

Système solaire et systèmes exoplanétaires

Magda Stavinschi¹, Beatriz García², Andrea Sosa³

1 Institut astronomique de l'Académie roumaine (Bucarest, Roumanie)

2 Institut des technologies de détection et d'astroparticules et UTN Mendoza

3. Université de la République, Uruguay

Résumé

Sans aucun doute, dans un Univers où l'on parle de systèmes stellaires et solaires, de planètes et d'exoplanètes, le système le plus connu est le système solaire. On pourrait penser que tout le monde sait ce qu'est le Soleil, ce que sont les planètes, ce que sont les comètes et les astéroïdes. Mais est-ce vraiment le cas ? Si nous voulons comprendre le système solaire d'un point de vue scientifique, nous devons connaître les règles qui définissent un système.

Les organismes qui composent le Système unique, conformément à la résolution de l'Union astronomique internationale du 24 août 2006, sont

- planètes
- les satellites naturels des planètes
- les planètes naines
- d'autres corps plus petits : astéroïdes, météores, comètes, poussière, objets de la ceinture de Kuiper, etc.

Par extension, toute autre étoile entourée de corps célestes selon les mêmes lois qui régissent notre système est appelée un système exoplanétaire. L'une des questions à laquelle il faut répondre à ce sujet est "Quelle est la place du système solaire dans l'Univers", mais ce n'est pas la seule. Dans ce chapitre, nous allons essayer de présenter les caractéristiques les plus importantes de notre système

Objectifs

- Savoir quelle est la place du Soleil dans l'Univers.
- Savoir quels objets forment le système solaire.
- Connaître les détails des différents corps du système solaire, en particulier les plus importants.

Système solaire

Un système est, par définition, un ensemble d'éléments (principes, normes, forces, etc.), qui interagissent les uns avec les autres selon un ensemble de principes ou de règles.

Pour définir le système solaire, nous allons indiquer, en principe, les éléments de l'ensemble, qui est composé d'une étoile, le Soleil, et de tous les corps qui l'entourent et qui lui sont liés par la force de gravité.



Fig. 1 Système solaire en échelle de taille

Le système solaire est situé dans l'un des bras extérieurs de notre galaxie, également appelé la Voie lactée. Ce bras est appelé le bras d'Orion. Il est situé dans une région où la densité d'étoiles est relativement faible.

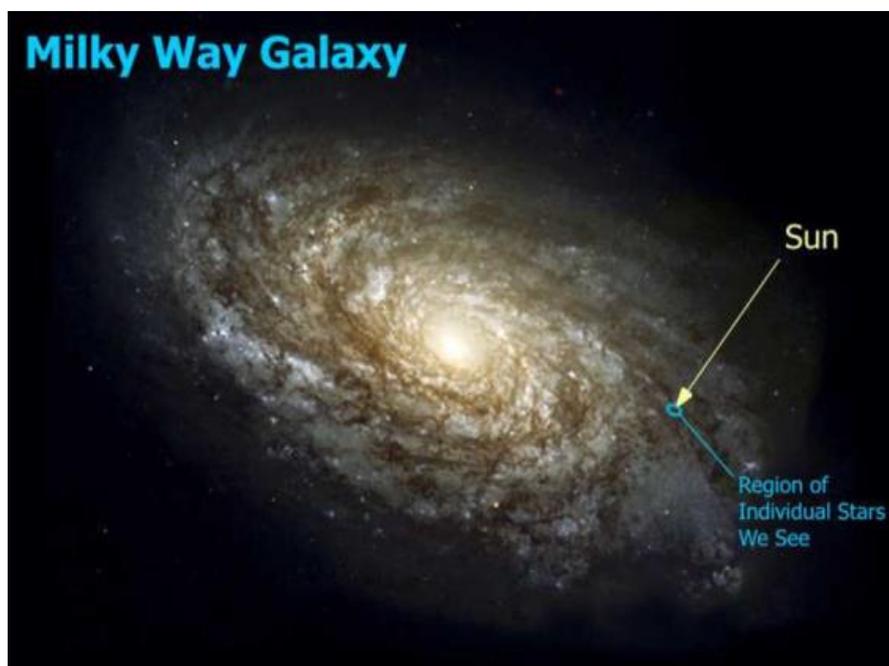


Fig2. Localisation du Soleil dans la galaxie (simulation)

Le Soleil, ainsi que l'ensemble du système solaire, est dans un mouvement révolutionnaire autour du centre de notre galaxie, située à une distance comprise entre 25 000 et 28 000 années-lumière (environ la moitié du rayon de la galaxie), avec une période de révolution comprise entre 225 et 250 millions d'années (l'année galactique du système solaire). La

vitesse à laquelle il se déplace sur cette orbite presque circulaire est d'environ 220 km/s, alors que la direction du mouvement est vers la position actuelle de l'étoile Véga.

Notre galaxie est composée d'environ 200 milliards d'étoiles, avec leurs planètes, et de plus de 1000 nébuleuses. La masse de l'ensemble de l'amas est environ 1 milliard de fois celle du Soleil et son diamètre est d'environ 100 000 années-lumière.

Très proche du système solaire se trouve le système Alpha Centaure (l'étoile la plus brillante de la constellation des Centaures), composé de trois étoiles, c'est-à-dire une paire d'étoiles (Alpha Centauri A et B), semblable au Soleil, qui tournent à une distance de 0,2 années-lumière autour d'une naine rouge, appelée Alpha Centauri C, de luminosité relativement faible. Cette dernière est l'étoile la plus proche du Soleil, à une distance de 4,24 années-lumière ; c'est pourquoi elle est aussi appelée "Proxima Centauri".

Notre galaxie fait partie d'un groupe de galaxies appelé le Groupe Local, composé de trois grandes galaxies et d'une série de 30 plus petites. Notre galaxie a la forme d'une spirale barrée. Les bras de cette spirale, qui émergent des extrémités de la barre formée par une distribution particulière d'étoiles, contiennent, entre autres, de la matière interstellaire, des nébuleuses et de jeunes étoiles qui naissent en permanence de cette matière. Le centre de la galaxie est composé de vieilles étoiles concentrées en groupes de forme sphérique. Notre galaxie compte environ 200 groupes de ce type, dont seulement 150 sont bien connus. Ces groupes sont principalement concentrés dans le centre galactique. Le système solaire est situé à 20 années-lumière au-dessus du plan de symétrie équatoriale et à 28 000 années-lumière du centre galactique. Le centre de la galaxie se trouve dans la direction de la constellation du Sagittaire, entre 25 000 et 28 000 années-lumière du Soleil.

La formation et l'évolution du système solaire

Selon la théorie classique, il y a environ 4,6 milliards d'années, le système solaire s'est formé à partir de la contraction gravitationnelle d'un nuage de gaz et de poussière interstellaires. L'effondrement du nuage a été déclenché par une perturbation grave (peut-être une explosion de supernova), qui a fait que la force gravitationnelle a vaincu la pression du gaz. La conservation du moment angulaire a fait que la nébuleuse tourne de plus en plus vite, s'aplatit et donne naissance à **un proto soleil** à son centre, et à un **disque proto planétaire** de gaz et de poussière autour d'elle. De petits noyaux planétésimaux solides ont été condensés dans le disque protoplanétaire, qui se sont ensuite accumulés par un processus d'accrétion pour former les planètes.

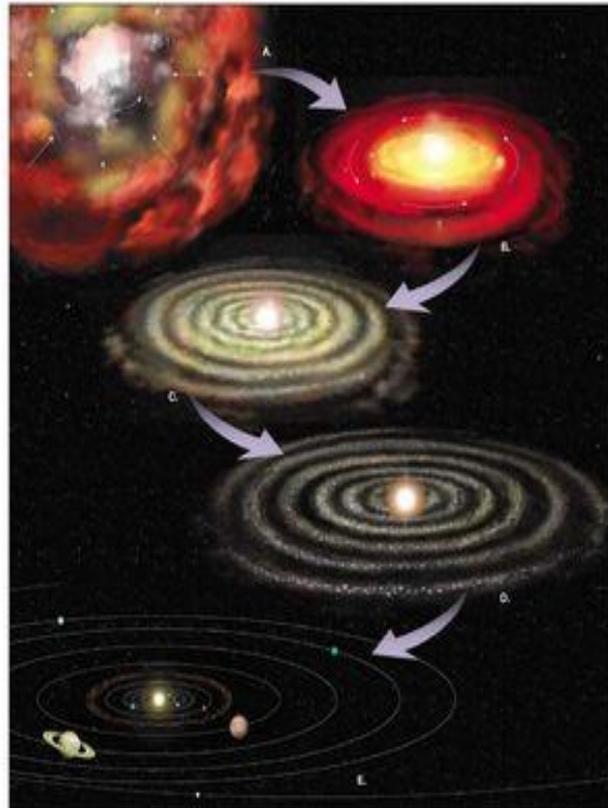


Fig. 3 Schéma du processus de formation du système solaire, selon la Théorie Standard, basée sur l'"hypothèse nébulaire", proposée à l'origine par Kant et Laplace au 17ème siècle.

L'hypothèse d'une nébuleuse primitive a été proposée en 1755 par Emmanuel Kant et, séparément, par Pierre-Simon Laplace.

La théorie standard (basée sur l'"hypothèse nébulaire" proposée à l'origine par Kant et Laplace au 17ème siècle) explique la coplanarité et la quasi-circularité des orbites et a été confirmée maintenant par les observations de plusieurs systèmes planétaires autour d'autres étoiles.

LE SOLEIL

Le Soleil est une étoile de masse intermédiaire, son âge est d'environ 4,6 milliards d'années. À l'heure actuelle, le Soleil a accompli environ la moitié de son cycle d'évolution, qui est lié à la transformation de l'hydrogène en hélium dans son noyau, par le mécanisme de la fusion nucléaire. Chaque seconde, dans le noyau du Soleil, plus de quatre millions de tonnes de matière sont converties en matières plus lourdes et en énergie, générant ainsi non seulement de l'hélium, mais aussi des neutrinos et des radiations électromagnétiques.

La plus grande partie du Soleil (74%) est constituée d'hydrogène, près de 25% d'hélium, le reste étant constitué d'éléments lourds.

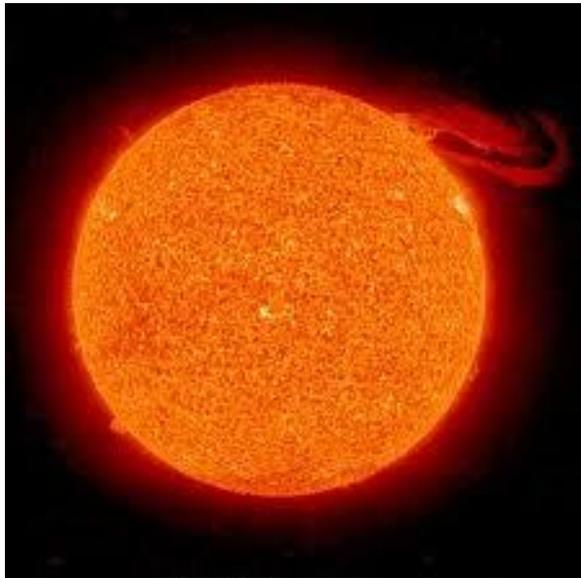


Fig. 3 : Le Soleil dans l'infrarouge.

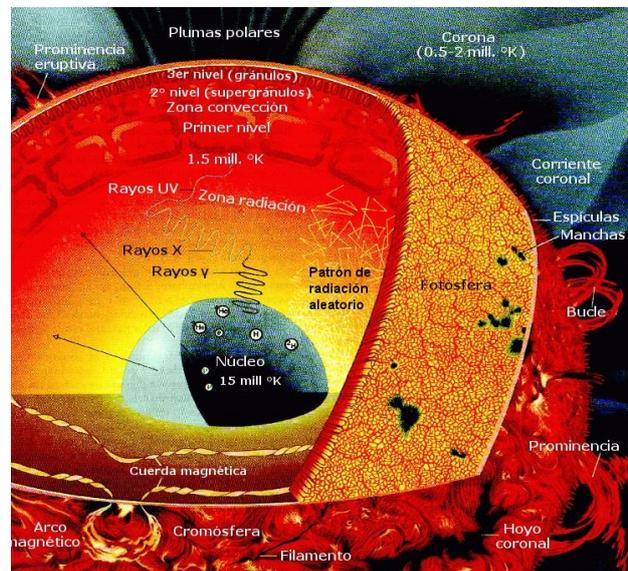


Fig 4 : Structure interne du Soleil

Le cycle de la vie du Soleil

Dans environ 5 milliards d'années, le Soleil deviendra une étoile géante puis une naine blanche, période au cours de laquelle une nébuleuse planétaire verra le jour. L'hydrogène sera épuisé, ce qui entraînera des changements radicaux, dont la destruction totale de la Terre. L'activité solaire, plus précisément son activité magnétique, est détectée à la vue de tous par le nombre et la dimension des taches à sa surface, ainsi que par les éruptions solaires et les variations du vent solaire, qui dissipent la matière de la composition du Soleil dans le système solaire et même au-delà.

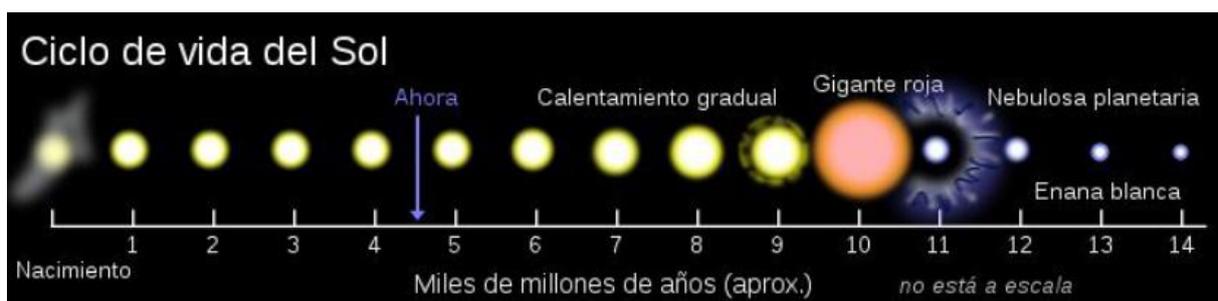


Fig. 5 : Cycle de vie du Soleil, de la protoétoile à la naine blanche

Planètes

Pour classer les planètes, on utilise la définition donnée par l'Union astronomique internationale (UAI) lors de sa 26e assemblée générale, tenue à Prague en 2006.

Dans le système solaire, une planète est un corps céleste qui :

1. est en orbite autour du Soleil,
2. a une masse suffisante pour maintenir l'équilibre hydrostatique (forme presque ronde), et a "nettoyé le voisinage" autour de son orbite.

Un corps non satellitaire qui ne répond qu'aux deux premiers de ces critères est classé comme "planète naine".

Selon l'UAI, les planètes et les planètes naines sont deux classes distinctes d'objets. Un non-satellite qui ne répond qu'au premier critère est appelé "petit corps du système solaire" (SSSB), comme c'est le cas des astéroïdes, par exemple.

Les projets initiaux de reclassement des corps dans le système solaire prévoyaient d'inclure les planètes naines dans une sous-catégorie des planètes, mais comme cela aurait pu entraîner ajouter plusieurs dizaines de nouvelles planètes dans le système, ce projet a été abandonné. En 2006, trois planètes naines ont été ajoutées (Cérès, Eris et Makemake) et une a été reclassée (Pluton). Ainsi, le système solaire 2006 comptait cinq planètes naines : Cérès, Pluton, Makemake, Haumea et Eris. Au fil des années, de nouveaux corps à l'étude ont été ajoutés à la liste des planètes naines.

Cette définition distingue les planètes des corps plus petits et n'est pas utile en dehors du système solaire, où les corps plus petits ne peuvent pas être détectés avec la technologie actuelle. Les planètes extrasolaires, ou exoplanètes, sont traitées séparément dans un projet de directive complémentaire de 2003 pour la définition des planètes, qui les distingue des étoiles naines qui sont plus massives et de plus grande taille.

Les 8 planètes du système solaire peuvent être divisées en :

- 4 Planètes terrestres, dans la région la plus intérieure (Mercure, Vénus, Terre et Mars)
 - Rocheux, avec des densités approximatives entre 4 et 5 g/cm³.
- 4 Planètes géantes, dans la région ultrapériphérique, qui sont à leur tour divisées en
 - Géants gazeux : Jupiter et Saturne. Plus riche en H et He, avec une composition chimique similaire à celle du soleil.
 - Géants glacés : Uranus et Neptune. Les glaces prédominent en ce qui concerne les gaz. Leur composition chimique est très différente de celle du soleil.

Les planètes géantes sont plus légères que les planètes terrestres, avec des densités comprises entre 0,7 g/cm³ (Saturne) et 2 g/cm³.

Les planètes géantes se sont formées sur des échelles de temps de l'ordre de 10 millions d'années (les terrestres l'ont fait en 100 millions d'années environ). Ils ne se sont pas formés "in situ", il y a eu une migration causée par l'échange de moment angulaire entre les planètes géantes en formation et les planétésimaux qui ont été emportés vers d'autres régions du système solaire ou éjectés du système.

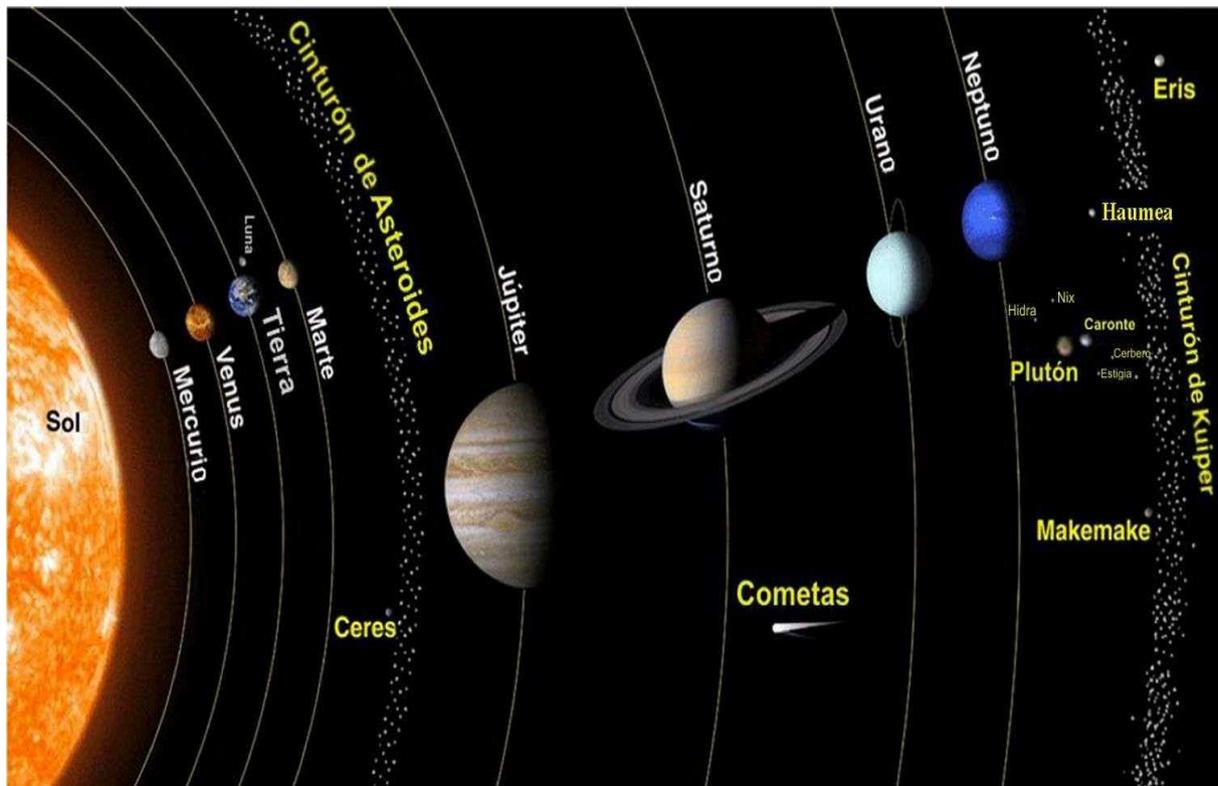


Fig 6 : Corps du système solaire (non mis à l'échelle).

La caractérisation de chaque planète implique la détermination de ses propriétés générales, telles que la masse, le rayon, la densité, la période de rotation autour de son axe (le jour), la période de translation autour du Soleil (l'année), la composition chimique de sa structure et de son atmosphère, entre autres grandeurs.

Dans ce texte, nous ne présenterons pas les tableaux de données, car ils sont disponibles sur Internet, en plus des livres traditionnels. Nous nous concentrerons ici uniquement sur la description de la nature de chaque corps, son origine, et les données d'intérêt ou de couleur afin que l'enseignant puisse travailler sur le sujet en classe (pour les données spécifiques des planètes et des corps du système solaire, voir les informations sur Internet).

MERCURE

Mercure est la planète la plus proche du Soleil et la plus petite planète du système solaire. C'est une planète tellurique¹ à l'intérieur du système solaire. Il tire son nom du dieu romain des arts et du commerce.

Elle n'a pas de satellite naturel. C'est l'une des cinq planètes que l'on peut voir à l'œil nu depuis la Terre. Elle n'a été observée au télescope que depuis le XVII^e siècle. Dernièrement,

¹ Une planète tellurique est une planète composée principalement de roches silicatées. Dans le système solaire, les planètes terrestres (ou telluriques) sont les planètes intérieures les plus proches du Soleil.

elle a été étudiée par deux sondes spatiales : Mariner 10 (trois fois en 1974-1975) et Messenger (deux fois en 2008).

Bien qu'elle soit visible à l'œil nu, elle n'est pas facilement observable, précisément parce qu'elle est la planète la plus proche du Soleil. Sa place dans le dôme du ciel est très proche du Soleil et peut être observée un peu avant le lever du soleil et un peu après le coucher du soleil. Cependant, les missions spatiales nous ont donné suffisamment d'informations, ce qui montre de façon surprenante que Mercure est très similaire à la Lune.

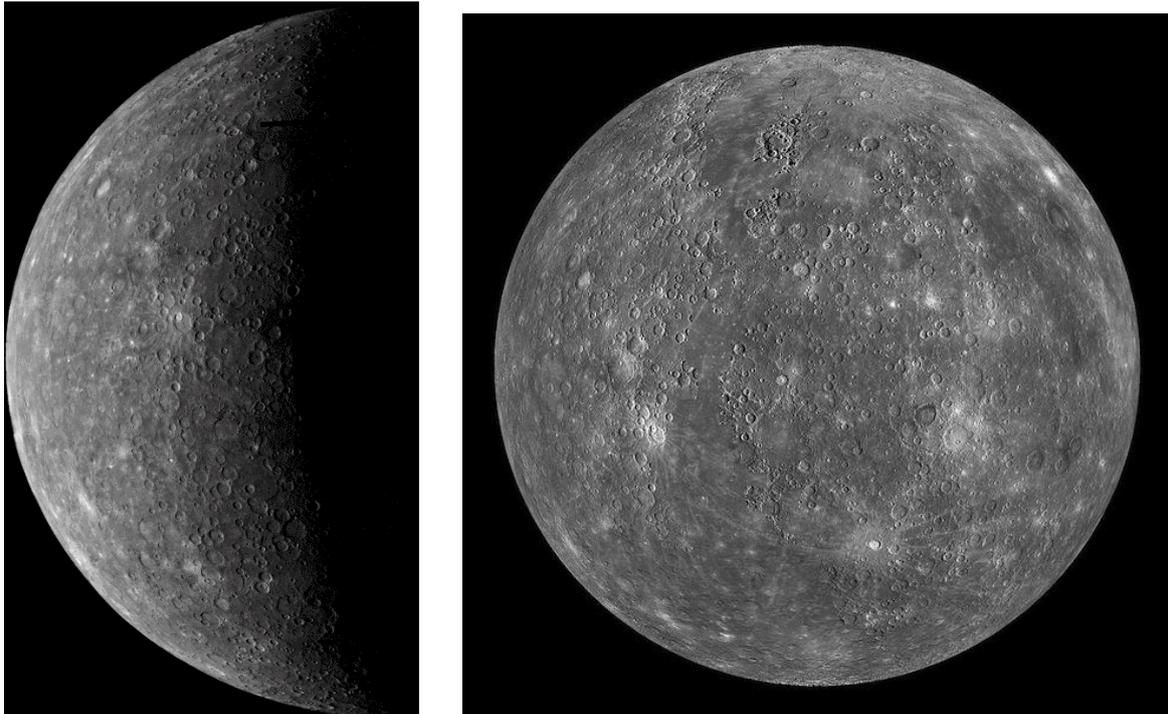


Fig. 7 : La planète Mercure

Il convient de mentionner quelques caractéristiques de la planète : elle est la plus petite du système solaire et la plus proche du Soleil. Elle a l'orbite la plus excentrique ($e = 0,2056$) et aussi la plus inclinée dans le sens opposé à l'écliptique ($i = 7^\circ 005$). Sa période synodique est de 115,88 jours, ce qui signifie que trois fois par an, elle se trouve à une position d'allongement maximum à l'ouest du Soleil (elle est également appelée "l'étoile du matin", et aux trois positions d'allongement maximum à l'est du Soleil, elle est appelée "l'étoile du soir"). Dans tous ces cas, l'allongement ne dépasse pas 28° .

Son rayon de 2440 kilomètres en fait la plus petite planète du système solaire, plus petite même que deux des satellites galiléens de Jupiter : Ganymède et Callisto.

Sa densité de $5,427 \text{ g/cm}^3$ en fait la plus dense après la Terre ($5,5 \text{ g/cm}^3$). Le fer pourrait être le principal élément lourd (70 % contre le 30% de matière rocheuse), qui contribue à la forte densité du mercure.

En général, on prétend que Mercure n'a pas d'atmosphère, ce qui n'est pas exact, mais son atmosphère est très rare et très faible, composée d'oxygène moléculaire, 42%, de sodium 29,0%, d'hydrogène 22,0%, d'hélium 6,0%, de potassium 0,5% et de traces d'argon, d'azote, de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau, de xénon, de crypton et de néon.

Mercure est la seule planète (en dehors de la Terre) à posséder un champ magnétique significatif, qui, bien qu'il soit de l'ordre de 1/100 de celui de la Terre, est suffisant pour créer une magnétosphère, qui s'étend sur 1,5 rayon planétaire, contre 11,5 rayons dans le cas de la Terre. Enfin, il y a une autre analogie avec la Terre : le champ magnétique est bipolaire, avec un axe magnétique incliné de 11° , par rapport à l'axe de rotation.

Sur Mercure, les températures varient beaucoup. Lorsque la planète traverse le périhélie, la température peut atteindre 427°C à l'équateur, à midi, soit suffisamment pour faire fondre un métal comme le zinc. Cependant, immédiatement après la tombée de la nuit, la température peut descendre jusqu'à -183°C , ce qui fait monter la variation diurne à 610°C ! Aucune autre planète ne souffre d'une telle différence, qui peut être due au rayonnement solaire intense pendant la journée, à l'absence d'une atmosphère dense et à la longueur de la journée de Mercure (l'intervalle entre le lever et le coucher du soleil est de presque trois mois terrestres, c'est-à-dire suffisamment de temps pour stocker de la chaleur ou, de même, du froid pendant une nuit d'égale durée).

Les cratères de Mercure sont très similaires à ceux de la Lune en termes de morphologie, de forme et de structure. La plus notable est celle du bassin de Caloris, témoin d'une grande catastrophe.

Les impacts des bassins versants sont les événements les plus catastrophiques qui peuvent affecter la surface d'une planète. Ils peuvent provoquer la modification de l'écorce planétaire, et même des troubles internes. C'est ce qui s'est passé lors de la formation du cratère de Caloris, d'un diamètre de 1.550 kilomètres.

L'avancée du périhélie de Mercure

Comme toute autre planète, le périhélie de Mercure n'est pas fixe, mais il a un mouvement régulier autour du Soleil. Pendant longtemps, on a considéré que ce mouvement était plus rapide de 43 secondes d'arc par siècle par rapport aux prédictions de la mécanique céleste "newtonienne" classique. Cette avancée du périhélie a été prédite par la théorie générale de la relativité d'Einstein, la cause étant la courbure de l'espace due à la masse solaire. La coïncidence entre la progression observée du périhélie et celle prévue par la relativité générale a été la preuve de la validité de l'hypothèse de cette dernière.

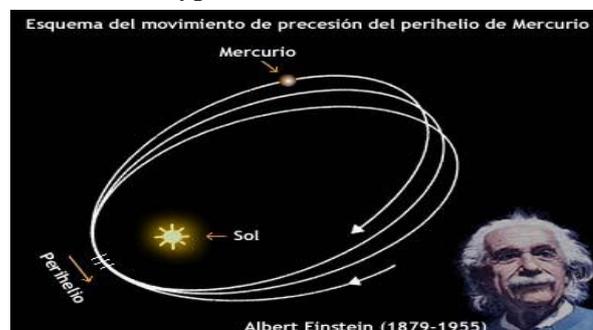


Fig. 8 Mouvement de précession du périhélie de Mercure

VENUS

L'une des quatre planètes du système interne, de constitution similaire à celle de la Terre et la deuxième en distance au Soleil. Elle porte le nom de la déesse romaine de l'amour et de la beauté.

Sa proximité avec le Soleil, la structure et la densité de l'atmosphère de Vénus en font l'un des corps les plus chauds du système solaire. Il a un champ magnétique très faible et ne possède pas de satellites naturels. C'est une des planètes avec un mouvement de révolution rétrograde et la seule avec une période de rotation supérieure à la période de la révolution. C'est le corps le plus brillant du ciel après le Soleil et la Lune.

La trajectoire de Vénus autour du Soleil est presque un cercle : son orbite a une excentricité de 0,0068, c'est-à-dire la plus petite du système solaire. Une année vénusienne est légèrement plus courte qu'un jour sidéral sur Vénus, avec un ratio de 0,924.

Sa taille et sa structure géologique sont similaires à celles de la Terre. L'atmosphère est très dense. Le mélange de CO₂ et de denses nuages de dioxyde de soufre crée le plus grand effet de serre du système solaire, avec des températures d'environ 460°C. La température à la surface de Vénus est plus élevée que celle de Mercure, bien que Vénus soit presque deux fois plus éloignée du Soleil que Mercure, et ne reçoive qu'environ 25% du rayonnement du Soleil par rapport à Mercure. La surface de la planète a un relief presque uniforme. Son champ magnétique est très faible, mais il porte une queue de plasma de 45 millions de kilomètres de long, observée pour la première fois par SOHO en 1997.

Une caractéristique notable de Vénus est sa rotation rétrograde (bien qu'Uranus en ait également une) : elle tourne autour de son axe très lentement et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, alors que les planètes du système solaire tournent généralement dans le sens des aiguilles d'une montre. Sa période de rotation n'est connue que depuis 1962. Cette rotation - lente et rétrograde - produit des jours solaires beaucoup plus courts que le jour sidéral, ces jours étant plus longs que sur les planètes à rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Par conséquent, il y a moins de 2 jours complets dans une année solaire de Vénus. Les causes de la rotation rétrograde de Vénus n'ont pas encore été élucidées. L'explication la plus probable serait une collision avec un autre grand corps dans la formation des planètes du système solaire. Il se pourrait aussi que l'atmosphère de Vénus influence la rotation de la planète en raison de sa grande densité.

Vénus a une atmosphère unique. Avec une pression de surface de 93 bar (9,3MPa) 93 fois celle de la Terre et composé principalement de ~96,5% de dioxyde de carbone, ~3,5% d'azote, 0,015% de dioxyde de soufre, 0,007% d'argon, 0,002% de vapeur d'eau, 0,001 7% de monoxyde de carbone, 0,0012% d'hélium, 0,0007% de néon.



Fig. 9 : Vénus. Photographie de sa Surface



Fig. 10 : Vénus en lumière visible (télescope Hubble)

La sœur jumelle de la Terre, Vénus. Analogie.

- Ils sont nés au même moment, à partir des mêmes nuages de gaz et de poussière, 4,6 millions d'années.
- Les deux sont des planètes du système solaire intérieur
- Ses surfaces ont un relief varié : montagnes, champs, vallées, plateaux,
- Les volcans, les cratères d'impact, etc.
- Les deux ont un nombre relativement faible de cratères
- Une surface relativement jeune et une atmosphère dense
- Ont des compositions chimiques similaires.

Le Transit de Venus

Le transit de Vénus se produit lorsque la planète passe entre la Terre et le Soleil, et que l'ombre de Vénus traverse le disque solaire. En raison de l'inclinaison de l'orbite de Vénus, par opposition à celle de la Terre, ce phénomène est très rare à notre échelle de temps. Il a lieu deux fois tous les 8 ans, ce double transit est séparé du suivant par plus d'un siècle (105,5 et 121,5 ans). Les derniers transits ont eu lieu le 8 juin 2004 et le 6 juin 2012 et pour le prochain, il faudra attendre le 11 décembre 2117.

TERRE

La Terre est la troisième planète la plus éloignée du Soleil dans le système solaire, et la cinquième par ses dimensions. Elle appartient aux planètes intérieures. C'est la plus grande des planètes rocheuses, et la seule dans l'Univers connu où la vie a réussi à s'adapter. La Terre s'est formée il y a environ 4,57 milliards d'années. Son seul satellite naturel, la Lune, a commencé son orbite peu après celle de la Terre, il y a environ 4,533 milliards d'années, et il

existe plusieurs théories sur son origine. 71% de la surface de la Terre est recouverte d'eau, le reste de 29% est solide et "sec", mais l'eau au total constitue une quantité infime de matière par rapport à la structure générale de la planète.



Fig. 11 : La Terre et la Lune (Mission Galileo, 1998)

Entre la Terre et le reste de l'Univers, il y a une interaction permanente. Ainsi, la Lune est la cause des marées. Elle a également influencé de manière continue la vitesse du mouvement de rotation de la Terre. Tous les corps du globe sont attirés par la Terre, la force d'attraction est appelée gravité et l'accélération avec laquelle ces corps tombent dans le champ gravitationnel est appelée accélération gravitationnelle (désignée par "g" = $9,81 \text{ m/s}^2$). On pense que la raison de l'apparition des océans est une "pluie" provenant des comètes dans une période antérieure de la Terre. Plus tard, les impacts d'astéroïdes ont contribué à modifier l'environnement de manière décisive. Les changements de l'orbite de la planète peuvent être considérés comme responsables des périodes glaciaires qui ont eu lieu dans l'histoire et qui ont recouvert la surface de la Terre d'une couche de glace.

La pression de son atmosphère à la surface est de 101,3 kPa et elle est composée de 78 % d'azote (N_2), 21 % d'oxygène (O_2), 0,93 % d'argon, 0,04 % de dioxyde de carbone et 1 % de vapeur d'eau (varie en fonction du climat).

MARS

Mars est la quatrième planète du système solaire en distance par rapport au Soleil et la deuxième en dimensions après Mercure. Elle appartient au groupe des planètes telluriques. Elle est nommée d'après le dieu romain de la guerre en raison de sa couleur rougeâtre. Plusieurs missions spatiales l'ont étudié depuis 1960 pour en savoir le plus possible sur sa

géographie, son climat et d'autres détails, et elles continueront à le faire à la recherche d'eau et peut-être de signes de vie sous sa surface.

On peut voir Mars à l'œil nu. Il est moins lumineux que Vénus et rarement plus lumineux que Jupiter. Elle éclipse cette dernière dans ses configurations plus favorables (oppositions). De tous les corps du système solaire, la planète rouge est celle qui a attiré le plus d'auteurs de science-fiction. La raison principale en est ses fameux canaux, ainsi appelés pour la première fois en 1858 par Giovanni Schiaparelli et considérés par cet auteur comme le résultat de constructions, dont on sait aujourd'hui qu'elles étaient complètement fausses... La couleur rouge de Mars est due à l'oxyde de fer (aussi appelé hématite), qui se trouve dans les minéraux à sa surface. Mars a un relief très escarpé, avec la plus haute montagne du système solaire (le volcan du mont Olympe), d'une hauteur d'environ 25 km, ou le plus grand canyon connu sur une planète (Valles Marineris), d'une profondeur moyenne de 6 km.

Cette planète possède en son centre un noyau de fer d'un diamètre d'environ 1700 kilomètres, recouvert d'un manteau d'olivine et d'une croûte basaltique, d'une largeur moyenne de 50 kilomètres. Elle est entourée d'une atmosphère composée principalement de dioxyde de carbone. Il y avait autrefois une hydrosphère active, c'est-à-dire qu'il y avait de l'eau à sa surface, mais des changements dans les conditions de pression de l'atmosphère, probablement dus à la perte de son champ magnétique, et de sa température, ont entraîné l'évaporation de l'eau à température ambiante. Actuellement, l'atmosphère martienne est caractérisée par une pression de surface de 0,6 à 1,0 kPa et est composée de 95,72 % de dioxyde de carbone, 2,7 % d'azote, 1,6 % d'argon, 0,2 % d'oxygène, 0,07 % de monoxyde de carbone, 0,03 % de vapeur d'eau, 0,01 % d'oxyde nitrique et de traces de néon, de crypton, de formaldéhyde, de xénon, d'ozone et de méthane.

Mars possède deux satellites naturels, Phobos et Deimos, probablement des astéroïdes capturés par la planète. Le diamètre de Mars est deux fois plus petit que celui de la Terre et sa surface est la même que celle des continents. Sa masse est un dixième de celle de la Terre. Sa gravité est légèrement inférieure à celle de Mercure, même si sa masse est deux fois plus importante.

Les plans de l'équateur martien et de son orbite autour du soleil ne coïncident pas. L'inclinaison de l'axe de Mars est similaire à celle de la Terre, c'est pourquoi il y a des saisons sur Mars comme sur Terre. Les dimensions des calottes polaires varient au cours des saisons en raison de l'échange de dioxyde de carbone et d'eau avec l'atmosphère. Le jour martien n'est que de 39 minutes plus long que le jour terrestre. Et en raison de son éloignement relatif du Soleil, l'année compte un peu plus de 322 jours de plus que l'année terrestre.

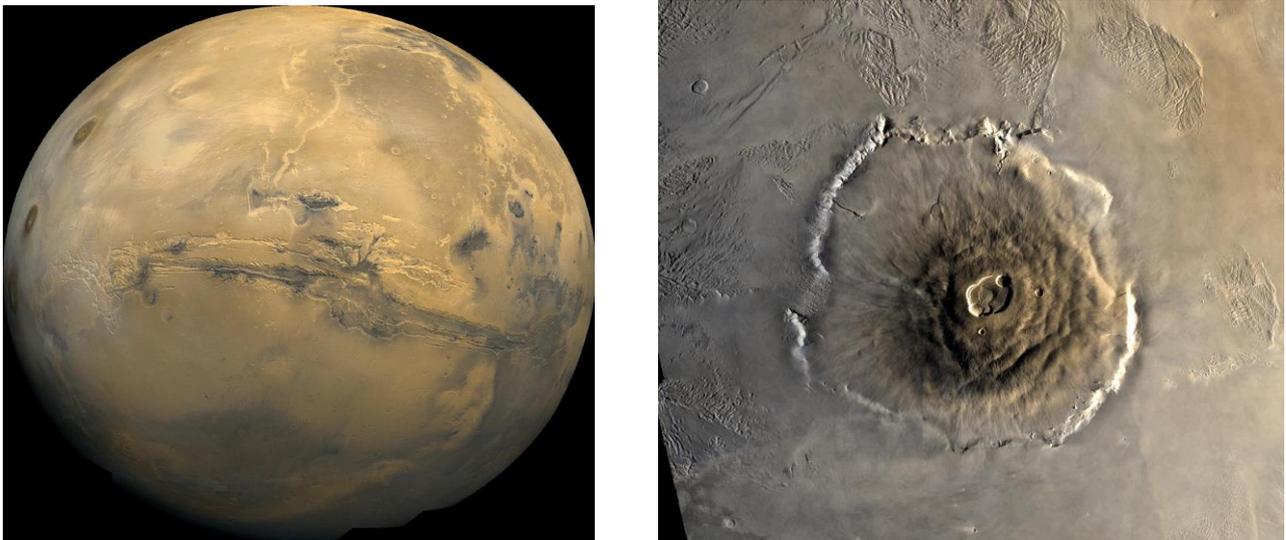


Fig. 12 : Mars (à gauche) ; Mont Olympe (à droite)

Mars est la planète extérieure la plus proche de la Terre ; cette distance est moindre lorsqu'elle est en opposition, avec la Terre entre elle et le Soleil.

Le 27 août 2003, Mars n'était qu'à 55,76 millions de km de la Terre, soit 0,3727 UA, la plus courte distance enregistrée en 59 618 ans. Un tel événement a donné lieu à toutes sortes de fantaisies, par exemple, que Mars aurait pu être vue aussi grande que la Lune. Cependant, avec un diamètre apparent de 25,13 secondes d'arc, Mars peut être vue à l'œil nu comme un point, tandis que la Lune s'étend sur un diamètre apparent de 30 minutes d'arc (1800 secondes d'arc). Une proximité similaire à celle de 2003 se produira le 28 août 2287, lorsque la distance entre les deux planètes sera de 55,69 millions de km.

JUPITER

Jupiter est la cinquième planète en distance du Soleil, avec un diamètre 11 fois celui de la Terre, c'est la plus grande de toutes les planètes du système solaire. Par rapport à notre planète, sa masse est 318 fois plus importante et son volume 1300 fois plus grand. Il est en orbite autour du Soleil à une distance de 778 547 200 kilomètres.

Jupiter est le quatrième objet le plus brillant du ciel à l'œil nu (après le Soleil, la Lune, Vénus et parfois Mars). La découverte de ses quatre grands satellites : Io, Europa, Ganymède et Callisto (connus sous le nom de satellites galiléens) par Galileo Galilei et Simon Marius en 1610 a été la première découverte d'un centre de mouvement apparent qui n'était pas sur Terre. C'était un point important en faveur de la théorie héliocentrique du mouvement planétaire de Nicolas Copernic. La vérification par Galilée de la théorie copernicienne lui a valu des problèmes avec l'Inquisition. Avant les missions Voyager, seuls 16 de ses satellites étaient connus : aujourd'hui, nous savons qu'ils en ont plus de 60 et que certains restent sûrement à découvrir.

Le noyau de la planète est probablement constitué de matériaux solides, 10 à 15 fois la masse de la Terre. Au-dessus de ce noyau se trouve la partie principale de la planète, composée d'hydrogène métallique en état liquide : en raison de la température et de la pression à

l'intérieur de Jupiter, l'hydrogène est un liquide et non un gaz. Dans cet état, le matériau est un conducteur électrique et la source du champ magnétique de Jupiter. Cette couche contient un peu d'hélium et un peu de glace restante.

La couche superficielle de la planète est principalement composée d'hydrogène moléculaire et d'hélium, liquides à l'intérieur et gazeux à l'extérieur. L'atmosphère que nous voyons n'est que le sommet de cette couche profonde. L'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, ainsi que d'autres molécules simples sont également présentes en petites quantités.

L'atmosphère de Jupiter est composée d'environ 86% d'hydrogène et 14% d'hélium, avec des traces de méthane, d'eau, d'ammoniac et d'autres éléments. On pense que sa composition est très similaire à la structure nuageuse originale à partir de laquelle le système solaire s'est formé (dans ce sens, Uranus et Neptune, qui sont également gazeux, ont moins d'hydrogène et d'hélium).

Une caractéristique distinctive de Jupiter est sa **Grande Tache Rouge**, qui a été observée pour la première fois par des télescopes terrestres il y a plus de 300 ans. C'est un ovale d'environ 12 000 km par 25 000 kilomètres, assez grand pour couvrir deux Terres. C'est une région de haute pression, dont les nuages supérieurs sont beaucoup plus hauts et plus froids que les zones environnantes. Des structures similaires ont été observées sur Saturne et Neptune. On ne sait pas encore pourquoi ce type de structure résiste si longtemps.

Sur Jupiter et d'autres planètes gazeuses, les vents soufflent à grande vitesse, dans de larges bandes de latitude. Les vents soufflent dans des directions opposées sur deux bandes adjacentes. Les différences de température ou de composition chimique sont responsables de la coloration différente des bandes, un aspect qui domine l'image de la planète. L'atmosphère de Jupiter est très turbulente. Les vents sont en grande partie déterminés par la chaleur interne de la planète, et non par le Soleil comme sur la Terre. L'atmosphère de Jupiter a une pression de surface de 20-200 kPa (couches nuageuses) et sa composition chimique est la suivante : 90% d'hydrogène (H₂), 10% d'hélium, ~0,3% de méthane, ~0,036% d'ammoniac, ~0,003% de deutérium (HD), 0,0006% d'éthane, 0,0004% d'eau. Et aussi des glaces de : ammoniaque, eau et sulfure d'ammonium (NH₄SH).

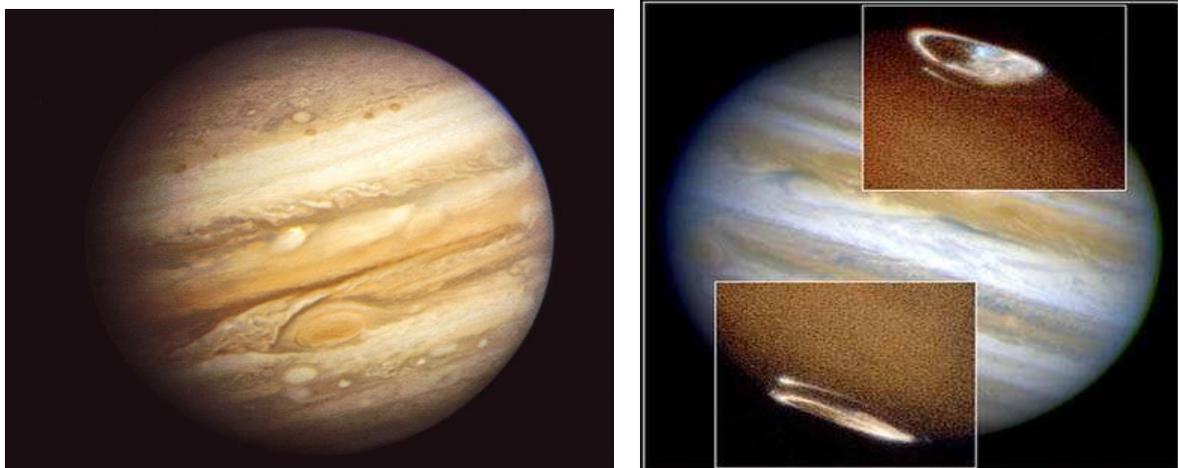


Fig. 13 Jupiter (à gauche) ; Aurores sur Jupiter (à droite, photo du télescope Hubble)

La magnétosphère de Jupiter est très intense, 14 fois plus forte que celle de la Terre et s'étend sur quelque 650 millions de km (au-delà de l'orbite de Saturne). Les satellites de Jupiter sont inclus dans son atmosphère, ce qui explique en partie l'activité sur Io. Un inconvénient majeur des futurs voyages spatiaux, ainsi qu'un problème pour les concepteurs des sondes Voyager et Galileo, est que dans l'environnement de Jupiter, il y a de grandes quantités de particules capturées par le champ magnétique de Jupiter. Cette "radiation" est similaire, mais beaucoup plus intense que celle observée dans les ceintures de Van Allen sur Terre, et serait mortelle pour tout être humain non protégé. La sonde Galileo a découvert un nouveau rayonnement intense entre les anneaux de Jupiter et les couches supérieures de l'atmosphère. Cette nouvelle ceinture de radiation est dix fois plus intense que les ceintures de Van Allen sur Terre. Étonnamment, cette nouvelle ceinture contient des ions d'hélium à haute énergie d'origine inconnue.

Jupiter a des anneaux comme Saturne, mais beaucoup plus fins et plus opaques : contrairement à ceux de Saturne, les anneaux de Jupiter sont sombres. Ils sont probablement composés de petits grains de matière rocheuse et ne semblent pas contenir de glace. Les particules des anneaux de Jupiter n'y restent probablement pas longtemps (à cause de l'atmosphère et du champ magnétique).

La sonde Galileo a trouvé des preuves évidentes que les anneaux sont continuellement alimentés par la poussière formée par les impacts de micrométéorites avec l'intérieur, qui sont très énergétiques, en raison du champ gravitationnel de Jupiter.

SATURN

Sixième planète la plus éloignée du Soleil dans le système solaire, Saturne est une planète géante gazeuse, deuxième après Jupiter en masse et en volume (3,3 fois plus petite que Jupiter, mais 5,5 fois plus grande que Neptune et 6,5 fois plus grande qu'Uranus. Elle est 95 fois plus massive que la Terre. Son diamètre est presque 9 fois plus grand que celui de la Terre.

Saturne est la seule planète du système solaire dont la masse-volume moyenne est inférieure à celle de l'eau : $0,69 \text{ g/cm}^3$. Cela signifie que son atmosphère, composée principalement d'hydrogène, est moins dense que l'eau, mais son noyau est beaucoup plus dense : elle a un diamètre environ neuf fois supérieur à celui de la Terre et est composée principalement d'hydrogène.

Saturne a la forme d'un sphéroïde aplati, aplati aux pôles et bombé à l'équateur. Ses diamètres équatorial et polaire diffèrent d'environ 10%, en raison de sa rotation rapide autour de son axe et d'une composition interne très fluide. Les autres planètes géantes gazeuses du système solaire (Jupiter, Uranus, Neptune) sont également aplaties, mais dans une moindre mesure.

Comme Jupiter, l'atmosphère de Saturne est disposée en bandes parallèles, bien que celles-ci soient moins visibles et plus grandes à l'équateur. Les systèmes nuageux de Saturne (ainsi que les tempêtes de longue durée) ont été observés pour la première fois par les missions Voyager. Le nuage observé en 1990 est un exemple de grande tache blanche, un phénomène éphémère

sur Saturne qui se produit tous les 30 ans. Si la périodicité reste la même, la prochaine tempête se produira probablement en 2020.

En 2006, la NASA a observé une tempête de la taille d'un ouragan, stationnée au pôle Sud, qui avait un œil bien défini. C'est le seul œil vu sur une autre planète que la Terre.

Les anneaux de Saturne font partie de l'un des plus beaux spectacles du système solaire et en sont la principale caractéristique. Contrairement aux deux autres planètes géantes gazeuses, qui sont très lumineuses (albédo entre 0,2 et 0,6) et empêchent la détection des anneaux qui sont sombres, les anneaux de Saturne peuvent être vus à travers une paire de jumelles. Ils ont une activité permanente : collisions, accumulations de matière, etc.

Saturne possède un grand nombre de satellites. Il est difficile de dire combien il y en a, tout morceau de glace dans les anneaux peut être considéré comme un satellite. En 2009, 62 satellites ont été identifiés. 53 ont été confirmés et ont reçu des prénoms. La plupart d'entre eux sont petits : 31 ont un diamètre inférieur à 10 km, tandis que 13 ont un diamètre inférieur à 50 km. Seuls sept d'entre eux sont assez grands pour prendre une forme sphérique sous l'influence de leur propre gravité. Titan est le plus grand d'entre eux, plus grand que Mercure et Pluton, et le seul satellite du système solaire à atmosphère dense à la surface duquel la mission Cassini a déposé une sonde, Huygens, en 2004. La mission a étudié ce monde où il existe un cycle similaire à celui de l'eau sur Terre, mais du méthane, un élément que l'on trouve dans les trois états à la surface du satellite.

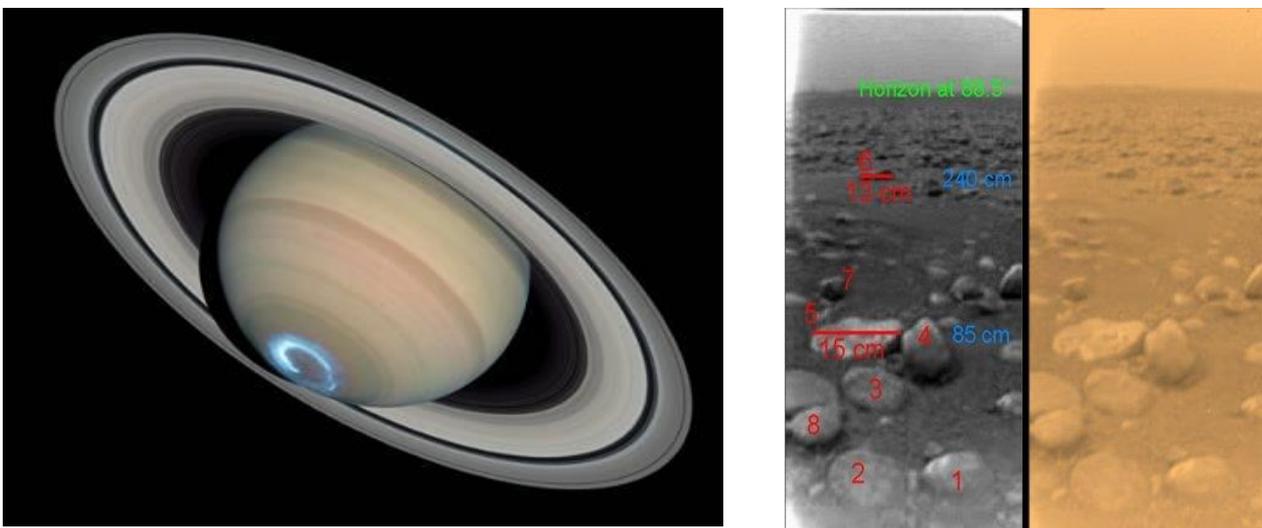


Fig. 14 Saturne, aurore vue (à gauche) ; Dernière image de la surface de Titan, mission Cassini Huygens (à droite)

URANUS

Uranus est également une planète géante gazeuse et, à ce titre, elle possède des anneaux : au moins 13 principaux. Elle est la septième la plus éloignée du Soleil dans le système solaire, la

troisième en dimensions et la quatrième en masse. C'est la première planète découverte à l'ère du télescope. Bien qu'elle puisse être vue à l'œil nu comme les 5 autres planètes classiques, en raison de sa faible luminosité, elle n'était pas facilement identifiable en tant que planète. William Herschel a annoncé sa découverte le 13 mars 1781, repoussant ainsi les frontières du système solaire pour la première fois dans les temps modernes. Uranus est la première planète découverte au moyen du télescope.

Uranus et Neptune ont une composition interne et atmosphérique différente de celle des autres grandes planètes gazeuses, Jupiter et Saturne. C'est pourquoi les astronomes les classent parfois dans une autre catégorie, celle des géants ou sous-géants congelés.

L'atmosphère d'Uranus, bien que composée principalement d'hydrogène et d'hélium, contient également de grandes quantités de glace d'eau, d'ammoniac et de méthane, ainsi que des traces d'hydrocarbures. Uranus possède l'atmosphère la plus froide du système solaire, atteignant un minimum de -224°C . Elle possède une structure nuageuse complexe, les couches inférieures étant probablement constituées d'eau et les couches supérieures de méthane. Comme les autres planètes géantes gazeuses, Uranus possède un système d'anneaux, une magnétosphère et de nombreux satellites naturels. Le système d'Uranus est unique dans le système solaire, car son axe de rotation est pratiquement sur l'orbite de son plan de révolution autour du Soleil. Ses pôles nord et sud sont ceux où les autres planètes ont leur équateur. En 1986, Voyager 2 a acquis des images d'Uranus, qui montrent une planète sans caractéristiques particulières en lumière visible, sans couches de nuages ni systèmes de nuages comme sur les autres planètes gazeuses. Cependant, des observations récentes ont montré des signes de changement de saisons et d'augmentation de l'activité météorologique à l'approche de l'équinoxe de décembre 2007. Le vent peut atteindre la vitesse de 250 m/s à sa surface.

Contrairement à toute autre planète du système solaire, Uranus a un axe de rotation très abrupt, presque parallèle à son plan orbital. On pourrait dire qu'il roule sur son orbite et expose successivement ses pôles Nord et Sud au Soleil. Une conséquence de cette orientation est que les régions polaires reçoivent plus d'énergie du Soleil que les régions équatoriales. Cependant, Uranus reste plus chaude à l'équateur qu'aux pôles, un mécanisme qui n'est pas encore expliqué. Aucune théorie de son inclinaison ne peut ignorer l'idée d'une collision catastrophique avec un autre corps avant sa formation actuelle.

La période de révolution d'Uranus autour du Soleil est de 84 années terrestres. Sa distance moyenne par rapport au Soleil est d'environ 3 milliards de kilomètres. L'intensité du flux solaire sur Uranus est d'environ 1/400 de celle reçue par la Terre.

La période de rotation des couches internes d'Uranus est de 17 heures et 14 minutes. Cependant, des vents violents dans le sens de la rotation ont lieu dans la haute atmosphère, comme pour toutes les planètes géantes gazeuses. Par conséquent, aux alentours de 60 degrés de latitude, les parties visibles de l'atmosphère se déplacent plus rapidement et effectuent une rotation complète en moins de 14 heures. La pression atmosphérique est inférieure à 1,3 bar) et sa composition chimique est la suivante : 83% d'hydrogène (H_2), 15% d'hélium, 2,3% de méthane, 0,009%, des traces de deutérium et des glaces de : ammoniac, eau, hydrosulfure d'ammonium (NH_4SH) et méthane (CH_4).

Bien que nous sachions très peu de choses sur sa composition interne, nous savons avec certitude qu'elle est différente de celle de Jupiter ou de Saturne. En théorie, il devrait avoir un noyau solide de silicates de fer, d'un diamètre d'environ 7 500 km, entouré d'un bouclier formé de glace d'eau mélangée à de l'hélium, du méthane et de l'ammoniac, large de 10 000 km, suivi d'une couche superficielle d'hydrogène et d'hélium liquide, longue d'environ 7 600 km, qui fond lentement dans l'atmosphère. Contrairement à Jupiter et Saturne, Uranus n'est pas assez massive pour retenir l'hydrogène à l'état métallique autour de son noyau. La couleur bleu-vert est due à la présence de méthane dans l'atmosphère, qui absorbe la lumière solaire rouge et infrarouge.

Uranus compte au moins 27 satellites naturels. Les deux premiers ont été découverts par William Herschel le 13 mars 1787 et s'appelaient Titania et Oberon.

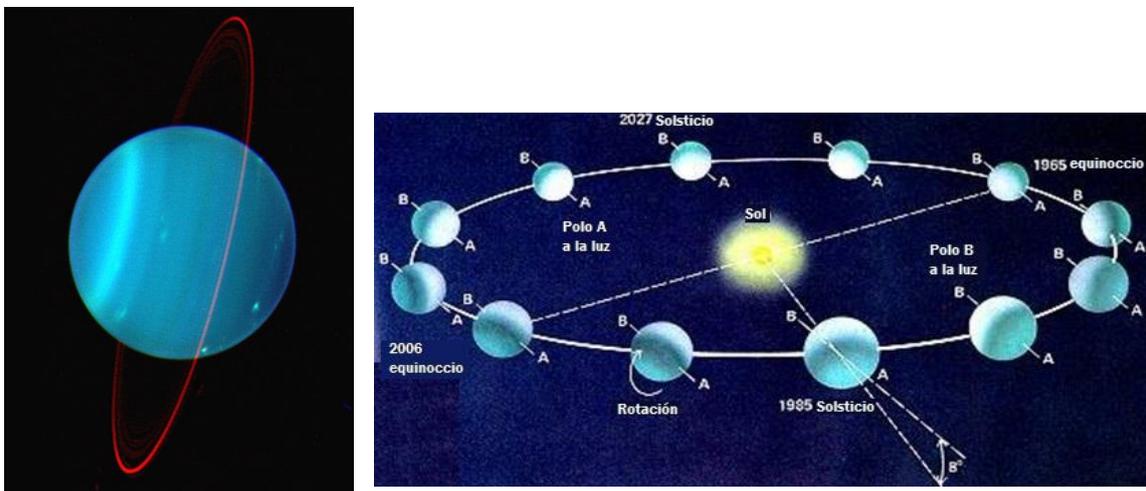
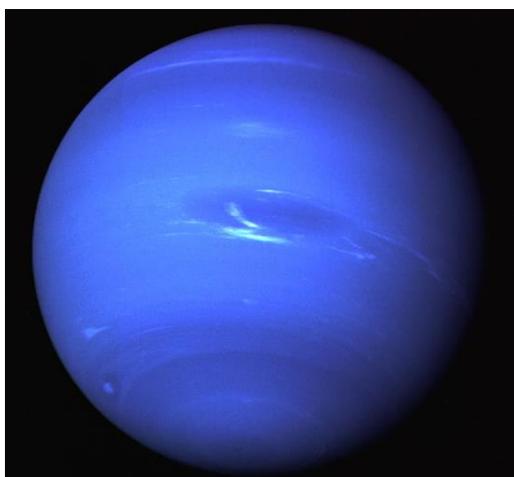


Fig. 15 Uranus (gauche); Orbite d'Uranus (droite).

NEPTUNE



Neptune est la huitième planète du système solaire et la plus éloignée du Soleil. C'est aussi la dernière planète géante gazeuse. Elle a été découverte par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle, le 23 septembre 1847, en suivant les indications d'Urban Le Verrier, qui, comme l'astronome anglais John Couch Adams, avait prévu par calcul, que elle pourrait être trouvée dans cette région du ciel.

Fig. 16 : Neptune

Neptune n'est pas visible à l'œil nu et apparaît comme un disque bleu-vert à travers le télescope. Elle n'a été visitée qu'une seule fois par la sonde spatiale Voyager 2, qui est passée à proximité le 25 août 1989. Son plus grand satellite est Triton. Sa composition interne est similaire à celle d'Uranus. On pense qu'elle possède un noyau solide formé de silicates et de fer, presque aussi grand que la masse de la Terre. Son noyau, comme celui d'Uranus, est censé être couvert d'une composition assez uniforme (roches fondantes, glace, 15% d'hydrogène et un peu d'hélium), il n'a pas de structure "stratifiée" comme Jupiter et Saturne.

Sa couleur bleuâtre provient principalement du méthane, qui absorbe la lumière aux longueurs d'onde rouges. Son atmosphère est composée de 80% d'hydrogène (H₂), 19% d'hélium, 1,5% de méthane, ~0,019% de deutérium, ~0,00015 d'éthane et des glaces de : ammoniac, eau, hydrosulfure d'ammonium et méthane.

Comme les autres planètes géantes gazeuses, elle possède un système éolien formé par des vents très rapides en bandes parallèles à l'équateur, de fortes tempêtes et des tourbillons. Les vents les plus rapides sur Neptune soufflent à plus de 1 600 km/h. Lors de la visite de Voyager 2, la formation la plus intéressante observée était la "Grande Tache Sombre", qui pourrait avoir la taille de la "Grande Tache Rouge" de Jupiter. Cet endroit pourrait être un ouragan noir géant qui se déplacerait à environ 1 000 km/h. Les anneaux planétaires de Neptune sont à peine visibles, sombres, et leur origine est encore inconnue. Neptune possède au moins 14 satellites naturels, dont le plus important est Triton, découvert par William Lassell seulement 17 jours après la découverte de Neptune.

PLANÈTES NAINES (DWARF)

Pluton, Charon et Eris

Bien qu'il y ait dix planètes naines confirmées, Pluton (39 UA de distance moyenne), son satellite Charon et Eris, planète naine de plus grande dimension que Pluton et qui a défini la reclassification de ces objets dans le Solar System, sont particulièrement intéressants.

Pluton a été découverte en 1930, considérée comme une planète et reclassée en août 2006, comme planète naine. Elle a une orbite excentrique, inclinée de 17° par rapport à son plan écliptique. Son périhélie s'étend à 29,7 UA et son aphélie à 49,5 UA. Le plus grand satellite de Pluton, Charon, est assez grand pour graviter autour d'un centre de gravité situé au-dessus de la surface de chacun des corps. Quatre autres petits satellites, Nix, Hydra, Cerberus, Styx, sont en orbite autour de la paire Pluto-Charon. Pluton est en résonance orbitale 3 :2 avec Neptune (la planète tourne deux fois autour du Soleil, tandis que Neptune tourne trois fois autour d'elle).

Eris a été découverte en janvier 2005 par une équipe de l'Observatoire de Palomar dirigée par Michael E. Brown. Légèrement plus grande que Pluton, elle était considérée comme la dixième planète jusqu'à la reclassification de l'UAI en 2006. Elle possède une petite lune appelée Dysnomia. Comme Pluton, elle fait partie de la ceinture de Kuiper ou des objets transneptuniens.

Autres corps dans le système solaire

L'environnement interplanétaire

En plus de la lumière, le Soleil rayonne un flux continu de particules chargées (plasma) appelé vent solaire. Ce flux se dissipe à une vitesse de 1,5 million de km/h, créant ainsi l'héliosphère, une fine atmosphère qui baigne le système solaire jusqu'à environ 100 UA (marqué l'héliopause). La matière qui compose l'héliosphère est appelée le milieu interplanétaire. Le cycle solaire de 11 ans, ainsi que les fréquentes éruptions solaires et les éjections de masse coronale, perturbent l'héliosphère et créent un climat spatial. La rotation du champ magnétique solaire agit sur le milieu interplanétaire, créant la couche héliosphérique actuelle, qui est la plus grande structure du système solaire.

Le champ magnétique terrestre protège l'atmosphère du vent solaire. L'interaction entre le vent solaire et le champ magnétique terrestre est à l'origine des aurores boréales. L'héliosphère assure une protection partielle du système solaire contre les rayons cosmiques, qui est plus importante sur les planètes à champ magnétique.

Le milieu interplanétaire comporte au moins deux régions de poussière cosmique en forme de disque. Le premier, le nuage de poussière zodiacal, se trouve dans le système solaire interne et produit la lumière zodiacale. Il s'est probablement formé à la suite d'une collision à l'intérieur de la ceinture d'astéroïdes, causée par des interactions avec les planètes. La seconde s'étend de 10 à 40 UA et s'est probablement formée lors de collisions similaires dans la ceinture de Kuiper. Ce sont les vestiges de l'accrétion planétaire. Ils comprennent diverses populations d'astéroïdes, de comètes et d'objets transneptuniens.

Comètes

Les comètes sont de petits corps du système solaire, d'un diamètre de l'ordre du kilomètre, généralement composés de glace volatile. Ils ont des orbites très excentriques, le périhélie se trouvant parfois dans le système solaire interne, tandis que l'aphélie se trouve au-delà de Pluton. Lorsqu'une comète entre dans le système solaire intérieur, sa proximité avec le Soleil entraîne la sublimation et l'ionisation de sa surface, créant ainsi une longue queue formée de gaz et de poussière.

Les comètes à courte période (par exemple la comète de Halley) complètent leur orbite en moins de 200 ans et semblent provenir de la ceinture de Kuiper. Les comètes à longue période (par exemple la comète Hale-Bopp) ont une périodicité de plusieurs milliers d'années et semblent avoir leur origine dans le nuage de Oort. Enfin, il y a quelques comètes qui ont une trajectoire hyperbolique et semblent venir de l'extérieur du système solaire. Les anciennes comètes qui ont perdu la plupart de leurs composants volatils sont maintenant considérées comme des astéroïdes.

Les Centauris, situés entre 9 et 30 UA, sont des corps de glace ressemblant à des comètes, en orbite entre Jupiter et Neptune. Le plus grand centaure connu, Chariklo, a un diamètre compris entre 200 et 250 km. Le premier centaure découvert, Chiron, était à l'origine

considéré comme une comète, car il a développé une queue comme celle-ci. Certains astronomes classent les centaures comme des corps de la ceinture de Kuiper.



Fig. 17 : Comète

LES RÉSERVOIRS DE CORPS MINEURS DANS LE SYSTÈME SOLAIRE

Les réservoirs sont des régions relativement stables du système solaire, où les objets peuvent rester pendant des périodes comparables à l'âge du système, jusqu'à ce qu'une force perturbatrice modifie leur orbite.

Il y a trois grands réservoirs dans le SS :

1. La ceinture d'astéroïdes principale. D'autres populations viendraient de cette région, comme les astéroïdes proches de la Terre (connus sous le nom de NEAS).

Les astéroïdes sont principalement de petits corps du système solaire composés de roches et de minéraux métalliques non volatiles. La ceinture d'astéroïdes occupe une orbite entre Mars et Jupiter, à une distance de 2,3 à 3,3 UA du Soleil. Il pourrait s'agir de vestiges du système solaire en formation, qui n'ont pas réussi à former un corps céleste plus grand, en raison de l'interférence gravitationnelle de Jupiter.

La taille des astéroïdes varie de plusieurs centaines de kilomètres à des grains de poussière microscopiques. Toutes, sauf la plus grande, Cérès, sont considérées comme de petits corps, bien que certaines d'entre elles, comme Vesta et Hygeia, pourraient être classées comme des planètes naines, s'il est démontré qu'elles atteignent l'équilibre hydrostatique. La ceinture d'astéroïdes contient des milliers, voire des millions de corps d'un diamètre de plus d'un kilomètre. Cependant, la masse totale de la ceinture ne représente pas plus d'un millième de celle de la Terre.

Ceres (2,77 UA) est le plus grand corps de la ceinture d'astéroïdes et la seule planète naine (classée comme telle en 2006). Avec un diamètre de près de 1 000 km, il suffit de sa gravité pour lui donner sa forme sphérique.

2. La ceinture transneptunienne. C'est la région d'où proviennent les comètes de courte durée. La ceinture de Kuiper est un grand anneau formé par les débris d'un grand anneau,

similaire à celui de la ceinture d'astéroïdes, mais composé principalement de glace. La première partie de la ceinture de Kuiper s'étend entre 30 et 50 UA du Soleil et s'arrête à "la falaise de Kuiper", où elle commence sa deuxième partie jusqu'à 100 UA. On pense que cette région est la source des comètes de courte durée. Elles sont composées principalement de petits corps, ainsi que de quelques corps plus grands, tels que Quaoar, Varuna ou Orcus, qui peuvent être classés comme des planètes naines. La ceinture de Kuiper pourrait être divisée principalement en objets "classiques" et en objets en résonance avec Neptune. Un exemple de cet effet serait celui des plutinos qui effectuent deux orbites alors que Neptune en a effectué trois.

3. Le nuage de Oort. Il a une distribution sphérique et est formé par les planétésimaux glacés balayés par les planètes géantes lors de la formation des SS. Grâce aux perturbations dues au passage rapproché d'étoiles ou de nuages moléculaires géants, ou aux marées galactiques, les orbites de certains de ces objets peuvent changer en déviant vers l'intérieur du système solaire, se transformant en comètes de longue période.

AUTRES SYSTÈMES EXOPLANÉTAIRES

En 1995, les astronomes suisses Michael Mayor et Didier Queloz ont annoncé la détection d'une exoplanète en orbite autour de 51 Pegasi. Cette étoile et sa planète ont été nommées *Helvétès* et *Dimidio* en 2015, suite à un vote public, promu par l'AIU.

Le 10 mai 2016, la collaboration des scientifiques travaillant sur le projet de mise en orbite du télescope Kepler, visant à détecter les exoplanètes de type terrestre, a annoncé la plus grande collection d'exoplanètes jamais connue. Sur un total de quelque 5 000 candidates, plus de 3 200 ont été vérifiées, et 2 325 d'entre elles ont été découvertes par le télescope Kepler.

Le satellite "Transiting Exoplanet Survey" de la NASA, lancé en 2018, utilise la même méthode que le télescope Kepler pour surveiller 200 000 étoiles brillantes proches et rechercher des planètes, en particulier celles de la taille de la Terre ou plus grandes (les super Terres).

Les astronomes posent des questions telles que : combien d'étoiles ont des planètes ? Combien de ces systèmes exoplanétaires ont des planètes dans la zone habitable, où l'eau peut être à l'état liquide, et de ces planètes situées à une distance appropriée de leur étoile, combien ont développé la vie ? ces questions restent sans réponse.

Bibliographie

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.