984, 34 p.

### ***Pour les enseignantes et les enseignants...***

- Dickinson, Terence. Découvrir le ciel la nuit, L'Acadie, Broquet, 1989, 72 p.
- Levy, David H. Étoiles et planètes, Paris, Nathan (coll. Les clés de la connaissance), 1996, 64 p.
- Séguin, Marc et Benoît Villeneuve. Astronomie et astrophysique, Montréal, ERPI, 1995, 550 p.
- Thouin, Marcel. Introduction aux sciences de la nature : concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes, Sainte-Foy, MultiMondes, 1996, 189 p.

## Sites Internet

Le site de la NASA pour trouver toute l'information à jour concernant les planètes :

<http://solarsystem.nasa.gov/planets/index.cfm>

Le site de la mission Messenger d'exploration de Mercure :

<http://messenger.jhuapl.edu/>

Le site de la mission Magellan d'exploration de Vénus :

<http://www2.jpl.nasa.gov/magellan/>

Le site des Mars Exploration Rovers :

<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/home/>

Les missions d'exploration de Mars, passées, présentes et futures :

<http://mars.jpl.nasa.gov/missions/>

Le site de la mission NEAR d'exploration de l'astéroïde Éros :

<http://near.jhuapl.edu/>

Le site de la mission Galileo d'exploration de Jupiter :

<http://galileo.jpl.nasa.gov/>

Le site de la mission Cassini-Huygens d'exploration de Saturne et Titan :

<http://saturn.jpl.nasa.gov/home/index.cfm>

Le site de la mission d'exploration de Pluton :

<http://pluto.jhuapl.edu/>

Une mission pour ramener sur Terre des échantillons de comète :

<http://stardust.jpl.nasa.gov/>

Une mission pour étudier l'intérieur d'une comète :

<http://deepimpact.jpl.nasa.gov/>

Un site sur les risques de collision entre la Terre et une comète :

<http://impact.arc.nasa.gov/>

### ***Revue et périodiques disponibles dans les bons kiosques à journaux...***

Ciel et Espace : Revue française d'astronomie de grande qualité, regorgeant d'articles sur divers sujets en astronomie.

Astronomy : Revue américaine d'astronomie (en anglais). Articles de fond, on y trouve chaque mois une description détaillée des phénomènes astronomiques visibles en Amérique du Nord.

Sky & Telescope : Revue américaine d'astronomie (en anglais). Les plus récents développements en astronomie, avec en prime des trucs et des astuces pour ceux et celles que l'observation astronomique intéresse. Un « must » pour les astronomes amateurs.

### ***Au Planétarium de Montréal...***

Les élèves vous ont posé une « colle »? Vous avez besoin d'information complémentaire? Les astronomes et les animateurs du Planétarium de Montréal sont là pour vous aider et répondre à vos questions! Vous pouvez nous joindre de 8 h 30 à 12 h 30 et de 13 h 30 à 16 h 30 du lundi au vendredi (sauf les jours fériés) au (514) 872-4530. Vous pouvez également nous faire parvenir vos questions par courriel à l'adresse

info@planetarium.montreal.qc.ca

ou en visitant le site du Planétarium de Montréal, au

<http://www.planetarium.montreal.qc.ca>.