Un rapide survol du système solaire

Le Soleil, les planètes et leurs satellites,
les planètes naines,
la ceinture d'astéroïdes, la ceinture de Kuiper,
les comètes, le nuage de Oort

Groupe d'Astronomie Populaire 47

GAP 47 • Olivier Sabbagh • Octobre 2016 - Révision Avril 2023

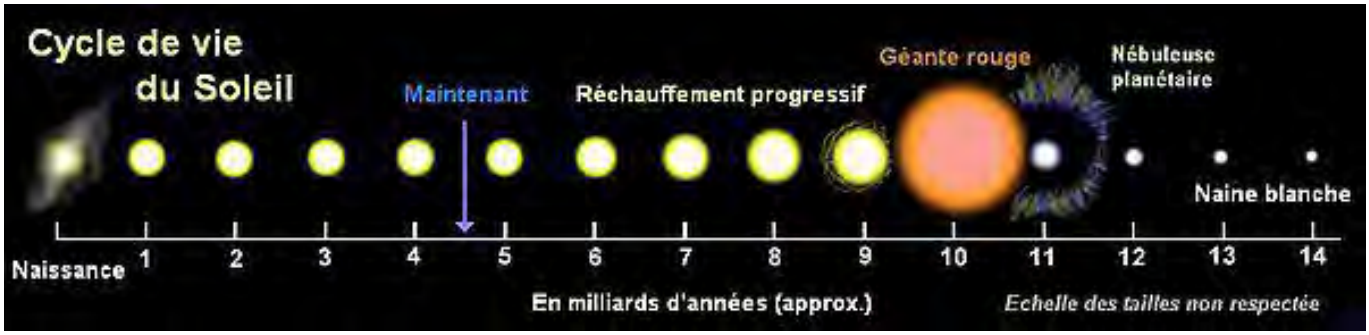
Un rapide survol du système solaire

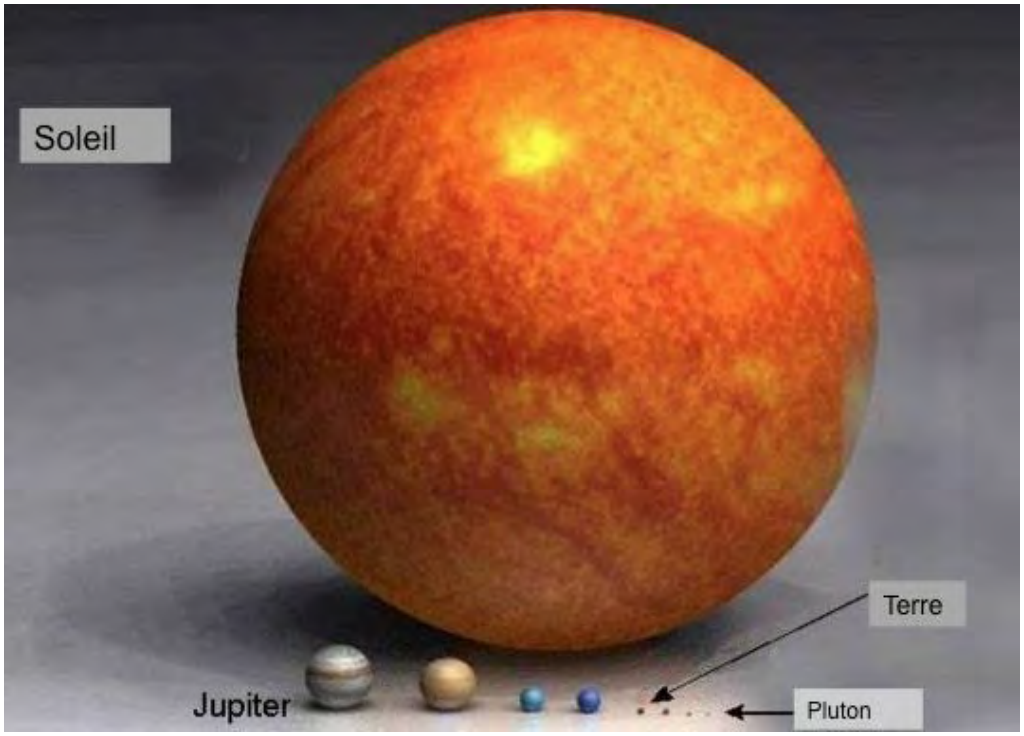
I - Introduction

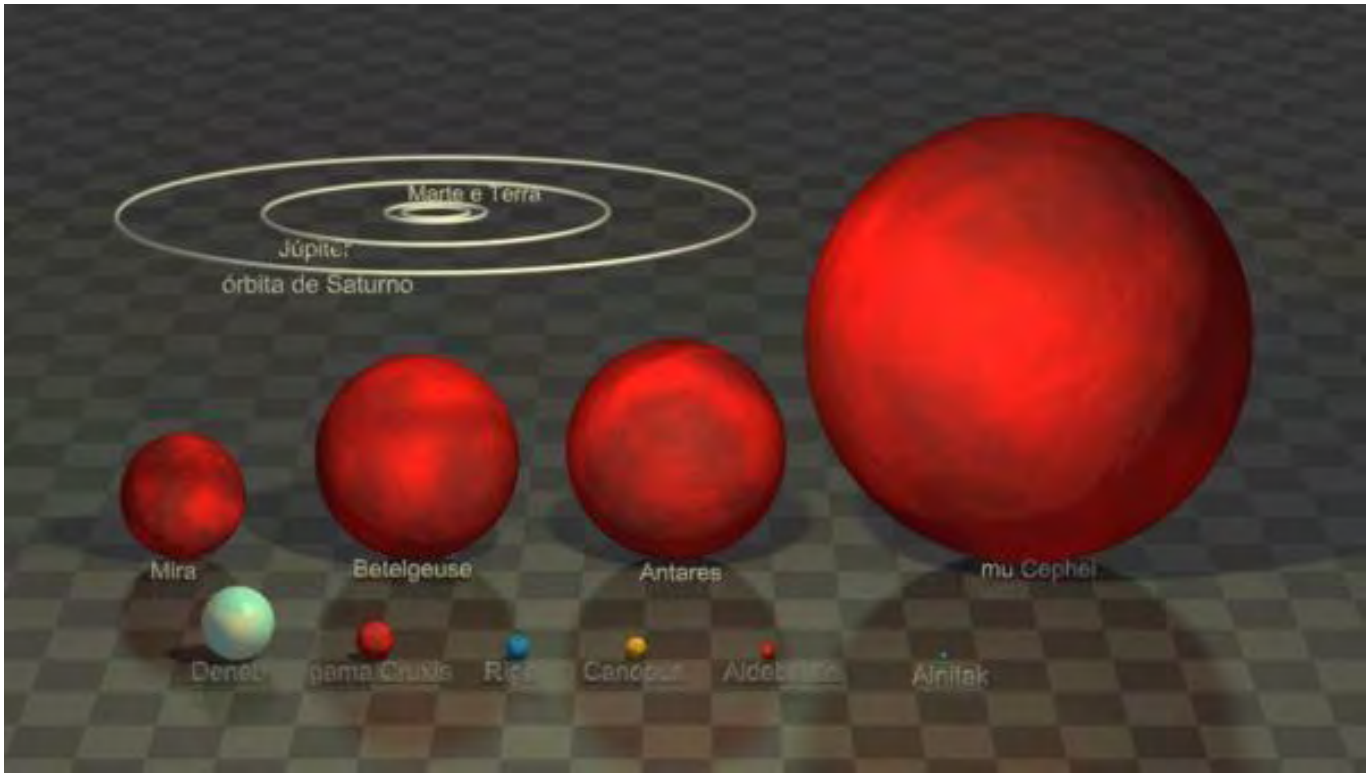
Notre système solaire est resté le seul connu jusqu'en 1995. C'est pourquoi le terme « système solaire » suffit à le désigner. Il est constitué du Soleil, de huit planètes (anciennement neuf), de cinq planètes naines (Cérès, Pluton, Hauméa, Makémaké et Eris), ainsi que des petits corps du système solaire (c'est-à-dire essentiellement des astéroïdes et des comètes) ainsi que les satellites de ces corps.

Au centre se situe **le Soleil**, notre étoile de taille modeste mais qui contient néanmoins 99,86 % de la masse de tout le système. De par sa masse, l'intérieur du Soleil atteint une densité et une température telles que des réactions de fusion nucléaire se produisent en son sein, dégageant de ce fait d'énormes quantités d'énergie. La plus grande partie de cette énergie est libérée dans l'espace sous forme de radiations électromagnétiques, principalement sous forme de lumière visible. Le Soleil émet aussi un flux de particules chargées appelé le vent solaire. Ce vent solaire interagit fortement avec la magnétosphère des planètes et contribue à éjecter les gaz et poussières en dehors du système solaire.

Le Soleil a un diamètre de près de 1,4 millions de km (109 fois celui de la Terre). Il tourne autour du centre de la Voie Lactée (notre galaxie) à une distance de 27.000 années-lumière en 240 millions d'années à 220 km/s. Sa température est de 15 millions de degrés au centre, de 6.000° en surface et de 5 millions de degrés dans la couronne. C'est une petite étoile de classe G (jaune claire). Elle est âgée de plus de 4,6 milliards d'années et est environ à la moitié de sa vie. Le soleil (gazeux) tourne sur lui-même en 24 jours à l'équateur et jusqu'en 32 jours aux pôles.







Tailles de certaines grosses étoiles connues. Le soleil ne serait même pas visible à cette échelle ! En partant de la plus petite : Alnitak, Aldébarran, Canopus, Rigel, Gamma Cruxis, Deneb, Mira, Bételgeuse, Antarès et μ Céphéi.

Les planètes les plus proches du Soleil sont les planètes telluriques, petites, rocheuses et denses, avec une rotation lente, une surface solide, pas d'anneaux et peu de satellites. En partant du Soleil, on trouve Mercure, Vénus, la Terre et Mars.

Il existe au-delà de Mars une **ceinture d'astéroïdes** composée de centaines de milliers de corps, dont la taille varie de quelques mètres à plusieurs centaines de kilomètres.

Lorsque l'astéroïde Cérès fut découvert en 1801, il fut d'abord considéré comme une planète. Avec la découverte de Pallas en 1802, de Junon en 1804, puis de Vesta en 1807, le Système solaire a même compté 11 planètes jusqu'en 1845.

Au-delà, s'ouvre le domaine des planètes géantes, gazeuses et peu denses, avec un noyau de faible dimension : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

De l'année de sa découverte (1930), jusqu'au 26 août 2006, Pluton était considérée comme la neuvième planète de notre système (et la plus éloignée du Soleil). Son statut a été remis en cause par la découverte d'autres objets similaires orbitant dans la même région, et de tailles équivalentes — on pensait que l'un d'entre eux, (136199) Éris, découvert en 2005, avait même un diamètre supérieur (ce qui s'est avéré faux en 2015 avec une meilleure mesure du diamètre de Pluton).

Pluton a donc été reclassé comme planète naine, tout en restant un des objets les plus grands d'une seconde ceinture d'astéroïdes, appelée **ceinture de Kuiper.** Cette ceinture, peuplée de milliers d'astéroïdes, est aussi un réservoir de comètes à courte et moyenne période.

Les comètes : ce sont de très petits corps, souvent appelées des « boules de neige sale ». Elles sont généralement composées de roches, de poussières et d'eau gelée. Ce sont des corps assez petits, quelques dizaines de km de diamètre au plus. Quand leurs orbites fortement allongées les font s'approcher du Soleil, la chaleur de celui-ci fait fondre l'eau gelée qui se transforme immédiatement en gaz sans passer par l'état liquide, on appelle ça la « sublimation ». Quand elle est proche du soleil, une comète perd de la matière sous forme d'une queue de débris, souvent visible, qui se trouve à l'arrière du sens de la trajectoire et d'une seconde queue ionisée (moins visible, due au vent solaire) qui, est toujours à l'opposé du soleil. Certaines comètes ont des périodes courtes (quelques années), d'autres beaucoup plus longues (ex : la comète de Halley : 76 ans ou Hale-Bopp : 2.537 ans), d'autres encore viennent du nuage de Oort et peuvent ne revenir vers le soleil que tous les 550.000 ans ! Enfin, certaines comètes, très rares, ont une trajectoire hyperbolique et ne passent qu'une seule fois dans le système solaire.

La comète Hale-Bopp en 1997

Comme les comètes sont de très petits corps, légers, ils subissent très fréquemment l'attraction gravitationnelle du soleil et des géantes gazeuses (Jupiter en particulier). Dans ce cas elles ont des trajectoires qui peuvent se raccourcir voire parfois les faire entrer en collision avec le Soleil ou Jupiter.

Comètes et étoiles filantes. Les essaims d'étoiles filantes (par exemple : Perséides, Orionides, Géminides) sont associés à des comètes. Les poussières perdues par une comète lors d'un passage se répartissent le long de l'orbite de celle-ci en formant une sorte de vaste nuage. S'il advient que la Terre, dans son mouvement orbital annuel, traverse un tel nuage, on assiste alors à une pluie d'étoiles filantes plus ou moins dense suivant l'activité et la nature de la comète. Ces « étoiles filantes » semblent provenir d'un même point du ciel appelé le radiant, un peu comme lorsqu'on est dans un tunnel rectiligne et que l'on a l'impression que les bords de celui-ci convergent vers un même point. L'essaim est nommé d'après la constellation où est situé le radiant (par exemple : Persée pour les Perséides, les Gémeaux pour les Géminides). Les poussières cométaires, lorsqu'elles pénètrent dans la haute atmosphère de la Terre,

s'échauffent et s'ionisent, produisant la traînée lumineuse que l'on connaît. L'intensité d'un essaim météoritique est variable et dépend notamment du ré-ensemencement en poussières lors de chaque passage des comètes.

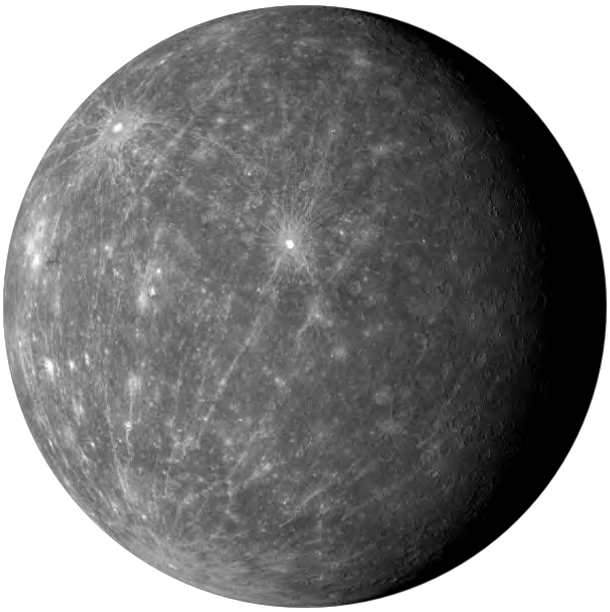
Au-delà de la ceinture de Kuiper, qui va de l'orbite de Neptune à deux fois cette distance (de 30 à 60 unités astronomiques), se trouve probablement ce qu'on appelle **le nuage de Oort**. C'est une zone gigantesque, de forme sphérique qui entoure le reste du système solaire. Sa taille irait de 60 ua jusqu'à 150.000 ua !! Des planètes naines potentielles viennent du nuage de Oort : Exemple avec Sedna dont l'orbite fortement allongée se situe entre 76 et 950 ua du soleil. Tous les corps qui subissent la gravité (attraction) du soleil et qui tournent autour de lui font partie du système solaire (Soleil, planètes, satellites des planètes, astéroïdes, planètes naines et leurs satellites, comètes et autres petits corps).
NB : une unité astronomique (1 ua) = la distance moyenne Terre-Soleil, soit environ 150 millions de km).

On estime généralement aujourd'hui que le système solaire est né de la contraction, sous l'effet de sa propre masse, d'un nuage moléculaire interstellaire froid et dense fait de gaz, essentiellement d'hydrogène et d'hélium, qui sont les atomes les plus répandus à la naissance de l'univers. Il devait y avoir également des grains de poussière et de l'eau sous forme de glace. Ce nuage, appelé nébuleuse solaire, après avoir acquis une forme régulière, probablement un disque, avec un mouvement de rotation, commença à se différencier en plusieurs parties. La plus grande partie se rassembla au centre pour former une proto-étoile, le futur soleil. D'autre part, les grains de poussières s'agglomérèrent. Par effet de gravité, de plus en plus de matière aurait été attirée formant ainsi des protoplanètes. Le centre tournant plus vite que le bord et étant plus comprimé, la température s'y est accrue. Dès que la masse centrale fut assez dense et chaude, des réactions de fusion nucléaire se seraient alors déclenchées; ce qui aurait donné naissance au Soleil, notre étoile. La date estimée de ce phénomène est de -4,56 milliards d'années.

Les plus grosses des protoplanètes attirèrent les plus petites et firent le vide autour d'elles : en grossissant, elles devinrent sphériques, du fait de la gravité. De plus, les réactions nucléaires créèrent un puissant vent solaire qui entraîna la majorité des gaz et poussières restants. C'est ainsi qu'on arriva au système solaire tel que l'on peut l'observer actuellement.

Le système solaire entier, aurait un diamètre de plus de 2 années-lumière !

II - Mercure



Mercure est la planète la plus proche du Soleil et la plus petite du système solaire. Elle est de type tellurique (rocheuse) comme la Terre, et doit son nom au dieu romain Mercure. Elle ne possède aucun satellite naturel. Mercure est une planète difficile à observer car elle est proche du Soleil et n'est donc observable qu'avant ou après le lever ou le coucher de celui-ci. Mercure est encore une planète mystérieuse puisque seulement 40–45% de sa surface était connue jusqu'en 2008/2009. Avant 2008, seule la sonde spatiale Mariner 10 (1974–1975) avait survolé la planète, par 3 fois. À chaque survol, Mercure présentait la même face au Soleil, c'est pourquoi la planète n'a pu être totalement cartographiée par la sonde.

La sonde Messenger, lancée en 2004, a considérablement amélioré notre connaissance de la surface de Mercure. En effet, nous avons désormais des photos représentant 99 % de la surface de la planète. Messenger a aussi prouvé l'existence d'un magnétisme dipolaire aligné avec son axe de rotation (comme sur la Terre). L'observation de dépôts brillants au fond de certains cratères ne recevant jamais la lumière directe du soleil a prouvé l'existence de glace d'eau sur Mercure. Une sonde européenne, BepiColumbo est en route pour étudier Mercure de près et elle devrait se mettre en orbite autour de Mercure en 2025.

L'atmosphère de Mercure est quasi-inexistante, on n'en décèle que quelques traces. Elle est extrêmement ténue à cause de la chaleur et de la faible gravité de la planète, à tel point que les molécules de gaz de l'atmosphère entrent plus souvent en collision avec la surface de la planète qu'avec d'autres molécules de gaz. Dans la plupart des cas, on peut la négliger et considérer Mercure comme privée d'air. Cette atmosphère est principalement composée de potassium (31 %), de sodium (25 %) et d'oxygène (9,5 %). Ainsi que d'argon de néon d'hydrogène et d'hélium.

Mercure est une planète très chaude. La température moyenne à la surface est 452 K (179°C).
Dans l'hémisphère nocturne elle se stabilise vers 90 K (-183°C) à la surface. Mais, elle monte jusqu'à 700 K (427°C) dans l'hémisphère diurne, aux alentours du zénith.
Depuis sa surface, le Soleil apparaît quatre fois plus gros que sur Terre, et sa lumière est 8,9 fois plus intense.

Comme Mercure est une planète « interne » (avec une orbite située entre la nôtre et le soleil), on peut voir Mercure avec des phases. Il en est de même pour Vénus (cf. infra).

III – Vénus

Vénus est la deuxième planète du système solaire. C'est le troisième objet le plus brillant du ciel, après le Soleil et la Lune; elle est donc très facile à repérer parmi les étoiles. On peut observer des phases (premier quartier, dernier quartier, pleine "lune") comme pour la Lune. Ces observations permirent à Galilée d'affirmer que la théorie héliocentrique de Copernic était vraie.

Vénus est une planète dite intérieure et tellurique, la 2e en partant du Soleil. Elle est de taille comparable à celle de la Terre. Selon les observations, Vénus ne possède pas de champ magnétique. En revanche, elle traîne dans son sillage une queue de plasma longue de 45 millions de kilomètres, observée pour la première fois par la sonde SOHO en 1997.

Vénus a longtemps (jusqu'en 1960 à peu près) été considérée comme la sœur jumelle de la Terre. En effet, les deux planètes sont très similaires par certains aspects, autant physiques qu'orbitaux :
Vénus tourne autour du Soleil dans le sens direct, comme toutes les autres planètes du système solaire, et la durée de sa révolution est de 224,7 jours.

La vitesse de rotation de Vénus est très faible : elle s'effectue en 243 jours, alors qu'il ne faut qu'un jour à la Terre pour effectuer une rotation complète. De plus, cette rotation s'effectue dans le sens rétrograde (à l'envers, par rapport à la Terre et à la plupart des autres planètes). Ainsi, la planète met 243 jours pour tourner sur elle-même contre 224,7 jours pour tourner autour du Soleil : une année vénusienne comprend ainsi un peu moins d'un jour (sidéral) vénusien (0,924 jour exactement).

Les causes de cette rotation rétrograde sont encore mal comprises. L'explication la plus probable est une collision gigantesque avec un autre corps de grande taille, pendant la phase de formation des planètes. Nous verrons un problème comparable pour Uranus. L'atmosphère vénusienne aurait aussi joué un rôle.
L'atmosphère vénusienne peut grossièrement se diviser en trois parties :

- la **basse atmosphère** (*lower haze region*), entre 0 et 48 km d'altitude, qui est relativement éclairée. Le soleil n'y est visible que sous la forme d'un halo orangé dans les nuages.
- la **couche nuageuse** (*cloud region*), épaisse (près de 37 km). Ces nuages s'étendent entre 31 et 68 km d'altitude (rappelons que nos nuages culminent à 10 km). Cette couche nuageuse opaque réfléchit la lumière solaire, ce qui explique la brillance de Vénus et empêche d'observer directement le sol vénusien depuis la Terre. La couche nuageuse peut se subdiviser en trois autres couches :

1) la **couche inférieure ou basse** (*lower cloud region*), de 31 à 51 km. De 31 à 48 km d'altitude, l'atmosphère est qualifiée de « brumeuse » à cause de la faible quantité de particules d'acide sulfurique qu'elle contient. Ces nuages d'acide sulfurique sont visibles depuis le sol comme des rubans de vapeur jaunis par l'acide qu'ils contiennent. De 48 à 51 km d'altitude, se trouve la couche la plus dense de l'atmosphère vénusienne, où domine principalement de grosses particules de soufre (liquides comme solides).
2) la **couche centrale ou principale** (*middle cloud region*) de 51 à 52 km d'altitude, relativement claire.
3) la **couche supérieure ou haute** (*upper cloud region*), de 52 à 68 km d'altitude. De 52 à 58 km d'altitude, elle consiste notamment en des gouttelettes d'acides sulfurique et chlorhydrique ainsi que des particules de soufre (liquides comme solides). Les gouttelettes d'acide sulfurique sont en solution aqueuse, constituées à 75 % d'acide sulfurique et à 25 % d'eau. Enfin, la plus haute partie de la couche supérieure, de 58 à 68 km d'altitude, consisterait en une brume de cristaux de glace ou de vapeur d'eau. Ce sont ces cristaux de glace qui donnent à Vénus son apparence si « laiteuse » et opaque depuis la Terre.

- la **haute atmosphère** (*upper haze region*), entre 68 et 90 km d'altitude, qui est tout à fait claire.

La composition atmosphérique de Vénus varie selon la couche atmosphérique concernée : la basse atmosphère, la couche nuageuse et la haute atmosphère :

- la composition de la basse atmosphère est plus hétérogène. Le dioxyde de carbone y domine tout de même;
- la couche nuageuse, nous l'avons vu plus haut, présente notamment du dioxyde de soufre et de l'eau (à l'état solide comme gazeux) ainsi que de l'acide sulfurique à l'état liquide. Le dioxyde de carbone y domine toujours;
- la composition de la haute atmosphère consiste principalement en une molécule : le dioxyde de carbone, qui y est majoritaire à plus de 96 %. On y trouve aussi des traces de diazote et de monoxyde de carbone.

Remarques :

- Il n'y a que peu d'ozone présente dans l'atmosphère vénusienne et donc aucune stratosphère.
- De même, la thermosphère y est beaucoup plus froide que sur la Terre : le dioxygène étant quasiment absent, l'ultraviolet solaire n'est donc pas absorbé dans cette couche.

Vénus présente un climat infernal dû à de nombreux facteurs. Elle est aussi la planète la plus chaude de notre système solaire. La pression atmosphérique à la surface de Vénus est d'environ 92 atmosphères terrestres. Elle est en fait équivalente à la pression qui règne à près d'1 km de profondeur dans les océans. Cette pression monumentale est la conséquence de l'extrême effet de serre qui a desséché toute la planète et empêche ainsi la formation des carbonates, qui sur Terre retiennent une quantité équivalente de CO_2 dans sa croûte. Ce qui explique l'omniprésence du dioxyde de carbone dans l'atmosphère vénusienne.

La température **moyenne** à la surface de Vénus est très élevée, environ 460°, et ne varie que très peu : 446° au minimum et 490° au maximum. Ces températures incroyables ne résultent pas directement de la proximité du Soleil : en fait, l'épaisse couche nuageuse vénusienne réfléchit près de 65 % de la lumière (solaire) incidente. Ainsi, le flux net d'énergie solaire au niveau du sol est inférieur à celui reçu par la Terre. Cette température exceptionnelle est en fait la conséquence d'un effet de serre résultant non pas du dioxyde de carbone comme on pourrait d'abord le penser, mais bien des constituants en très faibles quantités dans l'atmosphère tels que le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau.

La couche nuageuse vénusienne effectue une rotation complète (le tour de la planète) en 4,2 jours. Ce mouvement de convection naturelle, qui s'effectue d'est en ouest, est appelé super-rotation. Le mouvement de super-rotation s'amorce vers 10 km d'altitude, puis s'amplifie régulièrement jusqu'à 65 km, où les vents à l'équateur atteignent des vitesses de l'ordre de 540 km/h. À partir de là, la vitesse des vents décroît pour s'annuler vers 95 km. L'atmosphère de Vénus (en tout cas la couche nuageuse) tourne donc plus de cinquante fois plus vite que le sol. Cette super-rotation a probablement influé sur la rotation (rétrograde) de Vénus. En effet, la masse atmosphérique de Vénus est de l'ordre du dix-millième de la

masse de la planète. Il y aurait eu un échange de vitesse entre la planète et son atmosphère pour conserver le moment cinétique total.

La surface vénusienne est principalement occupée par de douces et vastes plaines (à 70 %), dont les ondulations ne dépassent pas les 1000 m d'amplitude. Vénus revêt ainsi la forme d'une enveloppe au relief relativement plat et homogène. Ces vastes plaines ont été baptisées de *Planitiae* : certaines plaines portent d'ailleurs un nom, comme l'*Atalanta Planitia*, la *Guinevere Planitia* ou la Lavinia Planitia. De plus, ces immenses plaines sont parsemées de grands bassins (de 400 à 600 km de diamètre) peu profonds (200 à 700 m) qui seraient des vestiges de cratères anciens;

La surface de Vénus est dominée par de nombreux plateaux et montagnes (à 10 %). Deux plateaux gigantesques (baptisé chacun *Terra*), semblables à nos plaques continentales, se détachent.

IV – La Terre

La **Terre** est une planète du Système solaire, la troisième au regard de la distance au Soleil. Il s'agit du sixième objet le plus grand, tant en taille qu'en masse, dans le Système solaire et la plus massive des planètes telluriques de ce système planétaire.

Le diamètre équatorial de la Terre est d'environ 12.756 km. Elle tourne sur elle-même en 23h 56' 4'' et autour du soleil en 365,25 jours. Son axe de rotation est incliné en moyenne de 23,4° par rapport à l'écliptique. Elle a 1 satellite, la Lune, dont le diamètre est de 3.475 km. La Lune tourne sur elle-même en 27,32 jours dans le même temps qu'elle tourne autour de la Terre. C'est ce qu'on appelle une rotation « synchrone », ce qui est le cas chez les 19 plus gros satellites des planètes du système solaire : la Lune autour de la Terre - Ganymède, Callisto, Io et Europe autour de Jupiter - Titan, Rhéa, Japet, Dioné, Thétys, Encelade et Mimas autour de Saturne - Titania, Obéron, Umbriel, Ariel et Miranda autour d'Uranus - Triton autour de Neptune - et enfin Pluton et Charon qui sont totalement synchrones l'un avec l'autre.

La Terre s'est formée il y a 4,54 milliards d'années environ et la vie apparut moins d'un milliard d'années plus tard. La planète abrite des millions d'espèces vivantes dont les humains. La biosphère de la Terre a fortement modifié l'atmosphère et les autres caractéristiques abiotiques de la planète, permettant la prolifération d'organismes aérobies de même que la formation d'une couche d'ozone, qui associée au champ magnétique terrestre, bloque une partie des rayonnements solaires permettant ainsi la vie sur Terre. Les propriétés physiques de la Terre de même que son histoire géologique et son orbite ont permis à la vie de subsister durant cette période et la Terre devrait pouvoir soutenir la vie durant encore au moins 500 millions d'années.

L'atmosphère de la Terre (la seule qui soit « respirable » dans le système solaire) est essentiellement composée d'azote (diazote N_2) à 78% et d'oxygène (dioxygène O_2) à 21% et de quelques gaz rares.

V - Mars

Mars est la quatrième planète du système solaire et la deuxième plus petite, après Mercure. Elle est nommée d'après le dieu romain de la guerre Mars. Mars possède deux satellites naturels : Déimos et Phobos. Ces satellites ont été nommés d'après la mythologie grecque, qui fait de Phobos (la peur) et Déimos (la terreur) les enfants d'Arès (l'équivalent grec de Mars).

Mars peut être observée à l'œil nu, c'est le quatrième objet le plus visible depuis la Terre avec une magnitude apparente maximale de -2.8, après le Soleil, la Lune et Vénus.

Mars est connue comme étant la « planète rouge », son aspect rougeâtre est dû à l'oxyde de fer Fe_2O_3 contenu dans les minéraux de sa surface. Elle ne possède que le quart de la surface terrestre, et seulement un dixième de sa masse. Cependant, comme elle n'a pas d'océan, la surface des terres sèches accessibles de Mars est approximativement égale à celle des terres émergées de la Terre.

Mars a deux lunes, Phobos et Déimos, toutes deux petites (respectivement 26,8 × 22,4 × 18,4 km et 15,0 × 12 × 10,4 km) et de formes irrégulières, lesquelles sont probablement des astéroïdes capturés.

La géographie martienne (aussi nommé aréographie) s'occupe principalement de géographie physique, la répartition des reliefs et leur cartographie. Il y a un fort contraste entre l'hémisphère nord, dont la plus grande partie est en dessous du niveau moyen du sol, à part un vaste plateau très élevé nommé Tharsis, et l'hémisphère sud, dont au contraire le niveau est plus élevé que la moyenne. Autrement dit, si on « terraformait » Mars en y recréant des océans, il se formerait un vaste océan dans l'hémisphère nord, dont émergerait le plateau de Tharsis, tandis que l'hémisphère sud serait une vaste zone continentale.
Plusieurs volcans dont Olympus Mons, Arsia Mons, Ascraeus Mons, Pavonis Mons, Elysium Mons, Albor Tholus, Hecates Tholus etc. Le mont Olympe *(Olympus Mons)*, haut de 21 km au-dessus du niveau moyen, est la plus haute montagne connue du système solaire. Ces volcans semblent aujourd'hui inactifs.

On a observé de larges et profonds canyons (spécialement *Valles Marineris*), résultant de l'activité tectonique de Mars. En 2005, la sonde spatiale Mars Global Surveyor a détecté des modifications à la surface de Mars, qui n'étaient pas présentes en 2002, comme l'apparition de rigoles et des traces de roulement de rochers le long d'une colline. Ces changements pourraient être dus à des *tremblements de Mars*. De plus la modification de dépôts de dioxyde de carbone gelé près du pôle Sud est le signe d'un

changement de température, dans un laps de temps assez court. Mars pourrait finalement être bien plus active géologiquement et peut-être climatiquement que l'on ne le pensait jusque là. Enfin, plusieurs indices, comme des dépôts sédimentaires, des traces de rivages et des cours d'eau asséchés indiquent qu'il y a eu sur Mars une grande quantité d'eau, et une activité hydrologique intense. Cependant, on ignore ce qu'est devenue cette eau.

Les calottes polaires de Mars sont de compositions différentes en fonction des hémisphères. Au sud, la glace est une glace de CO_2 et d'un peu d'eau, au nord, une glace d'eau. La calotte du pôle nord a un rayon de 1.100 km, celle du pôle sud de 420 km. Sous ces couches de glace, on trouve des couches sédimentaires composées de glace et de poussière. Épaisses de plusieurs kilomètres, elles sont l'accumulation année après année d'un mélange de glace et de poussière transportée par l'atmosphère. On estime qu'une épaisseur de quelques microns s'est déposée chaque année. Au pôle nord, sous ces fines strates, on observe une dernière épaisseur faite d'un mélange de sable et de glace, probablement à l'origine, par l'érosion due au vent, des champs de dunes observés autour du pôle. Durant l'hiver, l'atmosphère de CO_2 se solidifie et recouvre la majeure partie des régions polaires d'une couche de glace de CO_2 d'une dizaine de centimètres.

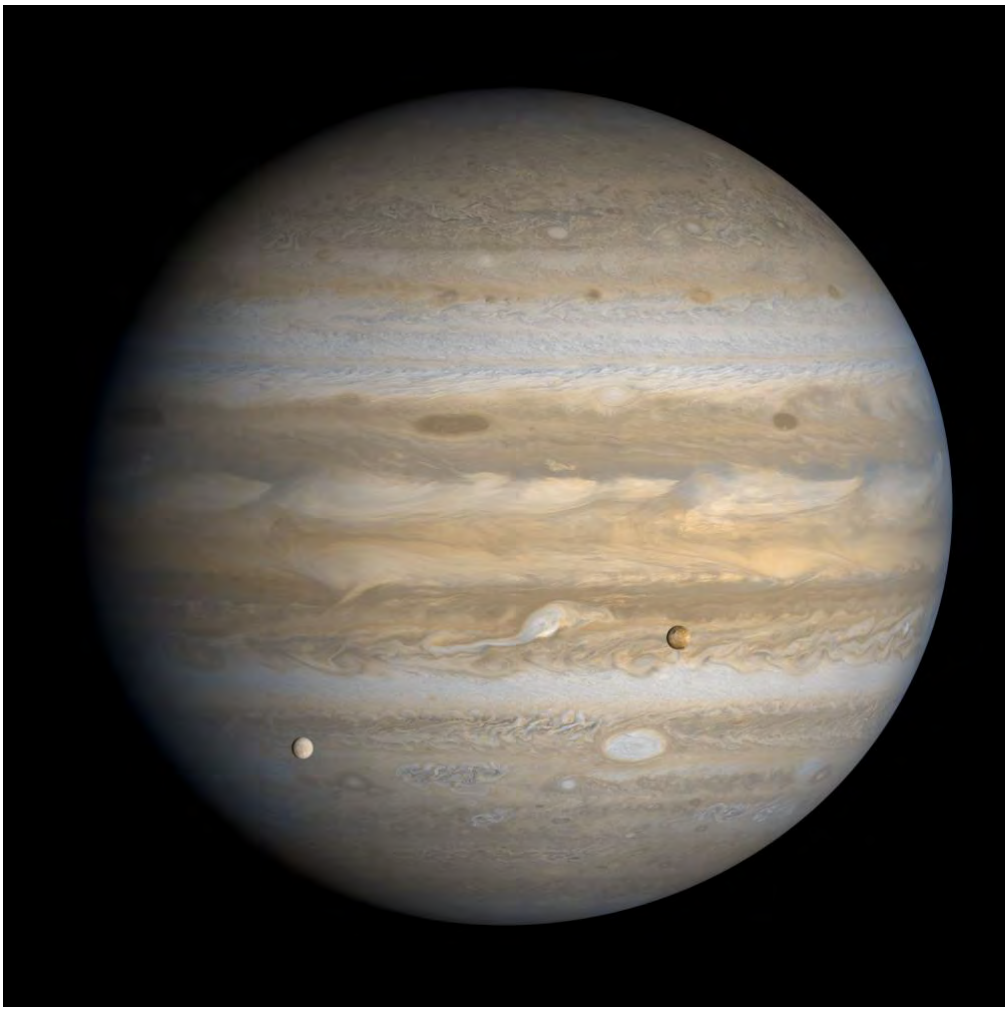
L'atmosphère de Mars est très mince : la pression d'air en surface est de seulement 7,5 millibars comparativement à une moyenne de 1013 millibars sur la Terre. Cette atmosphère est composée de 95% de dioxyde de carbone, 2,7% d'azote, 1,6% d'argon et rien de plus qu'une trace de vapeur d'eau (entre 0,001% et 1%) et d'oxygène(0,13%). Récemment, la sonde européenne Mars Express a détecté du méthane dans l'atmosphère martienne. Ce gaz, se trouvant en forte concentration au dessus de certaines zones qui sont déjà connues pour receler plus de vapeur d'eau qu'à l'ordinaire ouvre la question de la présence de vie sur Mars.

Les deux satellites naturels de Mars, Phobos et Déimos orbitent près de la planète, à quelques milliers de kilomètres de celle-ci et sont certainement des astéroïdes capturés. Elles sont liées à Mars par les forces de marées, montrant toujours la même face dans sa direction. Comme Phobos orbite autour de Mars plus rapidement que ne tourne la planète elle-même, les forces de marées font décroitre son rayon orbital de manière lente, mais constante, au rythme de 9 cm par an. Dans 50 millions d'années environ, Phobos s'écrasera sur la surface martienne. Déimos, en revanche, est assez éloigné pour que son orbite tende plutôt à s'éloigner, cela de manière infiniment lente.

La présence d'eau liquide sur Mars dans un lointain passé était connue depuis assez longtemps, notamment par la présence avérée de lits de rivières asséchés. Mais, depuis quelques mois/années, on a découvert sur Mars des preuves de l'existence récente (voire actuelle) d'eau liquide ainsi que la présence d'eau très salée, une sorte de « saumure ». La très faible pression atmosphérique sur Mars (0,5 % de celle de la Terre), associée à des températures adéquates font que, sur Mars, on est en présence du phénomène du « **point triple de l'eau** ».

Ce point triple se manifeste avec une pression d'environ 600 pascals et une température de 0 à +10° C. Cette température existe au soleil sur Mars (la moyenne est de -60°) avec un maximum de 15 à 20°. Lorsque l'eau se trouve dans ces conditions de pression et de température le phénomène suivant se produit : l'eau existe alors simultanément sous une triple forme : liquide, solide (glace) et gazeuse (vapeur d'eau), avec des passages incessants de la matière entre ces 3 formes possibles.

VI - Jupiter



Jupiter est une planète géante gazeuse, la plus grosse planète du système solaire et la cinquième en partant du Soleil (après Mercure, Vénus, la Terre et Mars). Elle doit son nom au dieu romain Jupiter. Le symbole astronomique de la planète est la représentation de la foudre de Jupiter.

Visible à l'œil nu dans le ciel, Jupiter est habituellement le quatrième objet le plus brillant (après le Soleil, la Lune et Vénus; parfois Mars semble plus lumineux que Jupiter, et de temps en temps Jupiter semble plus lumineux que Vénus). Comme sur les autres planètes gazeuses, des vents violents, de près de 600 km/h, parcourent les couches supérieures de la planète. La célèbre et spectaculaire grande tache rouge est une zone de surpression (anticyclone) qui est observée depuis plus de 300 ans.

La haute atmosphère de Jupiter est composée à 93% d'hydrogène et 7% d'hélium en nombre d'atomes, ou à 86% de H_2 et 13% de He en nombre de molécules de gaz. En terme de masse, l'atmosphère est approximativement constituée de 75% d'hydrogène et de 24% d'hélium, le 1% restant étant apporté par divers autres éléments et composés chimiques (traces de méthane, de vapeur d'eau, d'ammoniac, très petites quantités de carbone, d'éthane, de sulfure d'hydrogène, de néon, d'oxygène, d'hydrure de phosphore et de soufre). La couche la plus externe de la haute atmosphère contient des cristaux d'ammoniac. Par mesures infrarouges et ultraviolettes, des traces de benzène et autres hydrocarbures ont également été détectées. L'intérieur de Jupiter contient des matériaux plus denses et la distribution par masse est de 71% d'hydrogène, 24% d'hélium et 5% d'autres éléments. Les proportions d'hydrogène et d'hélium dans la haute atmosphère sont proches de la composition théorique de la nébuleuse planétaire qui aurait donné naissance au système solaire. Néanmoins, le néon n'y est détecté qu'à hauteur de 20 parties par million en termes de masse, un dixième de ce qu'on trouve dans le Soleil.L'hélium y est également en défaut, mais à un degré moindre. Cette absence pourrait résulter de la précipitation de ces éléments vers l'intérieur de la planète. Les gaz inertes lourds sont 2 à 3 fois plus abondants dans l'atmosphère de Jupiter que dans le Soleil.

Par spectroscopie, on pense que Saturne possède une composition similaire, mais qu'Uranus et Neptune sont constitués de beaucoup moins d'hydrogène et d'hélium. Cependant, aucune sonde n'ayant pénétré l'atmosphère de ces géantes gazeuses, les données d'abondance des éléments plus lourds ne sont pas connues.

Jupiter est 2,5 fois plus massive que toutes les autres planètes du système solaire réunies (et 318 fois celle de la Terre), tellement massive que son barycentre avec le Soleil est situé à l'extérieur de ce dernier, à environ 1,068 rayon solaire du centre du Soleil. Par ailleurs, son diamètre est 11 fois plus grand que celui de la Terre et on pourrait caser environ 1 317 corps de la taille de cette dernière dans le volume occupé par la géante gazeuse. En revanche, la densité de Jupiter n'est que le quart de celle de la Terre (0,240 fois, précisément) : elle n'est donc que 318 fois plus massive que la Terre. Cette masse a eu une grande influence gravitationnelle sur la formation du système solaire : la plupart des planètes et des comètes de courte période sont situées près de Jupiter et les lacunes de Kirkwood de la ceinture d'astéroïdes lui sont dues en grande partie.

Si Jupiter était plus massive, on pense que son diamètre serait plus petit. L'intérieur de la planète serait plus comprimé par une plus grande force gravitationnelle, décroissant sa taille. Par conséquent, Jupiter possèderait le diamètre maximal d'une planète de sa composition et de son histoire. La planète a parfois été décrite comme une « étoile ratée », mais il faudrait qu'elle possède 13 fois sa masse actuelle pour démarrer la fusion du deutérium et être cataloguée comme une naine brune et 75 fois pour devenir une étoile. La plus petite naine rouge connue ne possède un diamètre que de 30% plus grand que celui de Jupiter.

La grande tache rouge est une tempête anticyclonique persistante située à 22° au sud de l'équateur de Jupiter. Son existence est connue depuis au moins 1831 et peut-être depuis 1665. Des modèles mathématiques suggèrent que la tempête est stable et est une caractéristique permanente de la planète. Elle est suffisamment grande pour être visible au travers de télescopes depuis la Terre.
La grande tache rouge présente une forme ovale, de 24 à 40 000 km de long sur 12 à 14 000 km de large, suffisamment grande pour contenir deux ou trois planètes de la taille de la Terre. L'altitude maximale de la tempête est située à environ 8 km au-dessus du sommet des nuages environnants. Elle tourne sur elle-même dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, avec une période d'environ 6 jours; les vents soufflent à plus de 400 km/h sur ses bords. Cette grande tache rouge a une taille qui a fortement diminué depuis un siècle, phénomène qui s’est accéléré depuis une trentaine d’années. De 40.000 km de long vers 1930, on est passé à 25.000 km en 1979 (survol par les sondes Voyager) et maintenant à 16.000 km en 2014. Pendant la même période, la vitesse de rotation des vents est passée de 400 à 700 km/h.

Jupiter possède trois anneaux planétaires, très fins, composés de particules de poussières continuellement arrachées aux quatre lunes les plus proches de la planète lors de micro-impacts météoriques du fait de l'intense champ gravitationnel de la planète. Ces anneaux sont en fait tellement fins et sombres qu'ils ne furent découverts que lorsque la sonde Voyager 1 s'approcha de la planète en 1979. Du plus près au plus lointain du centre de la planète, les anneaux sont regroupés en trois grandes sections. Ces anneaux sont constitués de poussières et non de glace comme c'est le cas des anneaux de Saturne. Ils sont également extrêmement sombres, avec un albédo de l'ordre de 0,05.

On connaît à ce jour 92 satellites naturels de Jupiter. Quatre sont de grands satellites, connus depuis plusieurs siècles et regroupés sous la dénomination de « lunes galiléennes » : Io, Europe, Ganymède et Callisto. Les 88 autres satellites sont nettement plus petits et tous irréguliers : 12 possèdent une taille encore significative (plus de 10 km de diamètre), 25 entre 3 et 10 km de diamètre et 38 autres entre 1 et 2 km de diamètre. Les 16 satellites principaux ont été nommés d'après les conquêtes amoureuses de Zeus, l'équivalent grec du dieu romain Jupiter. En janvier 1610, Galileo Galilei découvrit les quatre plus importants satellites de Jupiter, les lunes galiléennes. C'était la première observation de lunes autres que celle de la Terre. Ganymède, avec ses 5 262 km de diamètre, est le plus gros satellite du système solaire. Callisto, 4 821 km de diamètre, est à peu de choses près, aussi grand que Mercure. Io et Europe ont une taille similaire à celle de la Lune. Par comparaison, la 5e plus grande lune de Jupiter est Amalthée, un satellite irrégulier dont la plus grande dimension n'atteint que 262 km.

VII - Saturne

Saturne est la sixième planète du système solaire. C'est une planète géante gazeuse, la seconde en masse et en volume après Jupiter. Son diamètre est 9,5 fois plus grand que celui de la Terre. Son volume est l'équivalent de 760 Terres. Saturne est majoritairement formée d'hydrogène. Son nom vient du dieu romain Saturne.

Saturne a la forme d'un sphéroïde oblong : la planète est aplatie aux pôles et renflée à l'équateur. Ses diamètres équatoriaux et polaires diffèrent de près de 10 % (120 536 km pour le premier, 110 466 km pour le second), conséquence de sa rapide rotation sur elle-même et d'une composition interne extrêmement fluide. Les autres géantes gazeuses du système solaire (Jupiter, Uranus et Neptune) sont également aplaties, mais de façon moins marquée. Saturne est la deuxième planète la plus massive du système solaire, 3,3 fois moins que Jupiter, mais 5,5 fois plus que Neptune et 6,5 fois plus qu'Uranus. En comparaison avec la Terre, Saturne est 95 fois plus massive.

Saturne est la seule planète du système solaire dont la masse volumique moyenne est inférieure à celle de l'eau : 0,69 g/cm³. Ce chiffre masque d'énormes disparités dans la répartition de la masse à l'intérieur de la planète : si son atmosphère, essentiellement composée d'hydrogène, le gaz le plus léger, est moins dense que l'eau, son noyau l'est considérablement plus. Posée sur de l'eau, Saturne flotterait !

La haute atmosphère de Saturne est constituée à 93,2% de dihydrogène et à 6,7% d'hélium en terme de molécules de gaz (96,5% d'hydrogène et 3,5% d'hélium en terme d'atomes). Des traces de méthane, d'éthane, d'ammoniac, d'acétylène et de phosphine ont également été détectées Les nuages les plus en altitude sont composés de cristaux d'ammoniac, tandis que les nuages plus bas semblent être constitués soit de sulfure d'ammonium (NH_4SH) ou d'eau. Comparativement à l'abondance des éléments du Soleil, l'atmosphère de Saturne est significativement pauvre en hélium. La quantité d'éléments plus lourds que l'hélium n'est pas connue avec précision, mais on suppose que leurs proportions correspondent aux abondances initiales lors de la formation du système solaire. La masse totale de ces éléments est estimée à 19 à 31 fois celle de la Terre, une fraction significative étant située dans la région du noyau de Saturne.

De manière similaire à Jupiter, l'atmosphère de Saturne est organisée en bandes parallèles, même si ces bandes sont moins visibles et plus larges près de l'équateur. En fait, le système nuageux de Saturne ne fut observé pour la première fois que lors des missions Voyager. Depuis, les télescopes terrestres ont fait suffisamment de progrès pour pouvoir suivre l'atmosphère saturnienne et les caractéristiques courantes chez Jupiter (comme les orages ovales à longue durée de vie) ont été retrouvées chez Saturne. En 1990, le télescope spatial Hubble a observé un énorme nuage blanc près de l'équateur de Saturne qui n'était pas présent lors du passage des sondes Voyager. En 1994, un autre orage de taille plus modeste a été observé. Le nuage de 1990 est un exemple de grande tache blanche, un phénomène saturnien éphémère qui se reproduit environ tous les 30 ans. Des grandes taches blanches ont été observées en 1876, 1903, 1933 et 1960. Si la périodicité se maintient, une autre tempête devrait se produire vers 2020.

Les deux anneaux visibles de Saturne (B et A) sont un des spectacles les plus remarquables du système solaire et constituent la caractéristique la plus évidente de la planète Saturne. À la différence de ceux des autres géantes gazeuses, ils sont extrêmement brillants (albédo de 0,2 à 0,6) et peuvent être vus à l'aide de simples jumelles. Ils ont un diamètre de 280.000 km (pour les anneaux facilement visibles) et ne sont épais que de 5 à 40 mètres.

Mais le système d'anneaux de Saturne est bien moins simple qu'il n'y paraît : Outre les deux anneaux brillants (car constitués à 99 % de cristaux de glace qui réfléchissent le soleil), Saturne possède 11 autres anneaux invisibles ou presque car constitués de tout petits corps rocheux et/ou de poussières microscopiques. Deux anneaux (D et C) sont situés entre la planète et les anneaux visibles. Neuf autres anneaux suivent vers l'extérieur.

Les 11 premiers anneaux de Saturne ont un diamètre total d'environ 350.000 km, soit un eu moins que la distance Terre-Lune. Le 12° anneau (E) fait 300.000 km de large et s'étend jusqu'à 483.000 km du centre de la planète ce qui lui donne un diamètre extérieur de 960.000 km. Il est également beaucoup plus épais (10.000 km). On a découverte en 2009 un treizième et gigantesque anneau, appelé anneau de Phœbé, du nom du satellite qui y gravite. Il commence à 6 millions de km du centre de Saturne et se termine à 12 millions de km (diamètre externe de 24 millions de km). Il a une épaisseur d'environ 2,4 millions de km (20 fois le diamètre de Saturne). Il n'a été découvert que par le télescope orbital Spitzer, en vision infrarouge. Il a, en outre, la particularité de ne pas être dans le même plan que les autres anneaux et que l'équateur de Saturne. Il est pratiquement dans le plan de l'écliptique, soit incliné à 27° par rapport au plan équatorial de Saturne et des autres anneaux. De plus il tourne dans le sens rétrograde comme le satellite Phœbé. Si cet anneau était visible à l'œil nu depuis la terre, il aurait un diamètre apparent deux fois plus grand que celui d'une pleine Lune !

Il règne dans les anneaux une agitation permanente : vagues, collisions, accumulations de matières. Certains satellites de Saturne assurent une stabilité aux anneaux qui les entourent ou au milieu desquels ils se trouvent. Il y a des échanges permanent de matière entre les anneaux et certains satellites qui peuvent ainsi cycliquement naître, puis disparaître. Ceci rend le compte des satellites de Saturne quasiment impossible. La planète possède 83 satellites référencés, mais environ 150 autres, très petits et parfois éphémères.

En 1610, Galilée, en braquant son télescope vers Saturne, en observe les anneaux mais ne comprend pas ce qu'il en est, décrivant que la planète aurait des « oreilles ». En 1612, la Terre passant dans le plan des anneaux, ceux-ci disparaissent. En 1613, ils réapparaissent sans que Galilée puisse émettre une hypothèse quant à ce qu'il observe En 1656, Christiaan Huygens, en utilisant un télescope bien plus puissant, comprend que la planète est en réalité entourée d'un anneau, qu'il pense être solide. Il découvre aussi un autre astre près de Saturne qui sera nommé plus tard Titan.

En 1675, Jean-Dominique Cassini détermine que l'anneau est composé de plusieurs petits anneaux, séparés par des divisions; la plus large d'entre elles sera plus tard appelée la division de Cassini. En 1859, James Clerk Maxwell démontre que les anneaux ne peuvent pas être solides. Il émet l'hypothèse qu'il sont constitués d'un grand nombre de petites particules, toutes orbitant Saturne indépendamment La théorie de Maxwell fut prouvée correcte en 1895 par des études spectroscopiques menées par James Keeler à observatoire Lick.

VIII - Uranus

Uranus est la septième planète du système solaire, une géante gazeuse et la troisième en taille. Elle fut découverte le 13 mars 1781 par William Herschel. Son nom vient du dieu Uranus, dieu romain du ciel, équivalent du dieu grec Ouranos. Elle a un axe de rotation incliné à 98°. Celui de la Terre est de 23,27°, et celui de Jupiter de 3,22°. Uranus tourne donc quasiment couchée sur son orbite.

Uranus est une planète géante gazeuse, comme Jupiter, Saturne et Neptune.

L'atmosphère d'Uranus est composée principalement de dihydrogène (H_2) à 83%, d'hélium (He) à 15%, de méthane (CH_4) et d'ammoniac (NH_3). Cette atmosphère occuperait près de 30% du rayon de la planète, soit 7500 km. La couleur bleu-vert d'Uranus est due à la présence de méthane dans l'atmosphère, qui absorbe principalement le rouge et l'infrarouge. Des nuages ont été détectés en haute altitude et se déplaceraient d'est en ouest entre 40 et 160 m/s. Des mesures ont révélé également des vents soufflant à 100 km/h dans le sens contraire au niveau de l'équateur.

Uranus possède 13 anneaux principaux. Cinq ont été découverts en 1977 grâce aux observations d'occultations d'étoiles par Uranus. Six autres furent observés par Voyager 2 entre 1985 et 1986. Les deux derniers furent découverts grâce au télescope spatial Hubble en décembre 2005.

Les anneaux d'Uranus sont fins et ont des bords nets; entre eux s'étend un milieu diffus. Les particules qui les composent ont des dimensions de l'ordre du centimètre et un albédo moyen de 0,15 qui les rend très peu visibles. Si les 10 premiers anneaux d'Uranus sont fins et circulaires, le dernier, l'anneau ε, est plus excentrique et plus large, de 20 km au point le plus proche de la planète à 98 km au point le plus éloigné. Il est encadré par deux satellites « bergers », Cordélia et Desdémone. Les deux derniers anneaux sont très nettement plus éloignés, l'anneau μ se situant deux fois plus loin qu'ε, par exemple.

À la différence de toutes les autres planètes du système solaire, Uranus est très fortement inclinée sur son axe puisque celui-ci est quasiment parallèle à son plan orbital. Elle roule pour ainsi dire sur son orbite et présente alternativement son pôle nord, puis son pôle sud au Soleil (même si la désignation de nord ou de sud est assez délicate dans ce cas précis).

Au moment du survol de la planète par Voyager 2 en 1986, le pôle sud d'Uranus était orienté presque directement vers le Soleil. On peut dire qu'Uranus a une inclinaison légèrement supérieure à 90° ou bien que son axe a une inclinaison légèrement inférieure à 90° et qu'elle tourne alors sur elle-même dans le sens rétrograde. Ces deux descriptions sont équivalentes d'un point de vue physique mais il en résulte une définition différente du pôle nord et du pôle sud. Une des conséquences de cette orientation est que les régions polaires reçoivent plus d'énergie du Soleil que les régions équatoriales. Néanmoins, Uranus reste plus chaude à son équateur qu'à ses pôles. Le mécanisme qui en est la cause reste encore inconnu. Aucune théorie n'a, à l'heure actuelle, réussi à expliquer cette inclinaison sans faire appel à une collision cataclysmique avec un autre corps, pendant sa formation peut-être. Il semblerait également que l'importante inclinaison d'Uranus entraîne des variations saisonnières extrêmes dans son climat.

Uranus possède à ce jour 27 satellites naturels. Les deux premiers furent découverts par William Herschel le 13 mars 1787 et nommés Titania et Obéron par son fils, d'après des personnages du « Songe d'une nuit d'été » de William Shakespeare. Deux autres lunes, Ariel et Umbriel, furent découvertes par William Lassell en 1851. Gerard Kuiper découvrit Miranda en 1948. Dix autres lunes furent découvertes lors du passage de Voyager 2 en 1986 et une autre, Perdita, fut découverte treize ans plus tard parmi les photographies reçues. Onze autres lunes ont été identifiées depuis, en utilisant des télescopes terrestres.

Uranus fut la première planète du système solaire à ne pas avoir été connue dès l'Antiquité, car elle est trop lointaine pour pouvoir être facilement vue à l'œil nu, même si elle fut observée à plusieurs occasions, mais toujours confondue avec une étoile (John Flamsteed la catalogua dès 1690).

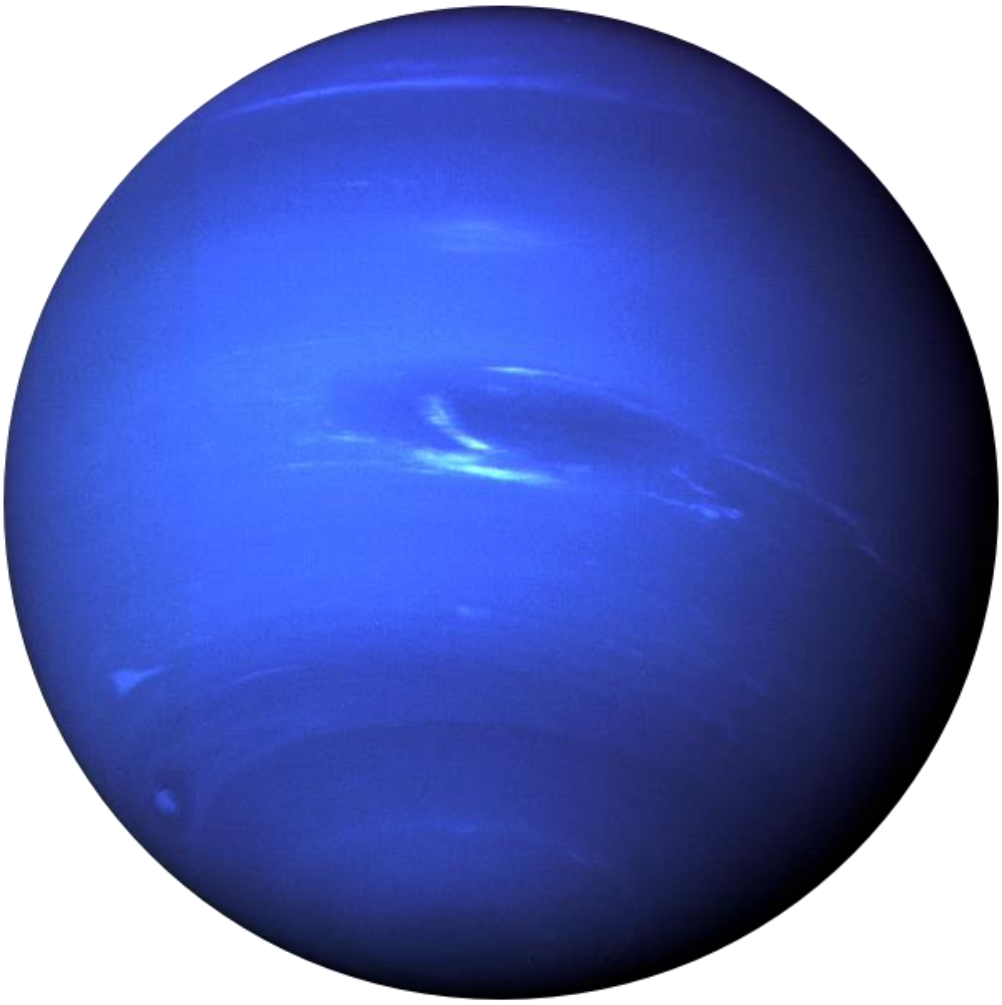
Le méthane présent dans l'atmosphère donne à Uranus une couleur bleu-verdâtre.

William Herschel la découvre le 13 mars 1781 lors d'une recherche systématique d'étoiles doubles à l'aide d'un télescope. À la frontière des constellations des Gémeaux et du Taureau, Herschel remarque au milieu des points-étoiles une petite tache semblant sortir de derrière la planète Saturne. Il change alors successivement d'oculaire, passant du grossissement 227 à 460. Il note alors que la petite tache double de taille ! Il change à nouveau d'oculaire pour un grossissement de 932, 1536 et 2010, et là encore, l'objet double de taille à chaque fois, tandis que les étoiles tout autour, très éloignées, ne varient pas en taille et restent de simples points brillants. Cela ne peut être une étoile; il écrit donc dans son journal l'observation d'un curieux objet, une nébuleuse ou une comète. Il nota la position de l'astre, puis quelques jours après reprit son observation. La petite tache avait bougé, ça ne pouvait être une nébuleuse, donc c'était une comète. Il décide alors de prévenir la communauté scientifique de sa découverte et envoie un courrier avec les détails de sa comète au directeur de l'observatoire d'Oxford, Thomas Hornsby. Il informe également l'astronome royal Nevil Maskelyne de l'observatoire de Greenwich. Celui-ci, après avoir observé la comète et constaté qu'elle se comportait différemment des autres, conseille à Herschel d'écrire à la Royal Society. La comète n'avait pas de queue, ce qui commença à faire douter de sa vraie nature. Maskelyne se demande alors si cette comète ne serait pas une planète. Les astronomes commencent alors le calcul de la trajectoire de la comète, en prenant le modèle classique des orbites de comètes : une parabole, mais celle-ci ne semblait pas vouloir se conformer au modèle prévu. Charles Messier remarque alors qu'avec son aspect de disque, elle ressemblait plus à Jupiter qu'aux 18 autres comètes qu'il avait observées. L'astronome Russe Anders Lexell tenta lui de calculer l'orbite en appliquant le modèle d'une planète. À sa grande surprise, cette trajectoire semblait correspondre et convainquit les autres astronomes sur la nature de l'objet : une planète et non une comète.

Herschel la nomme alors *Georgium Sidus* (« la planète de George ») en l'honneur du roi George III, tandis que les astronomes français l'appellent simplement Herschel. Le nom « Uranus », soit le père de Saturne dans la mythologie romaine, fut proposé par l'astronome allemand Johann Elert Bode dès 1781 de façon conforme aux autres planètes, mais il ne devint commun qu'après 1850.

La sonde Voyager 2 est le seul engin spatial jamais envoyé vers Uranus. Elle l'approcha au plus près le 24 janvier 1986.

IX - Neptune



Neptune est la huitième et dernière planète du système solaire et la plus lointaine des géantes gazeuses. Elle a été découverte par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle le 23 septembre 1846 en suivant les indications données par Urbain Le Verrier, qui, tout comme l'astronome anglais John Couch Adams, avait prévu par calcul la région du ciel où on pourrait la trouver. Son nom vient du dieu romain des océans, Neptune. Neptune n'est pas visible à l'œil nu et apparaît comme un disque bleu à l'aide d'un télescope. Neptune est la planète la plus lointaine du Soleil. Neptune n'a été visitée que par une seule sonde, Voyager 2, qui passa près de la planète le 25 août 1989.

L'atmosphère de Neptune, épaisse de plus de 8.000 km, est composée principalement de dihydrogène (H_2) pour 85%, d'hélium (He) pour 13% et de méthane (CH_4) pour 2%. Des traces d'ammoniac (NH_3), d'éthane (C_2H_6) et d'acétylène (C_2H_2) ont également été détectées.

Il existe, dans l'atmosphère de Neptune une grande tache sombre (GTS) qui possède une forme elliptique (avec des dimensions initiales de 13.000 × 6 600 km), soit environ la même taille que la Terre, et est similaire en apparence à la Grande Tache rouge de Jupiter. Autour de la GTS, les vents soufflent jusqu'à 2.500 kilomètres à l'heure, ce qui en fait la tempête la plus rapide du Système solaire. La GTS représente un trou dans les couches de méthane des nuages de Neptune.
La couleur bleue de Neptune provient principalement du méthane qui absorbe la lumière dans les longueurs d'onde du rouge. Cependant, un autre composé donne aux nuages de Neptune leur couleur bleue caractéristique, mais il n'a pas encore été identifié.

Neptune possède cinq anneaux planétaires peu visibles. Ceux-ci sont sombres et leur composition, ainsi que leur origine, sont inconnues. Les anneaux de Neptune furent détectés sur Terre en 1984 par André Brahic, Bruno Sicardy et William Hubbard lors d'occultations d'étoiles et on pensait alors que ceux-ci n'étaient pas « complets » mais n'étaient que des « arcs » autour de la planète. Cinq ans plus tard, le

passage de Voyager 2 a permis de clarifier les connaissances : les anneaux de Neptune sont bien « entiers », il en existe plusieurs et l'un d'entre eux, l'anneau *Adams*, possède quatre « arcs » (nommés *Liberté*, *Égalité*, *Fraternité* et *Courage*), qui sont en fait des parties plus brillantes que le reste de l'anneau. La stabilité de ces arcs est un mystère, mais on pense que la lune Galatée, située juste un peu plus près de Neptune, les confine.

Neptune possède au moins 14 satellites naturels dont le plus important est Triton, découvert par William Lassell 17 jours seulement après la découverte de Neptune. Le satellite Néso de Neptune (le 13°, découvert en 2002) est le satellite qui orbite le plus loin de sa planète dans tout le système solaire, orbite qui dure plus de 25 ans. D'un diamètre de 60 km, il est en moyenne à 48,4 millions de km de Neptune (presque 1/3 de la distance Terre-Soleil et 127 fois la distance Terre-Lune).

Neptune n'est pas visible à l'œil nu et comme Uranus, elle n'a été découverte qu'après l'invention du télescope. Pourtant, cette découverte se démarque de celle des autres planètes : elle a été faite uniquement par le calcul à partir de la trajectoire et des caractéristiques d'Uranus. Le télescope ne servira qu'à la confirmation de la découverte.

Plusieurs astronomes ont manqué de faire la découverte par les moyens traditionnels (observation au télescope). Les dessins astronomiques de Galilée montrent qu'il a observé Neptune le 28 décembre 1612 alors qu'il regardait Jupiter. La planète est alors répertoriée comme une simple étoile de magnitude 8. Il la remarque de nouveau dans le ciel un mois plus tard, le 28 janvier 1613, et constate même qu'elle a bougé par rapport à une étoile voisine. Ce ne peut donc être une étoile, mais Galilée ne tire aucune conclusion et n'en reparlera plus par la suite. Comme il pensait qu'il s'agissait d'une étoile, il ne peut alors être crédité de sa découverte.

Neptune est également observée par Joseph Jérôme Lefrançois de Lalande (1732-1807) le 10 mai 1795 et par John Herschel, fils de William Herschel (qui a découvert Uranus), sans rien noter de particulier. La planète semblant échapper aux astronomes, la découverte reviendra à deux mathématiciens.
Déjà en 1788, la planète Uranus récemment découverte, ne semblait pas se conformer au modèle d'orbite que les astronomes avaient prédit. Plus le temps passait et plus l'erreur entre la position annoncée de l'astre et celle relevée augmentait. Le mouvement d'Uranus pouvait être prédit pour des observations anciennes, ou récentes, mais pas pour les deux à la fois. Jean-Baptiste Delambre tenta d'expliquer les anomalies en ajoutant l'influence gravitationnelle de Jupiter et Saturne dans ses calculs. Ses tables étaient plus précises, mais ne permettaient toujours pas de prévoir le mouvement de la planète sur un long terme. En 1821, l'astronome français Alexis Bouvard publia de nouvelles tables. Il utilisa 17 observations étalées sur les 40 années qui se sont écoulées depuis sa découverte pour tenter, en vain, d'expliquer l'orbite d'Uranus.

Lors d'une réunion de la British Association for the Advancement of Science, George Biddell Airy rapporta que les tables de Bouvard étaient erronées de plus d'une demi minute d'arc. Cet écart inquiétant devait absolument être résolu. Alexis Claude Clairaut fut le premier à émettre l'hypothèse d'une autre planète, encore inconnue, et qui pourrait affecter les mouvements d'Uranus. Clairaut compara Uranus à la comète de Halley, soumise à des forces totalement inconnues tels l'interaction gravitationnelle d'autres comètes, ou même d'autres planètes. Airy, qui était plutôt conservateur, n'appréciait pas tant ces nouvelles planètes et préféra sa propre théorie comme quoi la loi de gravitation perdrait de sa validité au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Soleil. Cependant, dès 1838, la plupart des astronomes étaient d'accord sur l'existence d'une nouvelle planète trans-uranienne pour expliquer les perturbations du mouvement d'Uranus.

Étudiant à Cambridge, John Couch Adams tomba le 26 juin 1841 sur le rapport d'Airy concernant le problème de l'orbite d'Uranus et fut intéressé par la question. Ne pouvant se pencher sur le problème immédiatement, il le nota sur un bout de papier en guise de pense-bête afin de le reprendre une fois ses études finies. En 1843, Adams se mit au travail. Il s'appuya sur la loi de Titius-Bode pour obtenir une première approximation de la distance de cette nouvelle planète au Soleil. Dans la mesure où la plupart des planètes avaient une orbite faiblement excentrique, il supposa également que son orbite était circulaire, afin de simplifier les calculs. Il termine ses travaux deux ans plus tard en ayant déterminé la position de Neptune avec une erreur de moins de deux degrés. Il ne lui manquait plus qu'à les confirmer

par observation. Se tournant vers James Challis, directeur de l'observatoire de Cambridge, celui-ci le renvoie à l'astronome royal Sir George Biddell Airy. Airy n'appréciait guère ces travaux et semblait tout faire pour éviter Adams. Ce dernier réussit à lui transmettre ses résultats par courrier le 21 octobre 1845, et obtint une réponse le 5 du mois suivant. Airy semblait dans sa réponse en complet décalage avec les travaux d'Adams et lui posa quelques questions inintéressantes, plus en rapport sur sa propre théorie du mouvement d'Uranus que sur les calculs d'Adams. Écœuré par le comportement d'Airy, Adams ne lui répondra qu'un an après.

Au même moment en France, François Arago, directeur de l'observatoire de Paris, encourage le mathématicien Urbain Le Verrier, spécialisé en mécanique céleste, à déterminer les caractéristiques de cette huitième planète dont l'influence gravitationnelle se faisait sentir sur la trajectoire d'Uranus. Le Verrier travaillait alors sur les comètes de courte période. Il commence ses travaux sur Uranus en 1845, ignorant totalement ceux d'Adams, et publie ses premiers résultats le 10 novembre 1845 dans *Premier Mémoire sur la Théorie d'Uranus*, puis dans *Recherche sur les Mouvements d'Uranus* le 1er juin 1846.
Airy, remarquant les travaux de l'astronome français, fait le parallèle avec ceux d'Adams et entre en contact avec Le Verrier. Celui-ci lui demande à son tour d'effectuer les recherches de la planète à l'aide des calculs qu'il vient de publier, mais Airy refuse. Finalement, sous la pression de George Peacock, Airy demande à Challis le 12 juillet 1846 d'entreprendre la recherche du nouvel astre au télescope. Adams, informé par le directeur de Cambridge, fournit de nouvelles coordonnées à Challis en précisant que l'objet serait de magnitude 9, mais Airy ne voulant pas accepter qu'une planète puisse être découverte à partir de calculs mathématiques, il proposa à Challis d'observer une large portion du ciel et jusqu'à magnitude 11. Cette méthode demandait à Challis beaucoup plus de temps d'observation. Il commença ses recherches le 1er août 1846.

Le Verrier communique ses résultats définitifs à l'Académie des sciences le 31 août 1846. Devant le peu d'enthousiasme des astronomes français, il décide de faire alors appel à une de ses connaissances : l'astronome prussien Johann Gottfried Galle de l'observatoire de Berlin. Galle reçoit la position de Neptune par courrier le 23 septembre 1846. Le soir même, il pointe son télescope de 23 cm vers l'endroit indiqué et passe au peigne fin toutes les étoiles de la région, pendant que son assistant Heinrich Louis d'Arrest vérifiait si l'astre observé était répertorié sur les cartes stellaire récentes de Bremiker. Vers minuit, Galle trouva Neptune, à moins d'un degré de l'emplacement calculé. Il attendit quelques heures pour vérifier si l'astre a bien bougé, avant de confirmer qu'il s'agissait bien de la planète recherchée.
Outre-Manche, la déception est grande. Challis apprend la découverte en lisant le *Times*. En revoyant ses notes, il découvre même qu'il avait observé Neptune deux fois depuis le 1er août. Une vive polémique s'ensuit jusque dans la presse. Les Britanniques ressortent les papiers d'Adams s'écriant que la découverte leur revient. De leur côté, les Français réfutent en rappelant que seule une publication officielle peut valider la découverte, et refusent de pied ferme que le nom d'Adams figure à côté de celui de Le Verrier dans les livres d'histoire. En juin 1847, Adams et Le Verrier se sont rencontrés pour la première fois à la la British Association for the Advancement of Science et ont entretenu depuis une relation amicale.

Lors de nouveaux calculs sur les caractéristiques orbitales de Neptune, on s'aperçut que ceux de Le Verrier et Adams étaient faux, bien que tous deux aient annoncé la position de la planète non loin de sa position réelle. Le premier avait déterminé un rayon de 36,154 ua et une excentricité de 0,107 tandis que le second avait trouvé un rayon de 37,25 ua. Le rayon réel de l'orbite de Neptune est 30,1 ua et son excentricité inférieure à 0,009. Par ailleurs, des historiens ont trouvé des éléments qui tendent à montrer que les solutions d'Adams ne convergeaient pas mais variaient par plus de 35 degrés de longitude.
Avec une période orbitale de presque 165 ans, Neptune n’est retournée qu'en 2011 au point où Galle l'avait observée.

X - Pluton et les planètes naines

Pluton, dont la désignation officielle est **(134340) Pluton**, est la plus grande planète naine connue du système solaire et le 9e plus grand astre connu orbitant le Soleil. Originellement considérée comme la plus petite planète du système solaire, elle fut rétrogradée au rang de planète naine par l'Union Astronomique Internationale en août 2006. Elle orbite autour du Soleil à une distance variant entre 29 et 49 unités astronomiques et appartient à la ceinture de Kuiper, il s'agit du premier objet transneptunien à avoir été découvert.

Depuis sa découverte par Clyde Tombaugh en 1930, Pluton était considérée comme la neuvième planète du système solaire. À la fin du XXe siècle et au début du XXIe siècle, de plus en plus d'objets similaires furent découvert dans le système solaire externe, en particulier Éris, qu'on pensait légèrement plus grand et plus massif que Pluton (ce qui s'est avéré faux en juillet 2015). Cette évolution amena l'union astronomique internationale (UAI) à redéfinir la notion de planète en août 2006, Cérès, Pluton et Éris étant depuis cette date classées comme des planètes naines. L'UAI a également décidé de faire de Pluton le prototype d'une nouvelle catégorie d'objet transneptunien. Suite à cette modification de la nomenclature, Pluton a été ajoutée à la liste des objets mineurs du système solaire et s'est vue attribuer le numéro 134340 dans le catalogue des objets mineurs.

Définition d'une planète naine, selon l'U.A.I. en 2006 :

En astronomie, une **planète naine** est un objet céleste du Système solaire de classe intermédiaire entre une **planète** et un **petit corps**. Le terme fut adopté en 2006 par l'Union astronomique internationale (UAI) afin d'éclaircir la classification des objets tournant autour du Soleil. Aujourd'hui, cinq objets sont reconnus comme planètes naines par l'UAI : **Cérès, Pluton, Hauméa, Makémaké et Éris**. Les objets connus les plus susceptibles d'être ajoutés à cette catégorie sont 2007 OR_{10}, Charon (*sauf que Charon est un satellite ou, pour le moins, la petite partie d'un système double*), Quaoar, Sedna, Orcus, 2002 MS_4, Salacie et Varuna, liste non limitative.

Définition

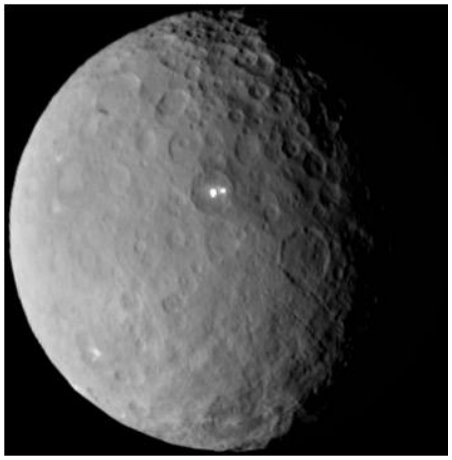
L'Union Astronomique Internationale, organisation chargée de la nomenclature astronomique, définit une planète naine comme un corps céleste du Système solaire qui satisfait aux conditions suivantes :

- il est en orbite autour du Soleil (ce n'est donc pas un satellite);
- il possède une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique (donc sous une forme sphérique ou presque);
- il n'a pas fait place nette dans son voisinage orbital;
- il ne doit pas être un satellite naturel.

Ce terme participe d'une classification des objets du Système solaire en trois catégories selon leur taille et leur environnement. En plus des planètes naines, les planètes sont des objets suffisamment grands pour avoir fait place nette dans leur voisinage; les petits corps ne sont pas suffisamment massifs pour être en équilibre hydrostatique.

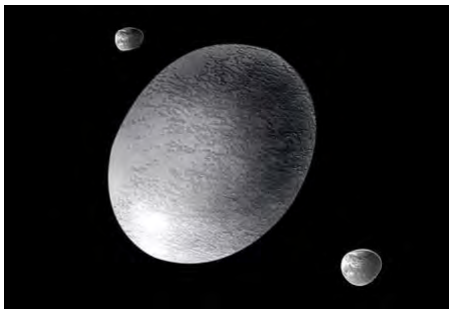
En juin 2008, l'Union astronomique internationale (UAI) a décidé de classer Pluton et Éris dans une nouvelle catégorie spécifique de planètes naines : **les plutoïdes**. Selon la définition de l'UAI « Les plutoïdes sont des corps célestes en orbites autour du Soleil à un demi-grand axe plus grand que celui de Neptune, qui ont une masse suffisante pour que leur propre gravité surpasse les forces rigides du corps donc leur permettant d'avoir une forme en équilibre hydrostatique (presque sphériques) et qui n'ont pas nettoyé le voisinage autour de leur orbite [Note : en résumé, il s'agit donc simplement d'une planète naine de demi-grand-axe supérieur à celui de Neptune]. Les satellites des plutoïdes ne sont pas eux-mêmes des plutoïdes, même s'ils sont assez massifs pour que leur forme soit dictée par leur propre gravité. Les deux plutoïdes connus et nommés sont Pluton et Éris. Il est supposé que plus de plutoïdes seront nommés étant donné que la science progresse et que de nouvelles découvertes sont faites. La planète naine Cérès n'est pas un plutoïde puisqu'elle est située dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter. Les connaissances scientifiques actuelles laissent à croire que Cérès est le seul objet de sa catégorie. Par conséquent, une catégorie spécifique de planète naine de type Cérès ne sera pas proposée à ce moment.

À la mi-septembre 2008, Makémaké et Hauméa ont aussi reçu cette dénomination de plutoïde et de planètes naines. En dehors de cette nouvelle classification, les autres termes tels ceux d'astéroïde ou d'objet de la ceinture de Kuiper continuent à s'appliquer. Ces termes sont basés sur la situation de l'objet dans le Système solaire ou sa composition.

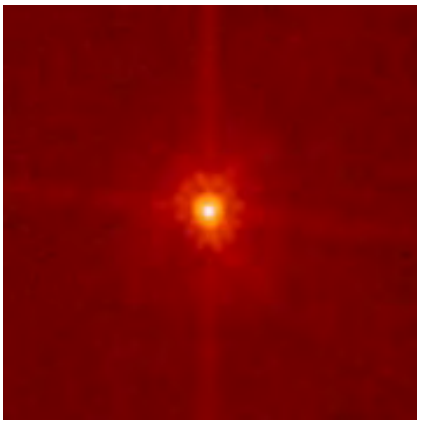


Cérès

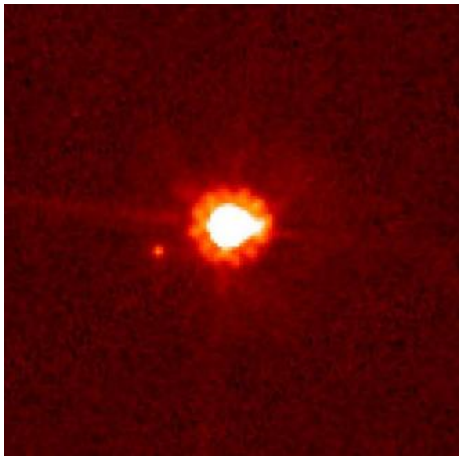
Le couple Pluton - Charon



Hauméa



Makémaké



Eris

La « déclassification » de Pluton en tant que planète a obéi à plusieurs constatations :
1) Contrairement aux 8 premières planètes du système solaire, Pluton tourne dans un plan assez éloigné de l'écliptique, avec une orbite décalée de plus de 17° par rapport à celle-ci (contre 3,4° pour la planète la plus décalée [Vénus]).
2) L'excentricité de l'orbite de Pluton est également très marquée (0,25, contre des valeurs négligeables pour les autres planètes, à l'exception de Mercure qui est de 0,20). Cette excentricité est telle que, pendant les 246,72 ans que Pluton met pour parcourir son orbite autour du soleil, Pluton est, à son périhélie, plus proche du soleil que Neptune pendant une vingtaine d'années.
3) La découverte d'Eris (d'une taille voisine de Pluton) et d'autres corps de ce type a amené l'UAI à ne pas vouloir augmenter indéfiniment le nombre de planètes au fur et à mesure des découvertes.
4) Enfin, la dernière considération qui a été prise en compte est la nature de Pluton : les 4 planètes les plus proches du soleil sont rocheuses ou « telluriques », les quatre suivantes sont gazeuses, puis, avec Pluton on retrouve à nouveau une planète tellurique. Pluton fait partie de la ceinture de Kuiper (au-delà de Neptune) et tous les corps connus qui en font partie semblent rocheux. Il était donc assez logique du Pluton ne soit plus considérée comme une planète, mais fasse partie de cette nouvelle catégorie des planètes naines.

Caractéristiques des planètes naines
Dimensions
Les limites supérieures et inférieures en taille et en masse des planètes naines ne sont pas spécifiées dans la résolution 5A de l'Union astronomique internationale. À proprement parler, il n'existe aucune limite supérieure et un objet plus grand et plus massif que Mercure et qui n'a pas « nettoyé son voisinage autour

de son orbite » peut être catégorisé comme une planète naine. La limite inférieure est déterminée par le concept d'« équilibre hydrostatique », mais les dimensions auxquelles un objet atteint un tel état ne sont pas déterminées; des observations empiriques suggèrent qu'elles varient suivant la composition et l'histoire de l'objet. La version initiale de la résolution 5 définissait l'équilibre hydrostatique comme s'appliquant « aux objets dont la masse dépasse 5×10^{20} kg (soit 500 milliards de milliards de tonnes) et le diamètre 800 km », mais ceci ne fut pas retenu dans la résolution finale.

Voisinage

La définition d'une planète naine suppose qu'elle n'a pas « fait place nette dans son voisinage ». Alan Stern et Harold F. Levison ont défini un critère permettant de faire la distinction entre une planète et une planète naine, exprimant la probabilité d'une rencontre entre un objet et un corps plus petit à la suite d'une déviation de l'orbite de ce dernier. Selon ses auteurs, ce critère permet d'estimer la capacité d'un corps à nettoyer son voisinage. Stern et Levison trouvèrent un écart de cinq ordres de grandeur entre sa valeur pour Mars et celle des plus grands astéroïdes et transneptuniens. En utilisant ces travaux, Steven Soter a proposé un paramètre nommé discriminant planétaire, permettant de faire la distinction entre les planètes naines et les huit planètes du Système solaire, sur la base de leur capacité à nettoyer les corps plus petits par collision, capture ou perturbation gravitationnelle.

Pluton est principalement composée de roche et de glace de méthane, mais aussi de glace d'eau. Son diamètre est d'environ les deux tiers de celui de la Lune. Pluton et son grand satellite, Charon, sont généralement considérés comme appartenant à un système double, puisque la différence de masse entre les deux objets est l'une des plus faible de tous les couples planétoïdes/satellites du système solaire (rapport 2 pour 1), et surtout parce que le barycentre de leurs orbites ne se situe pas à l'intérieur d'un des deux corps. Le couple Pluton-Charon possède quatre autres satellites naturels nettement plus petits et découverts récemment : Styx (2012), Nix (2005), Kerbéros (2011) et Hydra (2005).

Aucune sonde spatiale n'avait jamais survolé Pluton, mais la sonde *New Horizons*, lancée en janvier 2006 par la NASA pour explorer le système plutonien, a survolé Pluton le 14 juillet 2015 après un voyage de 6,4 milliards de kilomètres et continue son parcours dans la ceinture de Kuiper. Pluton tourne sur elle-même en 6,387 jours, son axe de rotation étant incliné de 57,5° par rapport à son plan orbital, ce qui est plutôt élevé et inhabituel dans le système solaire (seule Uranus a une inclinaison comparable).

L'action des forces de marée a contraint la période de rotation de Pluton jusqu'à la synchroniser avec la période de révolution de son principal satellite, Charon : les deux périodes étant égales, Charon se trouve donc toujours à la verticale du même point de la surface de Pluton et, inversement, Charon paraît donc immobile dans le ciel plutonien. Et donc il y a une face de Pluton d'où on ne voit jamais Charon et inversement.

Compte tenu de sa masse et de son diamètre (2.370 km), Pluton est plus petite et moins massive que la Lune et six des satellites naturels de Jupiter, Saturne et Neptune : Ganymède, Titan, Callisto, Io, Europe et Triton. La composition interne de Pluton est pour l'instant inconnue, mais on a trouvé des traces pas très anciennes de cryovolcans (volcans de glace) et des endroits couverts de neige de CO_2 ainsi que d'autres probablement couverts de neige de glace. Il y a (surtout en rapport avec la petite taille de Pluton) des reliefs très accentués, jusqu'à 5.600 mètres d'altitude pour le Mont Piccard.

Pluton ne possède pas d'atmosphère significative. Elle est entourée d'une mince enveloppe de gaz qui serait composée d'azote (N_2) à 90 % et de monoxyde de carbone (CO) à 10 %, ainsi que de méthane (CH_4) et qui serait en équilibre thermodynamique avec l'azote solide et les glaces de monoxyde de carbone de la surface quand l'objet approche du Soleil. Lorsque Pluton s'écarte de son périhélie, une partie de son atmosphère gèle et retombe à la surface. Quand elle s'en rapproche, la température de la surface augmente et l'azote se sublime.

Pluton possède cinq satellites naturels, le plus grand étant Charon qui fut identifié dès 1978. Deux satellites plus petits nommés Nix et Hydra (connus jusqu'en juin 2006 par leurs désignations provisoires S/2005 P 1 et S/2005 P 2), ont été découverts en 2005, puis Kerbéros en 2011 et Styx en 2012.

Pluton fut découvert en 1930 lors de la recherche d'un corps céleste permettant d'expliquer les perturbations orbitales de Neptune, hypothèse proposée par Percival Lowell comme étant la Planète X. Ayant fait fortune dans les affaires, Lowell se fait construire en 1894 un observatoire à plus de 2.000 mètres d'altitude dans l'Arizona et entreprend la recherche d'une neuvième planète au-delà de Neptune. Il pense suivre la même méthode que celle qui avait conduit à la découverte de cette dernière en étudiant son orbite, mais la précision des instruments de l'époque ne permettant pas de mesurer de façon précise les anomalies orbitales, il doit se rabattre sur celles d'Uranus. Sa planète (baptisée « X ») serait située à 47,5 ua, aurait une période de 327 ans et une masse de deux cinquièmes de celle de Neptune. En 1905, il lance une première campagne photographique de trois ans, mais celle-ci ne donne rien de concluant, notamment, comme il fut démontré par la suite, parce que ce programme était focalisé sur l'écliptique et que l'orbite fortement inclinée de Pluton la plaçait à cette époque en dehors du champ des photographies. Lowell ne baisse pas les bras pour autant et décide de redoubler d'efforts, notamment lorsqu'il voit apparaître un concurrent : William Pickering. Celui-ci annonce en 1908 la présence d'une planète qu'il nomme « 0 » de deux masses terrestres, à une distance de 52 ua et d'une période de 373 ans. En 1911, Lowell fait l'acquisition d'une machine destinée à l'analyse photographique lui permettant de comparer les clichés beaucoup plus vite (deux séries de photos sont prises à quelques jours d'intervalle pour repérer le mouvement éventuel d'un astre) et entame une nouvelle série de photographies. Un nouvel échec qui le mènera à se désintéresser de sa planète X.

Percival Lowell meurt en 1916 mais laisse dans son testament de quoi poursuivre les recherches sans se soucier des problèmes d'argent, bien que des problèmes d'héritage avec sa femme finissent par réduire le budget de l'observatoire. Or dix ans plus tard, l'observatoire nécessite un nouvel instrument. Abott Lawrence Lowell, le frère de Percival Lowell, accepte de donner dix mille dollars pour la construction d'un télescope de 13 pouces (33 cm) que Clyde W. Tombaugh sera chargé de piloter pour cette lourde tâche qu'est la cartographie minutieuse du ciel, à la recherche de la planète X. Tombaugh réorganise son plan de travail et procède à trois prises au lieu de deux afin d'augmenter les chances de percevoir le mouvement de la planète. La troisième série de clichés prend fin le 29 janvier 1930 et commence alors l'analyse des plaques photographiques. Le 18 février à 16 heures, il remarque un point de magnitude +15 bouger d'une plaque à l'autre sur deux photographies prises les 23 et 29 janvier. L'équipe de l'observatoire Lowell, après avoir pris d'autres photographies permettant de confirmer la découverte, télégraphie la nouvelle au Harvard College Observatory le 13 mars 1930.

La planète est nommée à la fois en référence au dieu romain des enfers et à Percival Lowell dont les initiales forment les deux premières lettres de Pluton. Ses initiales forment le symbole de Pluton. Le nom fut suggéré par Venetia Burney, une jeune fille de onze ans d'Oxford, en Angleterre. Walt Disney donna le nom de « Pluto » au chien de Mickey en référence à cette planète découverte par un américain (Pluton se dit « Pluto » en anglais).

De nombreux observatoires se mettent alors à observer cette nouvelle planète, afin de déterminer son orbite le plus précisément possible. En revenant en arrière, Pluton est rétroactivement observée sur des plaques photographiques remontant jusqu'à 1909. Vers la fin du XXe siècle, le statut de planète de Pluton est de plus en plus souvent remis en question. D'une part, de très nombreux corps sont découverts qui possèdent une orbite très proche de celle de Pluton, et sont comme elle en résonance 2:3 avec Neptune. Environ 150 objets de ce type, connus sous le nom de plutinos, étaient recensés en février 2006, ce qui tend à montrer que Pluton est le plus grand représentant d'une vaste famille de corps plus ou moins massifs.

La découverte en 2005 de (136199) Éris, d'un diamètre légèrement inférieur et d'une masse légèrement supérieure à celui de Pluton, contribue à relancer le débat. Le diamètre d'Éris, qui avait initialement été estimé à 3 600 km (il était alors notablement plus grand que Pluton) reste toujours actuellement du même ordre de grandeur que celui de Pluton, même s'il a été revu à la baisse (2.326 km ± 12 km). Selon une étude publiée dans Science du 14 juin 2007, sa masse serait supérieure à celle de Pluton d'environ 27%.

De nombreux autres corps ont également été découverts à cette époque, tels que 2005 FY_9, (90482) Orcus ou (90377) Sedna, régulièrement annoncés comme étant la dixième planète du système solaire. Certains scientifiques proposent alors de reclasser Pluton en planète mineure ou en objet transneptunien. D'autres,

comme Brian Marsden du *Minor Planet Center*, penchent pour lui attribuer les deux statuts, en raison de l'importance historique de sa découverte. Marsden annonce le 3 février 1999 que Pluton serait classée comme le 10 000e objet du catalogue recensant justement 10 000 planètes mineures. Le nombre rond de 10 000 serait attribué à Pluton en son honneur pour la « célébration » de ce compte atteint.

Il est intéressant de noter que, historiquement, les quatre premiers astéroïdes découverts ((1) Cérès, (2) Pallas, (3) Junon et (4) Vesta) furent eux aussi considérés comme des planètes pendant plusieurs décennies (leurs dimensions n'étaient pas connues avec précision à l'époque). Certains textes astronomiques du début du XIXe siècle font référence à onze planètes (incluant Uranus et les quatre premiers astéroïdes). Le cinquième astéroïde ((5) Astrée) fut découvert en 1845 peu de temps avant la découverte de Neptune, suivi de plusieurs autres dans les années suivantes. Bien qu'ils soient toujours appelés « planètes mineures », ils ne sont plus aujourd'hui considérés comme des « planètes ».

Le dernier mot revenant à l'Union astronomique internationale, l'organisme coordinateur de l'astronomie au niveau international, en charge de la dénomination des corps célestes ainsi que de leur statut, celle-ci, lors de son XXVIe congrès tenu le 24 août 2006 en République tchèque, a décidé au terme d'une semaine de débats de reclasser Pluton en planète naine plutôt que planète. Le numéro d'objet mineur 134340 lui fut attribué le 7 septembre 2006.

Néanmoins, suite au vote, une pétition ayant réuni en cinq jours les signatures de plus de 300 planétologues et astronomes majoritairement américains a été lancée pour contester la validité scientifique ainsi que le mode d'adoption de cette nouvelle définition et inviter à la réflexion sur une autre définition plus appropriée.

Pluton

Charon

Atmosphère de Pluton
(Photo de Pluton prise par la sonde New Horizons avec le soleil derrière la planète naine)