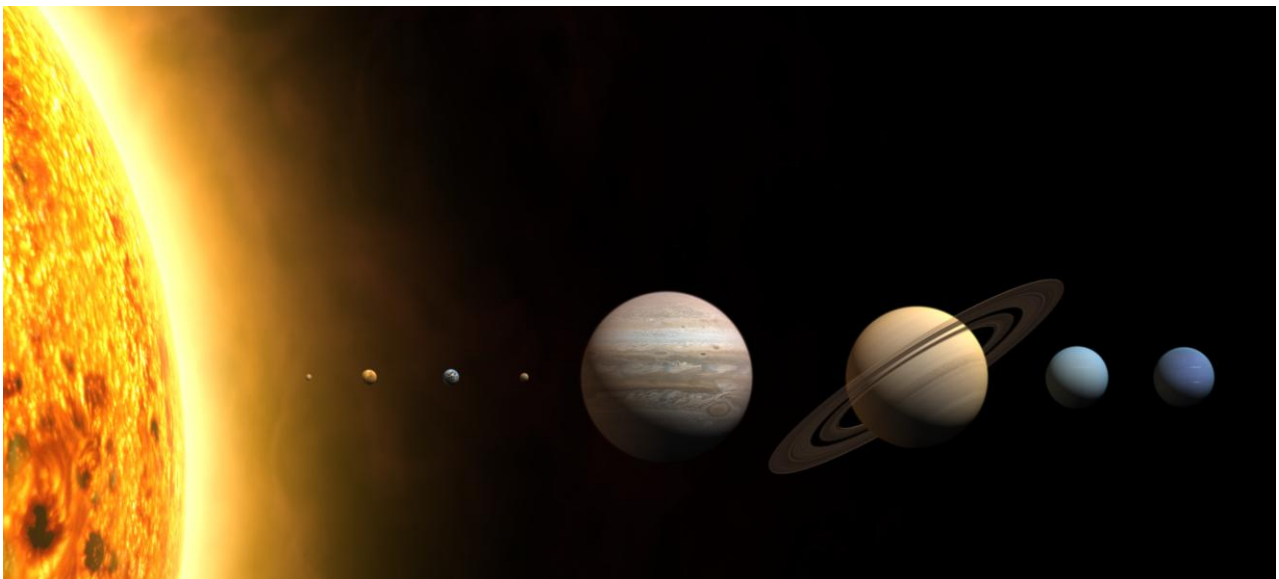




# Le système solaire

**Dossier enseignants**  
**Problèmes thématiques**



## Département éducation – formation

Palais de la découverte  
Avenue Franklin D. Roosevelt  
75008 Paris  
[www.palais-decouverte.fr](http://www.palais-decouverte.fr)

2015

# Sommaire

## I Les atmosphères des planètes

I.1	Existence et stabilité	4
I.2	Formation et évolution	5
I.3	Qu'entend-on par <i>température</i> ?	5
I.4	Profil thermique de l'atmosphère de la Terre	6
I.5	Profil thermique de l'atmosphère de Saturne	7
I.6	L'effet de serre sur Vénus	8

## II Le champ magnétique des planètes

II.1	La magnétosphère terrestre	9
II.2	Environnement d'une planète à atmosphère et à faible champ magnétique	10
II.3	Naissance d'un champ magnétique	11
II.4	Caractéristiques des champs magnétiques planétaires	11
II.5	Les aurores polaires	12

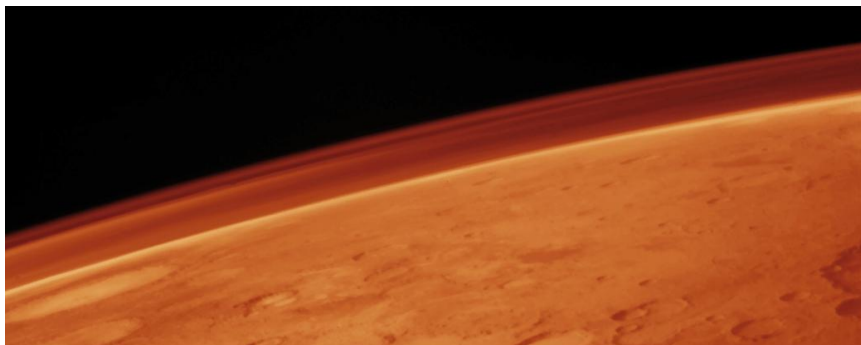
## III La formation du système solaire

III.1	La naissance du Soleil et du disque protoplanétaire	14
III.1.1	Stratification chimique et thermique du disque protoplanétaire	14
III.1.2	Le proto-Soleil et son disque protoplanétaire	15
III.2	Des premiers grains aux planètes	16
III.2.1	La croissance des planétésimaux	16
III.2.2	La formation des planètes géantes	17
III.2.3	Les pièces du puzzle se mettent en place	17
III.2.4	La migration des planètes géantes	18

<b>IV</b>	<b>Les méthodes en planétologie</b>	<b>18</b>
IV.1	Comment mesurer les distances dans le système solaire ?	19
IV.2	Comment calculer la masse d'une planète	20
IV.3	Comment établir à distance la température et la composition chimique d'une planète ?	21
IV.4	Comment évaluer l'âge d'une roche ou d'un terrain ?	
IV.4.1	Datation absolue par désintégrations radioactives	22
IV.4.2	La datation relative	23

# I Les atmosphères des planètes

Les atmosphères des planètes de notre système solaire diffèrent par leur densité, leur extension et leur composition chimique. D'où proviennent-elles ? Pourquoi certaines planètes sont-elles pratiquement dénuées d'atmosphère alors que d'autres en possèdent de très épaisses ? Quels sont les mécanismes qui déterminent leur composition et leur profil de température ?



La fine atmosphère de Mars. Crédit : NASA.

## I.1 Existence et stabilité

La présence d'une atmosphère de gaz autour d'une planète est le résultat d'un équilibre entre la capacité de la planète à retenir son atmosphère par gravité (1) et la température du gaz (2).

(1) Une planète massive peut ainsi conserver son atmosphère, même si cette dernière est formée de gaz légers comme l'hydrogène. À l'inverse, une planète peu massive ne peut éventuellement retenir qu'une atmosphère composée d'atomes ou de molécules massifs.

(2) La température d'un gaz est directement liée à l'agitation des particules qui le composent. Plus l'atmosphère d'une planète est chaude, plus ses particules (atomes et molécules) se déplacent rapidement. Si la température est suffisamment élevée, les particules atteignent des vitesses qui leur permettent d'échapper à l'attraction de la planète.



Mercure, proche du Soleil, est une petite planète surchauffée et pratiquement dénuée d'atmosphère. L'énorme planète Jupiter, située loin du Soleil, possède une atmosphère épaisse. Crédit : NASA / JPL / SSI.

## I.2 Formation et évolution

La nébuleuse ayant donné naissance au système solaire il y a 4,6 milliards d'années était composée de 90 % d'hydrogène, de près de 10 % d'hélium et de traces d'éléments plus complexes comme le carbone, l'azote et l'oxygène. Sous quelle forme se trouvaient ces éléments lourds ?

À basse température et forte pression, il se forme un équilibre entre les molécules contenant du carbone et de l'azote au profit du méthane et de l'ammoniac. À haute température et basse pression, l'équilibre est au profit du dioxyde de carbone et du diazote.

On peut donc s'attendre à ce qu'à de grandes distances du Soleil, les atmosphères planétaires soient riches en méthane et en ammoniac, ce qui est bien le cas des planètes géantes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Ces planètes ont d'ailleurs pu, par leur masse importante, conserver les éléments légers (hydrogène et d'hélium) qui constituent aujourd'hui l'essentiel de leur atmosphère.

Plus près du Soleil, les atmosphères primaires des petites planètes telluriques, dont l'hydrogène et l'hélium se sont échappés, devraient être dominées par les molécules de diazote et de dioxyde de carbone. Si ce scénario est validé sur Vénus et Mars, pourquoi y a-t-il si peu de dioxyde de carbone (0,04 %) dans l'atmosphère terrestre ? Peu après la formation de notre planète, la vapeur d'eau s'est condensée en pluies. Le dioxyde de carbone étant soluble dans l'eau, il fut absorbé par les océans et transformé par les premiers êtres vivants en carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ .

Enfin, sur Terre, l'atmosphère subit une dernière transformation due à l'activité biologique. Grâce aux plantes et à certaines bactéries, du dioxygène fut libéré en abondance jusqu'à atteindre sa proportion actuelle de 21 % en volume.



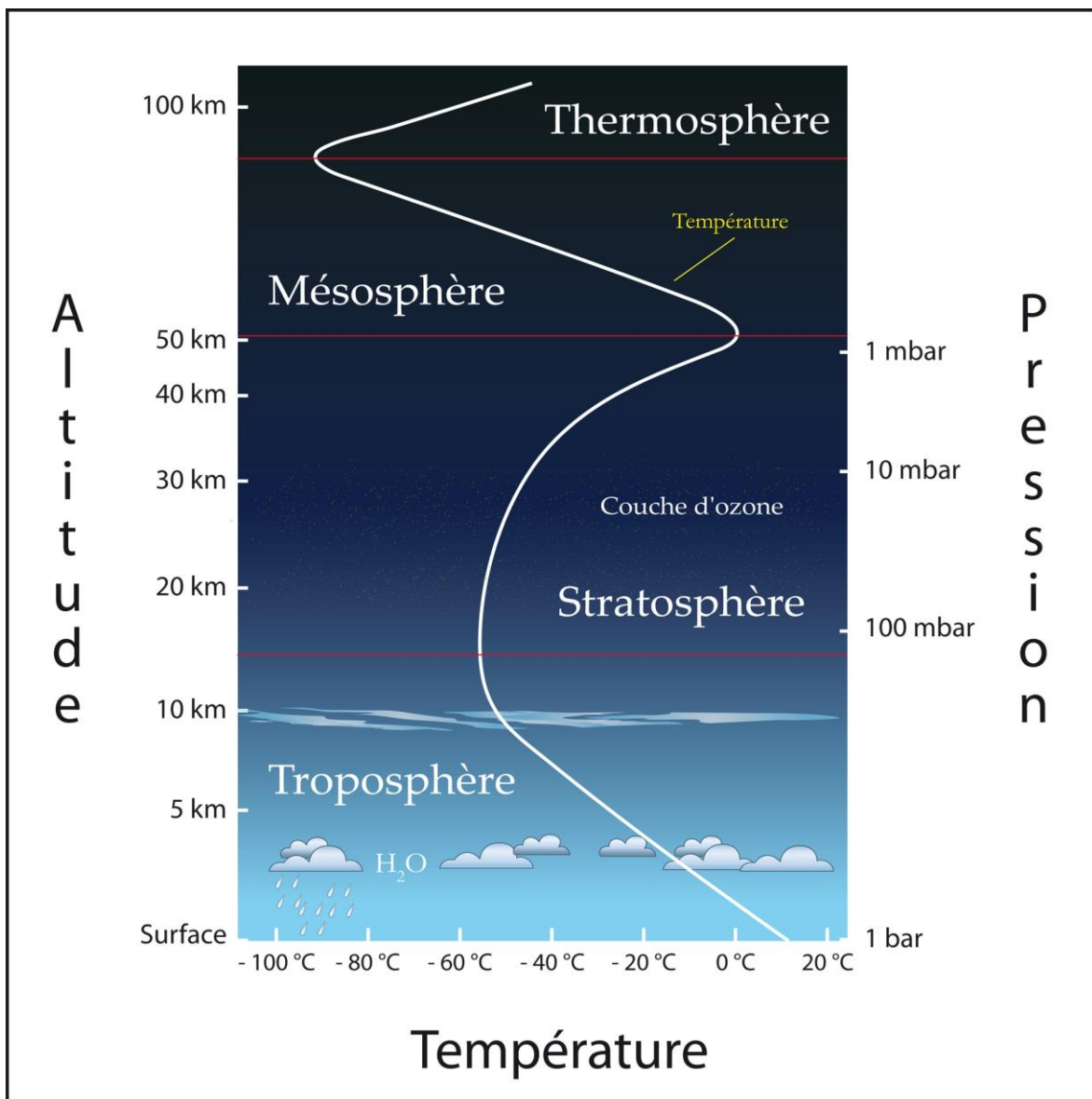
Crédit : NASA.

## I.3 Qu'entend-on par *température* ?

Dans la vie courante, la température est reliée aux sensations de froid et de chaud. Cependant, lorsque la pression atmosphérique est faible, ce lien est rompu. Prenons le cas de la thermosphère terrestre : à une altitude de 250 km, la température peut atteindre 2 000 °C. Cette température importante traduit le niveau très élevé de l'énergie d'agitation des rares particules composant l'air de cette région. Toutefois, ces quelques particules ne communiqueraient à un thermomètre que très peu d'énergie, du fait de leur rareté. Malgré un environnement à 2 000 °C, le thermomètre indiquerait une température extrêmement basse, proche du zéro absolu (- 273,15 °C).

## I.4 Profil thermique de l'atmosphère de la Terre

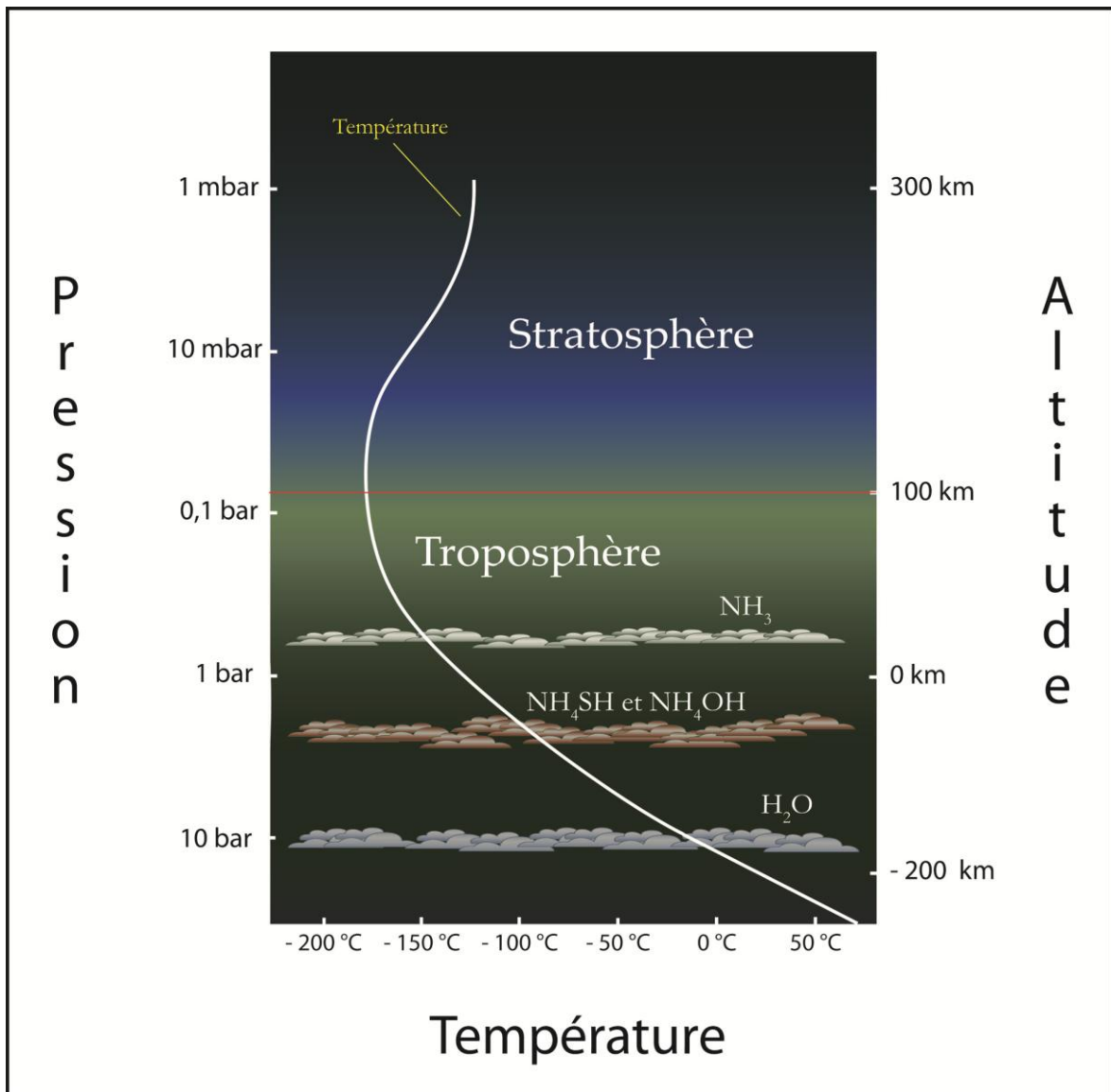
L'atmosphère terrestre est arbitrairement divisée en quatre parties. Depuis la surface jusqu'à une altitude d'environ 15 km, on trouve une zone caractérisée par une décroissance de la température avec l'altitude : la troposphère. Le chauffage de cette zone où domine la convection provient du sol. Au-dessus de la troposphère s'étend la stratosphère, dans laquelle la température s'élève rapidement avec l'altitude, conséquence de l'absorption du rayonnement solaire ultraviolet par l'ozone et le dioxygène. Entre 50 et 80 km d'altitude se situe la mésosphère où la température diminue jusqu'à la mésopause, pour croître à nouveau très rapidement au-delà, dans la thermosphère.



Profil des températures dans l'atmosphère terrestre. Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

## I.5 Profil thermique de l'atmosphère de Saturne

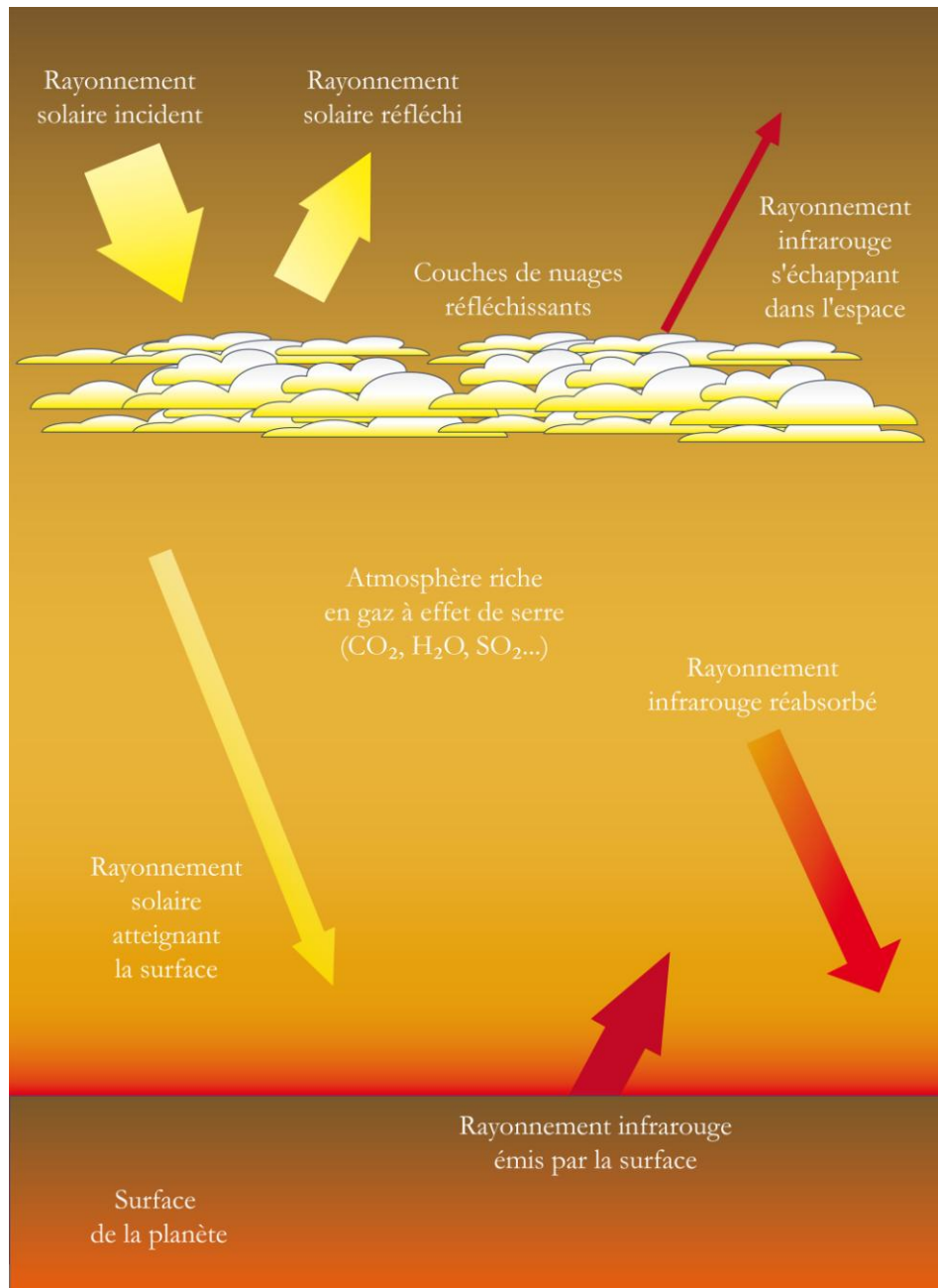
À la différence de la Terre, Saturne ne possède pas de surface solide. L'énergie qui chauffe la partie basse de l'atmosphère — la troposphère — provient directement de l'intérieur de la planète. Au-dessus de cette zone, on trouve une région où la température augmente avec l'altitude : la stratosphère. L'augmentation de la température s'explique par l'absorption du rayonnement solaire par le méthane atmosphérique et par des particules en suspension, les aérosols.



Profil des températures dans l'atmosphère de Saturne. Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

## I.6 L'effet de serre sur Vénus

Les couches de nuages blancs entourant la planète Vénus réfléchissent environ 70 % du rayonnement solaire dans l'espace. Les 30 % qui arrivent à franchir cette barrière chauffent l'atmosphère et la surface, qui réémettent cette énergie sous forme de rayonnement infrarouge. Toutefois, certains composés atmosphériques comme le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre et la vapeur d'eau sont des gaz à effet de serre : pratiquement transparents au rayonnement visible, ils sont opaques au rayonnement infrarouge. La chaleur emmagasinée reste ainsi piégée près de la surface et la porte à une température moyenne de 460 °C.



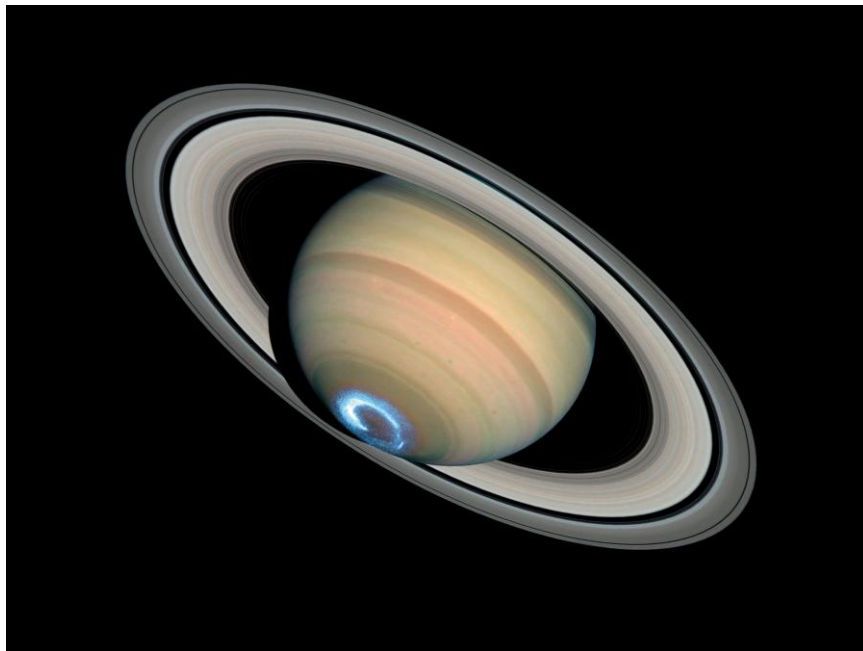
Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).



Différents indices laissent penser que, il y a plusieurs milliards d'années, Mars possédait une atmosphère épaisse. Pourquoi a-t-elle pratiquement disparu aujourd'hui ? Les activités humaines produisent de grandes quantités de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ). Quelles seront les conséquences de cette production importante pour l'environnement ?

## II Le champ magnétique des planètes

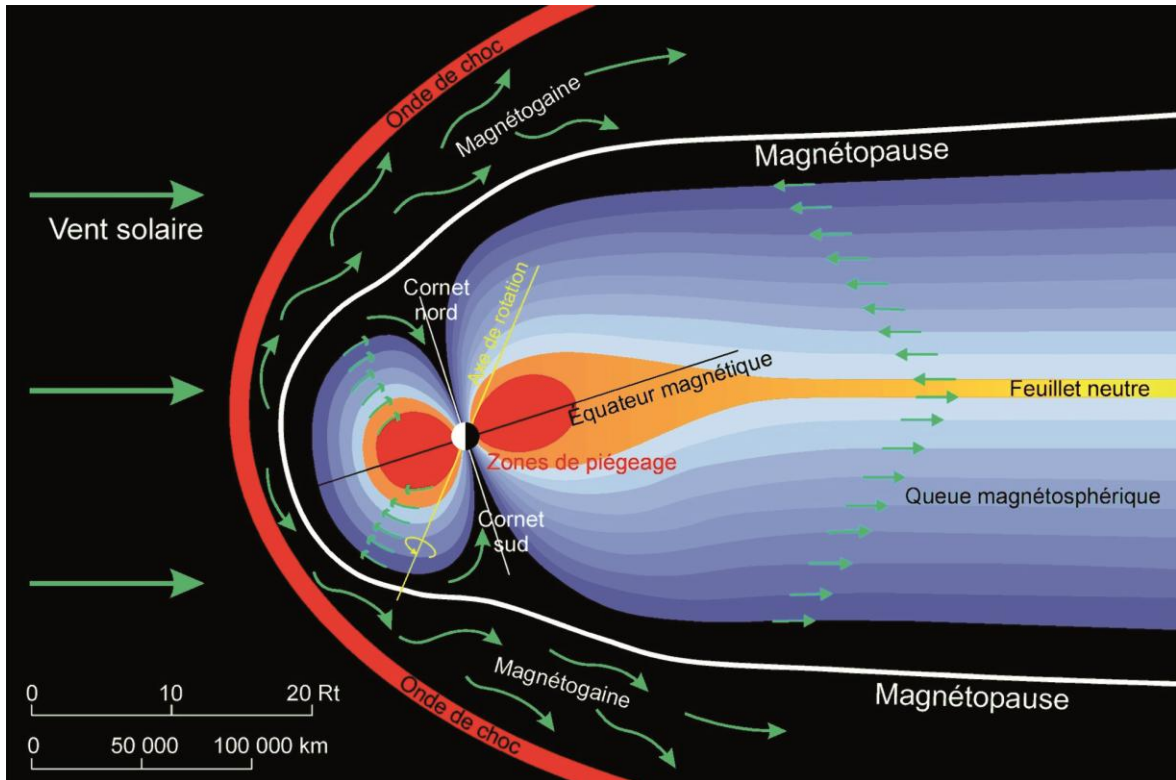
La Terre possède un champ magnétique pouvant être assimilé approximativement à celui d'un gigantesque barreau aimanté. C'est sur lui que s'aligne l'aiguille aimantée des boussoles. Il nous protège également du vent solaire, nocif pour la vie. Dans le système solaire, Mercure, la Terre et les quatre planètes géantes possèdent un champ magnétique global. Comment sont-ils créés ? Quelles sont les conséquences de l'interaction entre le vent solaire et ces champs magnétiques ?



Aurore polaire sur Saturne. Crédit : NASA / ESA / J. Clarke (Université de Boston) / Z. Levay (STScI).

### II.1 La magnétosphère terrestre

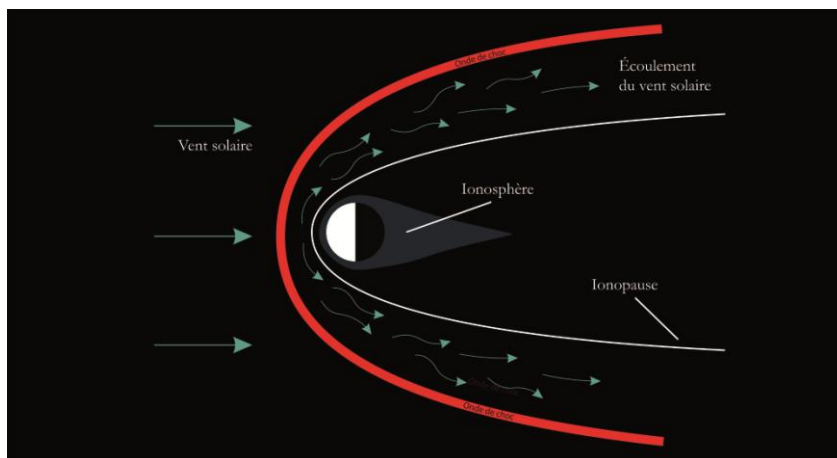
Lorsque le vent solaire rencontre une planète possédant un champ magnétique important, il comprime les lignes de force du champ magnétique de la planète. Elles agissent alors comme une sorte de bouclier qui porte le nom de magnétosphère et protège partiellement la planète des particules énergétiques solaires. Celles qui parviennent à passer subissent l'influence de la magnétosphère, par exemple en formant des aurores polaires.



Crédit : Gérard Bodineau.

## II.2 Environnement d'une planète à atmosphère et à faible champ magnétique

Si une planète n'a pas de champ magnétique notable mais qu'elle est entourée d'une atmosphère comme Vénus ou Mars, cette atmosphère subit alors l'influence du vent solaire. Elle sera comprimée à l'avant de la planète en formant l'ionopause qui isole du vent solaire les couches les plus proches de la planète.



Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

## II.3 Naissance d'un champ magnétique

Les champs magnétiques planétaires trouvent leur origine dans l'effet dynamo. Ils résultent du mouvement ordonné de particules chargées, ions ou électrons. Pour développer un champ magnétique, une planète doit au moins posséder une région interne liquide conductrice d'électricité, et une source d'énergie qui met et maintient cette région en mouvement.



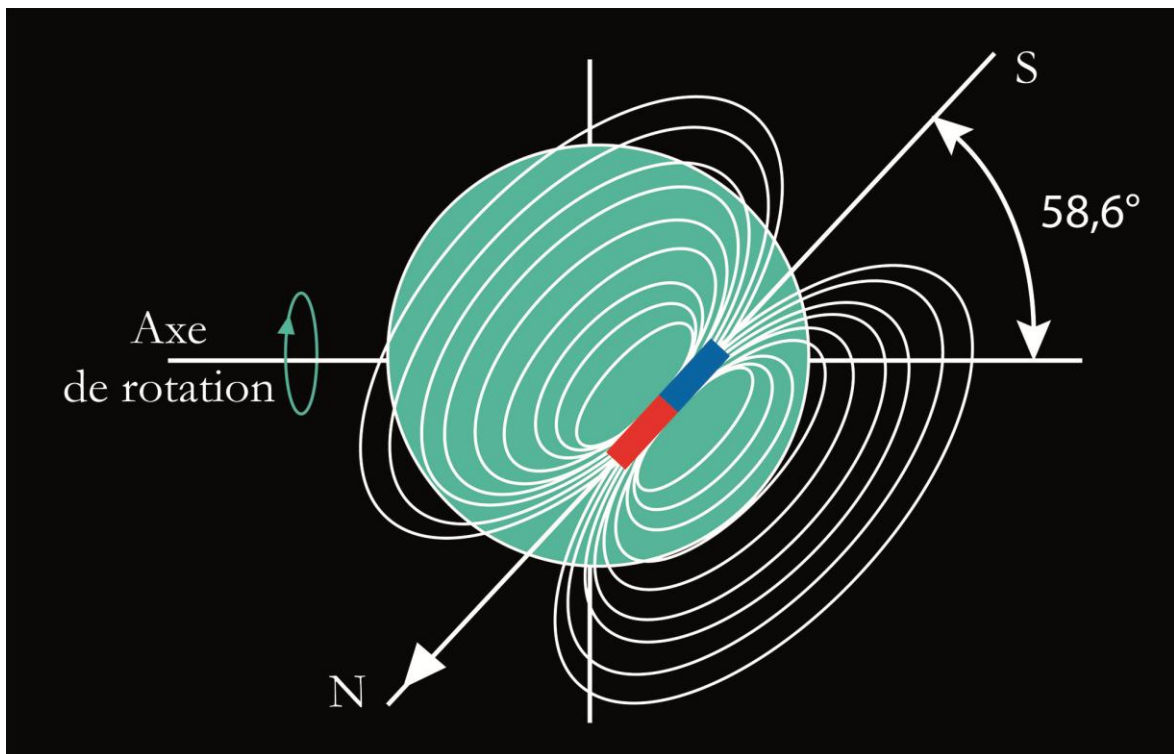
## II.4 Caractéristiques des champs magnétiques planétaires

L'intensité du champ magnétique de Mercure vaut seulement 1 % de celle du champ terrestre. Vénus n'a pas de champ magnétique notable, alors que les quatre planètes géantes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune possèdent un champ magnétique intense. En général, l'axe du champ magnétique d'une planète n'est pas confondu avec son axe de rotation et il ne passe pas par le centre de la planète.

Planète	Terre	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Moment magnétique <sup>1</sup> (Terre = 1)	1	~ 20 000	~ 600	~ 50	~ 25
Inclinaison de l'axe magnétique par rapport à l'axe de rotation	11°	- 9,6°	0°	- 58,6°	- 46,9°
Décalage entre l'axe magnétique et le centre de la planète (exprimé en rayon planétaire)	0,08	0,07	0,04	0,31	0,55
Intensité du champ magnétique à la surface et à l'équateur (10 <sup>-4</sup> tesla)	0,31	4,3	0,22	0,23	0,14

1 : le moment magnétique mesure l'intensité totale du champ magnétique d'une planète.

L'axe du champ magnétique d'Uranus présente la particularité d'être incliné d'environ  $60^\circ$  par rapport à l'axe de rotation de la planète. De plus, il ne passe pas par son centre mais est décalé de près de 10 000 km. Ces faits n'ont pas encore trouvé d'explication satisfaisante.



Le champ magnétique d'Uranus. Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

## II.5 Les aurores polaires

**Description** Les aurores polaires sont des phénomènes lumineux prenant l'allure de voiles colorés dans le ciel nocturne. Elles se déploient à des altitudes comprises entre 60 km et 2 000 km, mais c'est plutôt entre 100 et 150 km qu'on les retrouve en plus grand nombre. Les aurores se produisent généralement dans des régions proches des pôles, dans une zone annulaire située entre  $65^\circ$  et  $75^\circ$  de latitude.

**Mécanisme** Les particules chargées du vent solaire sont captées et canalisées par les lignes du champ magnétique terrestre du côté nuit de la magnétosphère. Accélérées, elles peuvent aboutir dans les cornets polaires. Elles excitent et ionisent alors les atomes et les molécules de la haute atmosphère, qui se dés excitent en émettant de la lumière. La couleur d'une aurore dépend de l'élément excité. Ainsi, la couleur verte, qui est la plus fréquente, est émise par des atomes d'oxygène situés à une altitude d'environ 100 km.



Aurore boréale photographiée en Laponie finlandaise. Crédit : Christophe Pérez.

Grâce à des roches volcaniques, on a montré que le champ magnétique de la Terre s'est inversé une vingtaine de fois lors des cinq derniers millions d'années. Quels sont les mécanismes à l'origine de ces inversions ? Peut-on les prévoir ? Quelles sont les conséquences d'une inversion pour l'environnement ? Pourquoi les axes des champs magnétiques d'Uranus et de Neptune sont-ils aussi inclinés par rapport aux axes de rotation de ces planètes et aussi décalés par rapport à leur centre ? La sonde *Mars Global Surveyor* a détecté sur Mars des champs magnétiques de faible intensité au-dessus des terrains les plus anciens. Ces champs locaux semblent être des vestiges d'un champ global. Quand et pourquoi a-t-il disparu ? De la même façon que le vent solaire crée une magnétosphère autour de la Terre, le vent interstellaire crée autour du Soleil une héliosphère. Quelle est sa forme ? Quelles sont ses dimensions ?



### III La formation du système solaire

C'est grâce à l'étude détaillée de tous les corps du système solaire, à l'analyse des météorites et aux simulations numériques que l'on a pu reconstituer un scénario vraisemblable des premiers âges du système solaire. Il serait né il y a un peu plus de 4,5 milliards d'années, de la contraction sous l'effet de sa propre masse d'un nuage de gaz et de poussières en rotation. En s'effondrant, ce nuage aurait pris la forme d'un disque dont la partie centrale aurait formé le Soleil tandis que les parties extérieures, plus froides et riches en poussières, auraient donné naissance aux planètes et aux satellites. S'il existe encore de nombreuses zones d'ombre dans ce scénario, il est aujourd'hui possible de le confronter à l'observation d'autres systèmes stellaires en formation.



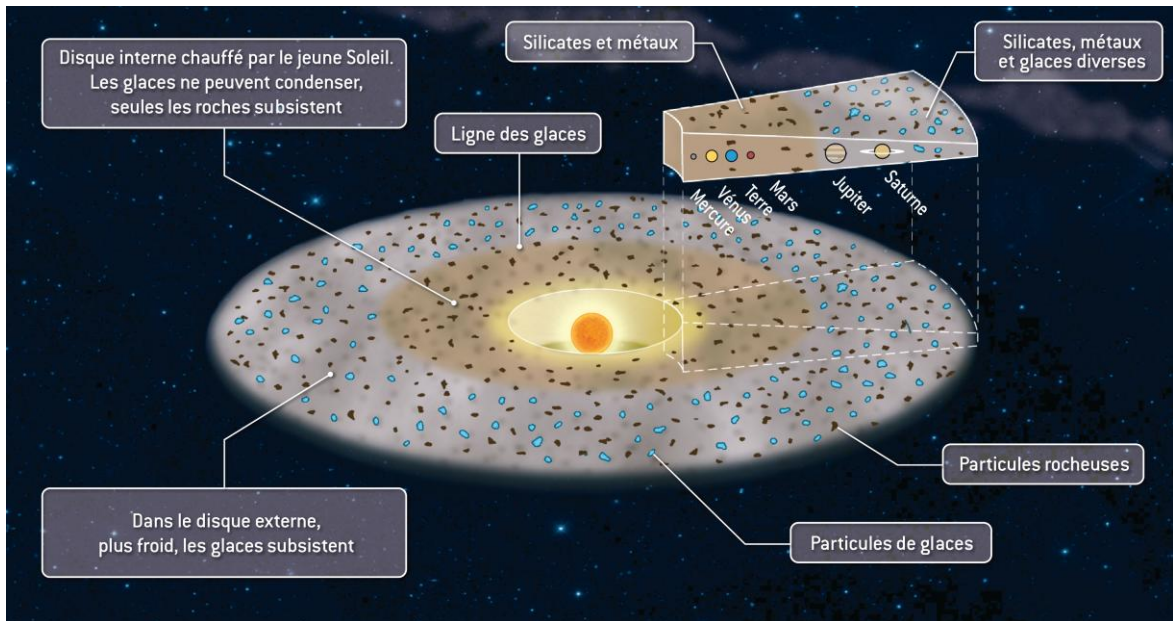
La nébuleuse de l'Aigle, située dans la constellation du Serpent, est un grand nuage de gaz, zone de formation d'étoiles. Crédit : NASA / ESA / STScI / J. Hester et P. Scowen (Université d'État de l'Arizona).

#### III.1 La naissance du Soleil et du disque protoplanétaire

De nombreux nuages de gaz froid existent dans notre Galaxie. Ils sont constitués très majoritairement d'hydrogène et d'hélium. Il y a environ 4,6 milliards d'années, l'un d'eux devient instable, peut-être sous l'effet de l'explosion d'une étoile proche, et s'effondre. Au cours de l'effondrement, la température augmente et le nuage se met à tourner de plus en plus rapidement sur lui-même. Ce mouvement de rotation conduit à l'aplatissement du nuage sous la forme d'un disque de gaz chaud, entourant le proto-Soleil.

##### III.1.1 Stratification chimique et thermique du disque protoplanétaire

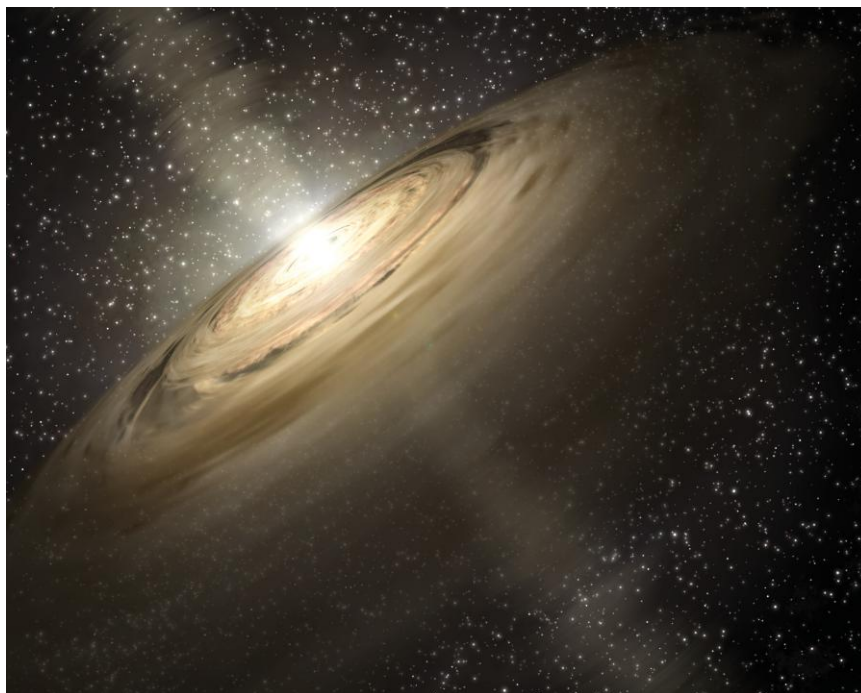
Après sa formation, le disque protoplanétaire se refroidit lentement, permettant ainsi aux gaz de condenser. Près du proto-Soleil, où la température est élevée, seuls les grains les plus réfractaires comme les éléments silicatés, carbonés ou contenant du fer condensent. Plus loin, au-delà de quatre à cinq unités astronomiques, il fait suffisamment froid pour que des glaces se forment (limite des glaces). Cela explique la différence de composition chimique entre les planètes telluriques, proches du Soleil, riches en roches ainsi qu'en métaux, et les planètes géantes, riches en éléments volatils comme l'eau, le méthane et l'ammoniac.



Crédit : Alain Doressoundiram, Emmanuel Lellouch, *Aux confins du système solaire*, "Bibliothèque scientifique", ill. Thomas Haessig, © Belin, 2008.

### III.1.2 Le proto-Soleil et son disque protoplanétaire

Cette vue d'artiste montre que la naissance d'une étoile est souvent associée à l'éjection de matière dans une direction perpendiculaire au plan du disque.



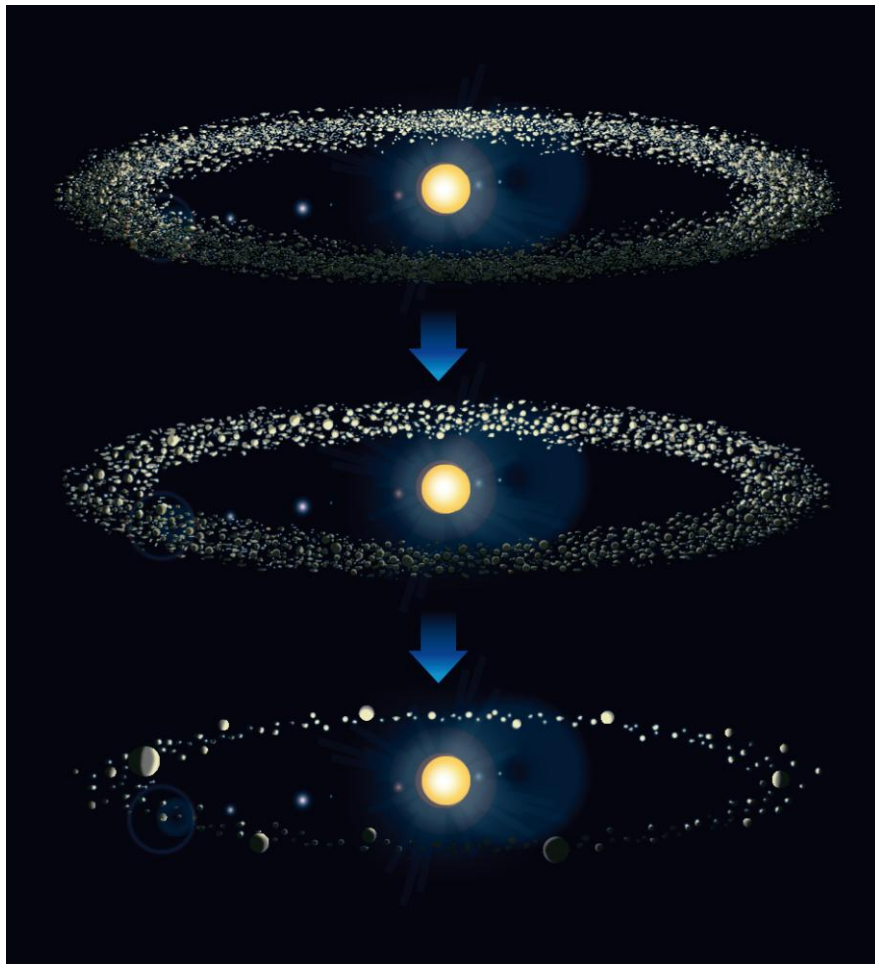
Crédit : NASA / JPL-Caltech / T. Pyle (SSC).

## III.2 Des premiers grains aux planètes

L'étape qui mène des premiers grains condensés à des corps de taille kilométrique (les planétésimaux) est encore mal comprise. Soit ce processus se fait progressivement par collage des grains lors de collisions, soit il se déroule beaucoup plus rapidement par instabilité gravitationnelle dans le disque. Une fois les planétésimaux formés, ils continuent à croître par collisions mutuelles, leur propre gravité les maintenant soudés après l'impact. Ainsi se forment des embryons de planètes de taille lunaire. Dans une dernière phase, des collisions se produisent entre les embryons, qui ne laissent finalement qu'un petit nombre de planètes.

### III.2.1 La croissance des planétésimaux

Cette illustration issue d'une simulation numérique montre comment le processus d'accrétion (c'est-à-dire la capture de matière sous l'effet de la gravitation) se fait de manière sélective. Les corps initialement les plus massifs vont avoir tendance à accréter plus facilement ce qu'il y a autour d'eux. L'emballlement de ce processus est typique d'un « effet boule de neige », les corps les plus gros croissant de plus en plus vite.

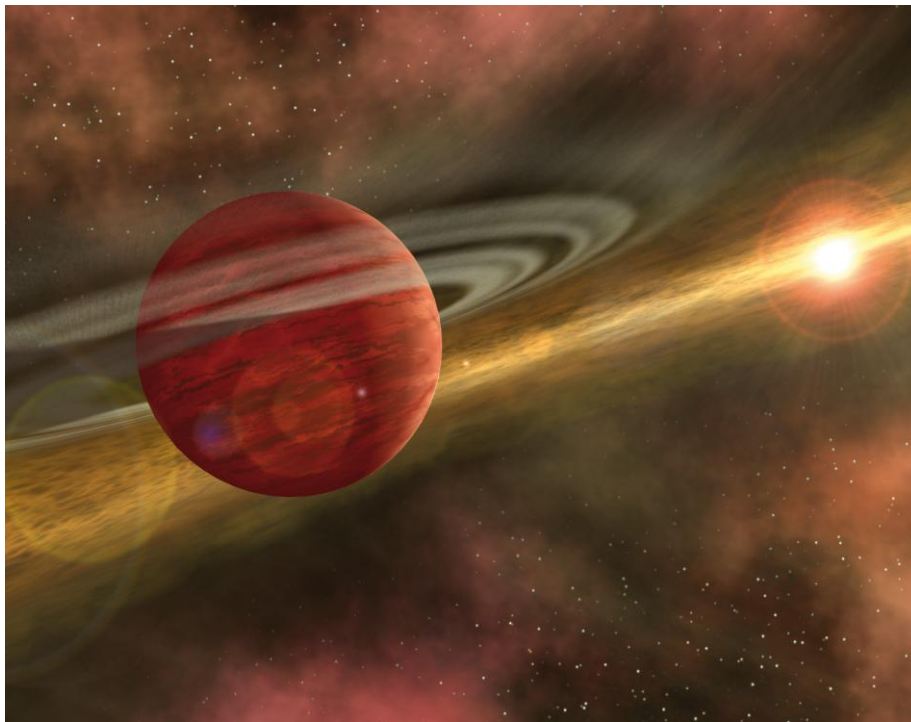


Crédit : Alain Doressoundiram, Emmanuel Lellouch, *Aux confins du système solaire*, "Bibliothèque scientifique", ill. Thomas Haessig, © Belin, 2008.



### III.2.2 La formation des planètes géantes

Les simulations numériques suggèrent que, dans le système solaire externe, les embryons planétaires puissent devenir de 10 à 1 000 fois plus massifs que dans le système solaire interne. En effet, loin du Soleil, la zone d'alimentation d'un embryon est à la fois plus étendue et plus riche en matériau solide (présence des glaces) que près de notre étoile. Ainsi, dans le cas de Jupiter, un embryon de roche et de glace d'une quinzaine de masses terrestres se forme en un million d'années. Avec une telle masse, il accrète progressivement une enveloppe de gaz. Quand la masse du gaz devient comparable à celle de l'embryon, l'accrétion du gaz s'emballé de manière violente. L'embryon s'entoure d'une atmosphère très massive et devient une protoplanète géante.



Crédit : NASA / JPL-Caltech / Robert Hurt (SSC).

### III.2.3 Les pièces du puzzle se mettent en place

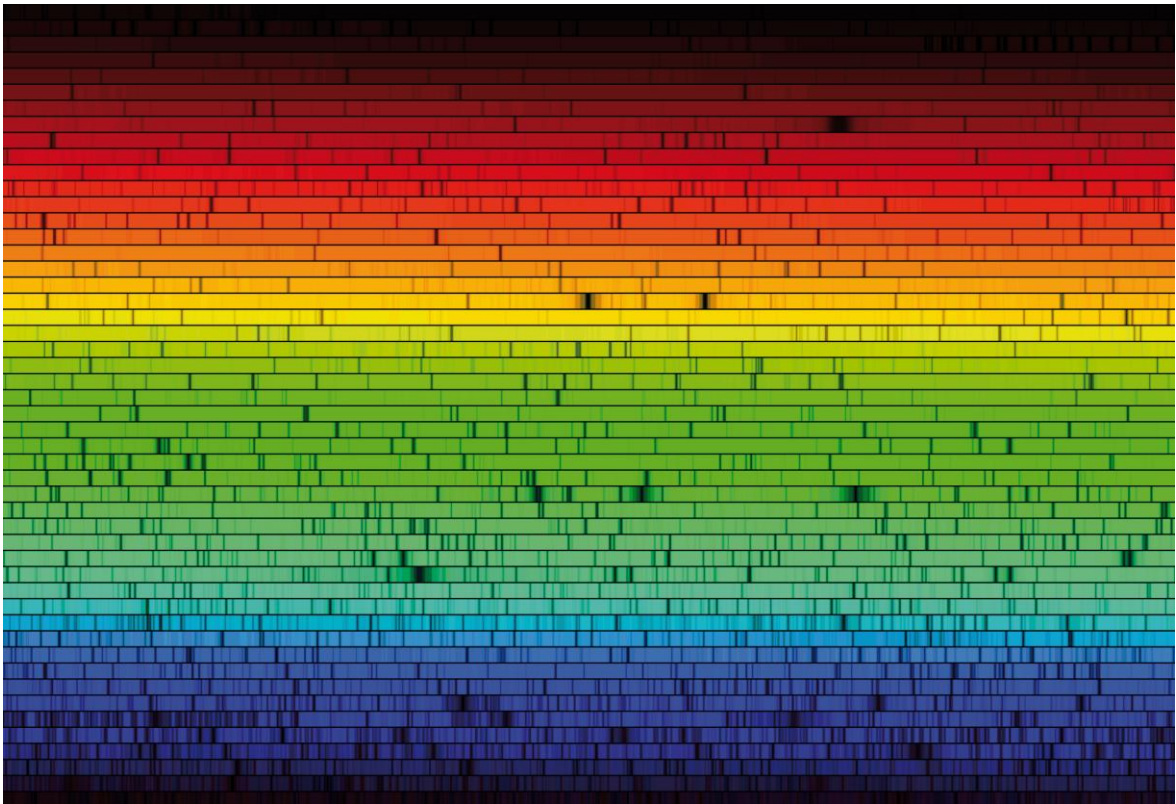
Le déclenchement de réactions nucléaires marque l'accession du Soleil au statut d'étoile. Les observations des disques circumstellaires montrent qu'ils disparaissent en moins de 10 millions d'années, peut-être sous l'action conjointe d'un vent stellaire intense et de la photoévaporation due au rayonnement ultraviolet de l'étoile. La disparition du disque met un terme à la croissance des planètes géantes. Jupiter et Saturne ont alors atteint une masse respective d'environ 300 et 100 masses terrestres. Uranus et Neptune, situées très loin du Soleil, sont beaucoup moins massives (une quinzaine de masses terrestres) et n'ont sans doute pu atteindre la phase d'accrétion violente du gaz avant la dissipation du disque. Les simulations numériques montrent que, près du Soleil, les planètes telluriques atteignent leur taille actuelle en une centaine de millions d'années.

### III.2.4 La migration des planètes géantes

Certains scénarios suggèrent que les planètes géantes ne se soient pas formées à l'endroit où elles se situent aujourd'hui : elles auraient migré jusqu'à leurs positions actuelles. Ainsi, dans le modèle dit de « Nice », les planètes géantes auraient été initialement groupées plus près du Soleil. Jupiter se serait ensuite déplacé légèrement vers l'intérieur tandis que la migration des trois autres planètes vers l'extérieur aurait donné lieu à des phénomènes dynamiques violents et chaotiques, créant au passage la ceinture de Kuiper ainsi que le « grand bombardement tardif », il y a entre 4,1 et 3,8 milliards d'années, ayant par exemple laissé de nombreux cratères d'impact sur la Lune.

De nombreux points restent obscurs dans ce scénario. Comment le passage de grains de taille millimétrique à des planétésimaux de taille kilométrique s'est-il effectué ? Jusqu'à quel point le scénario de formation du système solaire peut-il s'appliquer aux systèmes exoplanétaires ?

## IV Les méthodes en planétologie

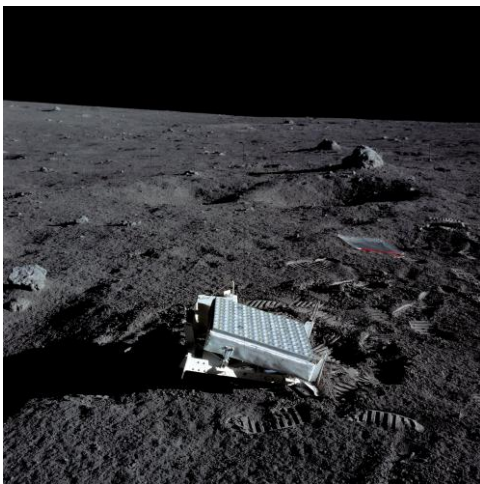


Le spectre du Soleil. Crédit : N. A. Sharp / NOAO / NSO / Kitt Peak FTS / AURA / NSF.

## IV.1 Comment mesurer les distances dans le système solaire ?

Les déterminations les plus précises des distances sont obtenues en mesurant le temps mis par un signal radar allant à la vitesse de la lumière pour faire un aller-retour entre l'émetteur et l'objet dont on souhaite mesurer la distance. Dans le cas de la distance Terre-Lune, on a pu remplacer le radar par un faisceau laser, qui se réfléchit sur des réflecteurs déposés par les sondes soviétiques *Lunokhod 1* et 2 et par les astronautes des missions américaines Apollo 11, 14 et 15. La vitesse de propagation de la lumière étant connue, on en déduit la distance Terre-Lune avec une précision inférieure au centimètre.

Le réflecteur déposé sur la surface lunaire par les astronautes de la mission *Apollo 14*. Grâce à ce type de réflecteurs, on vérifie que la Lune s'éloigne de la Terre de 3,8 cm par an en moyenne.



Crédit : NASA.

Le télescope de 3,5 m de l'observatoire d'Apache Point (Nouveau-Mexique, États-Unis) accueille un laser dont le but est de mesurer la distance Terre-Lune.



Crédit : Dan Long.

## IV.2 Comment calculer la masse d'une planète ?

La 3<sup>e</sup> loi de Kepler nous dit que le cube du demi-grand axe  $a$  de l'ellipse décrite par une planète autour du Soleil, divisé par le carré de sa période de révolution  $T$ , est une constante pour toutes les planètes.

Mathématiquement, cette 3<sup>e</sup> loi de Kepler s'écrit en première approximation :

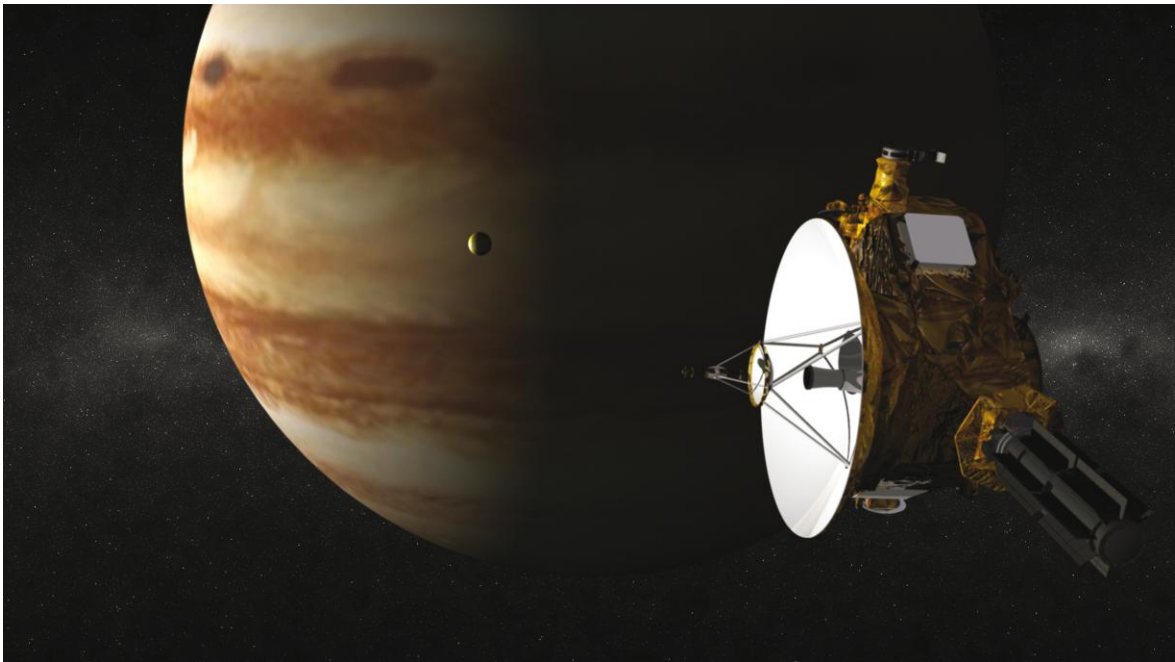
$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$  où  $a$  est le demi-grand axe de l'ellipse,  $T$  la période de révolution,  $G$  la constante gravitationnelle et  $M$  la masse du corps central.

À l'aide de cette relation, on peut calculer :

- la masse du Soleil, en observant le mouvement de ses planètes ;
- la masse d'une planète, en observant le mouvement de ses satellites.

Les masses de Mercure et de Vénus (planètes dénuées de satellites) ainsi que celles de satellites planétaires peuvent être estimées à partir des perturbations exercées sur les objets voisins, mais le résultat est peu précis. Une détermination rigoureuse des masses a été obtenue grâce à l'observation du passage de sondes spatiales à proximité de ces corps, qui jouent alors le rôle de satellites artificiels.

Vue d'artiste de la sonde américaine New Horizons survolant Jupiter le 28 février 2007. Se servant du champ gravitationnel de planète géante comme d'une fronde, elle fut catapultée vers Pluton qu'elle atteindra en juillet 2015.



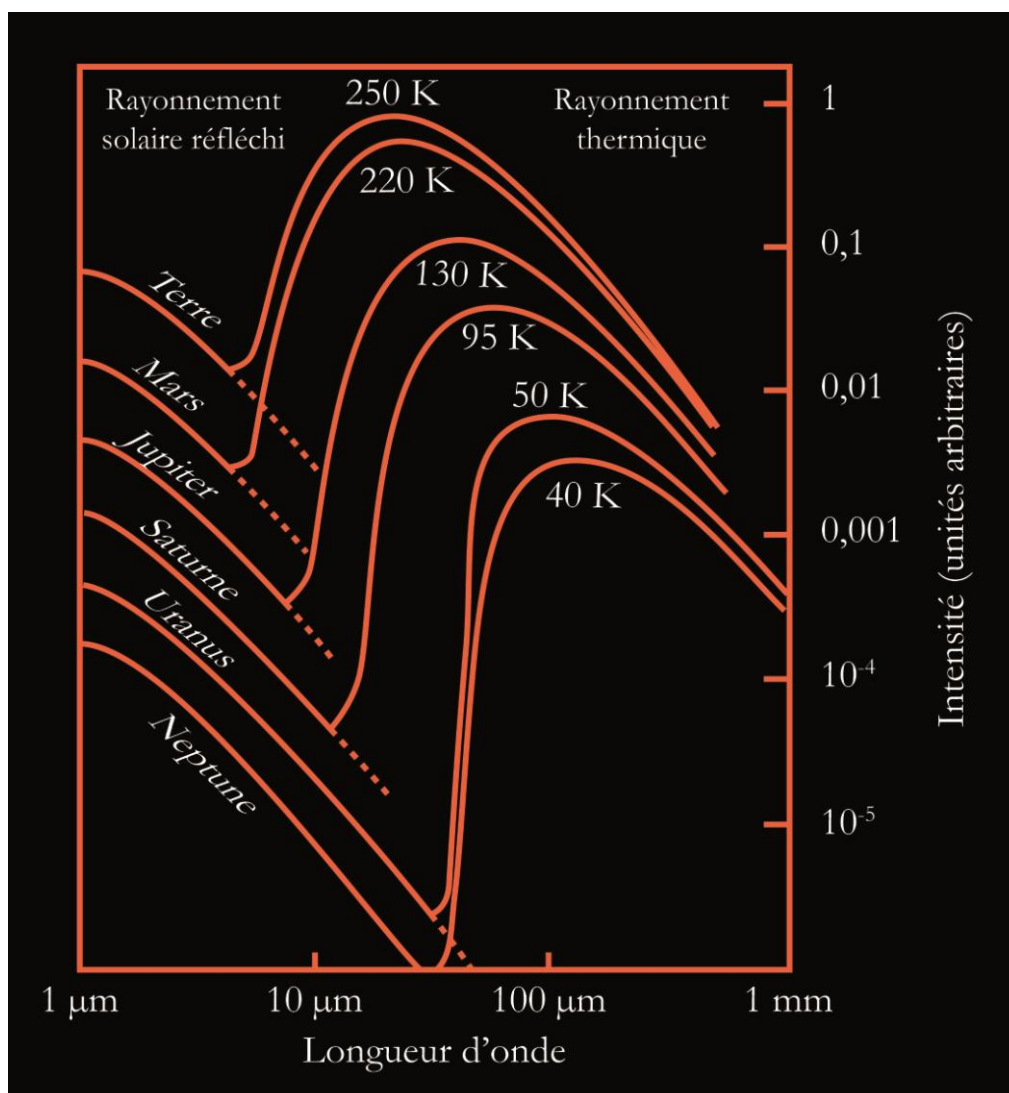
Crédit : Laboratoire de Physique Appliquée de l'Université Johns Hopkins / Southwest Research Institute.



### IV.3 Comment établir à distance la température et la composition chimique d'une planète ?

La spectroscopie est un outil utilisé dans des domaines scientifiques très variés. En analysant les spectres des planètes, les astronomes déterminent à distance leur composition chimique et les conditions physiques régnant à leur surface ou dans leur atmosphère.

Si les objets du système solaire sont visibles dans le domaine optique, c'est parce qu'ils réfléchissent la lumière du Soleil. En fonction de leur température, ils émettent aussi un rayonnement thermique qui domine aux grandes longueurs d'onde. On montre que la température d'un objet est inversement proportionnelle à la longueur d'onde du maximum d'émission de son rayonnement thermique.

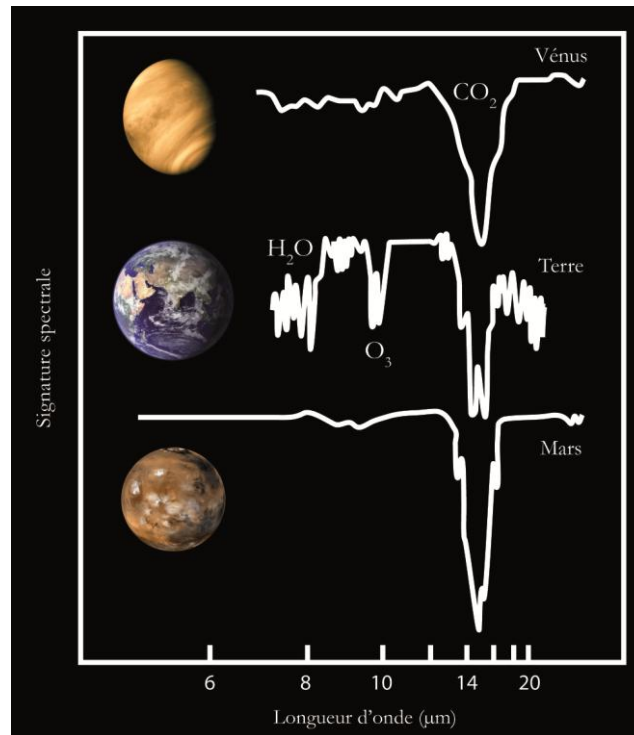


Le rayonnement des planètes entre 1 μm et 1000 μm (composante solaire réfléchi et composante thermique). D'après *Le système solaire*, Éditions du CNRS, 2003.

Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

Les constituants gazeux présentent des signatures à des longueurs d'onde caractéristiques dans la composante thermique du spectre, qui permettent leur identification : ce sont les raies spectrales, que l'on peut trouver en absorption ou en émission. Leurs intensités relatives et leurs largeurs fournissent des informations sur la température et la pression du milieu gazeux.

Dans le cas d'un corps solide, le spectre de la lumière solaire réfléchi peut présenter des bandes d'absorption très larges, caractéristiques de la minéralogie de la surface de l'objet.



Spectres comparés de Vénus, de la Terre et de Mars dans l'infrarouge thermique. Seule la Terre présente des raies d'absorption importantes dues à la vapeur d'eau et à l'ozone.

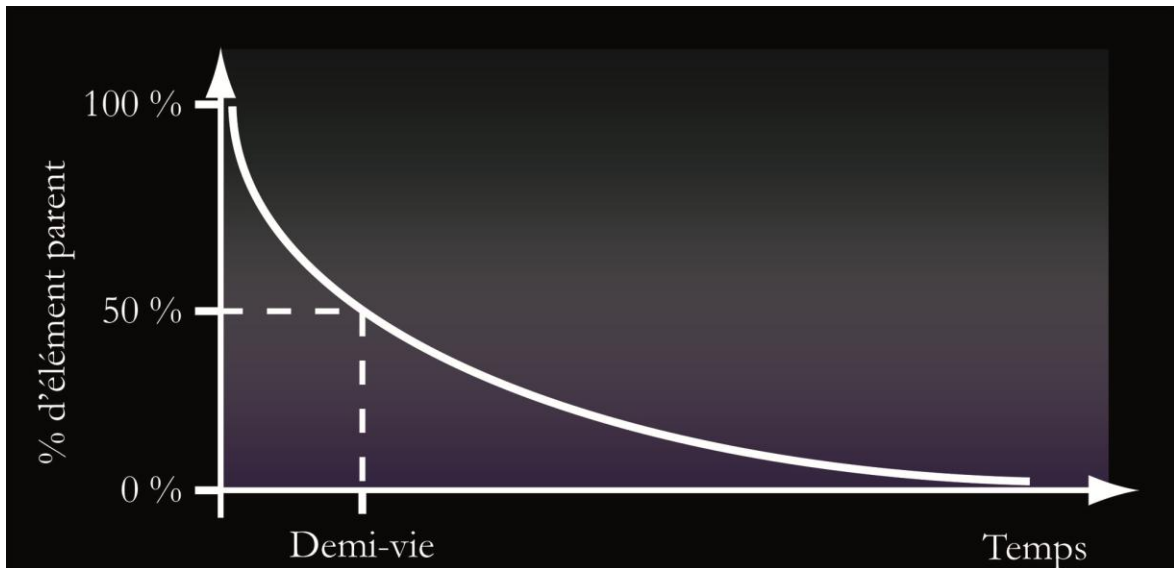
Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

## IV.4 Comment évaluer l'âge d'une roche ou d'un terrain ?

### IV.4.1 Datation absolue par désintégrations radioactives

Certains éléments sont naturellement radioactifs. Instables, ils se désintègrent spontanément. Un élément « parent » se transforme en un élément « fils », qui peut être un nouvel élément, plus léger, ou bien un isotope du parent. Cette réaction de désintégration se produit selon une constante de temps caractéristique, indépendante des facteurs extérieurs. Ainsi, en mesurant la concentration en éléments parents et fils dans une roche, on peut calculer depuis combien de temps la réaction est active, et donc l'âge absolu de formation des minéraux de cette roche. Pour étudier les roches terrestres, les échantillons lunaires et les météorites, les géologues utilisent principalement les couples uranium/plomb ( $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ ), rubidium/strontium ( $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ ) et potassium/argon ( $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ ).

La réaction de désintégration d'un élément radioactif suit une courbe décroissante en exponentielle. La mesure de la proportion élément parent/élément fils dans un minéral permet de le positionner sur cette courbe et de déduire l'âge de sa formation.

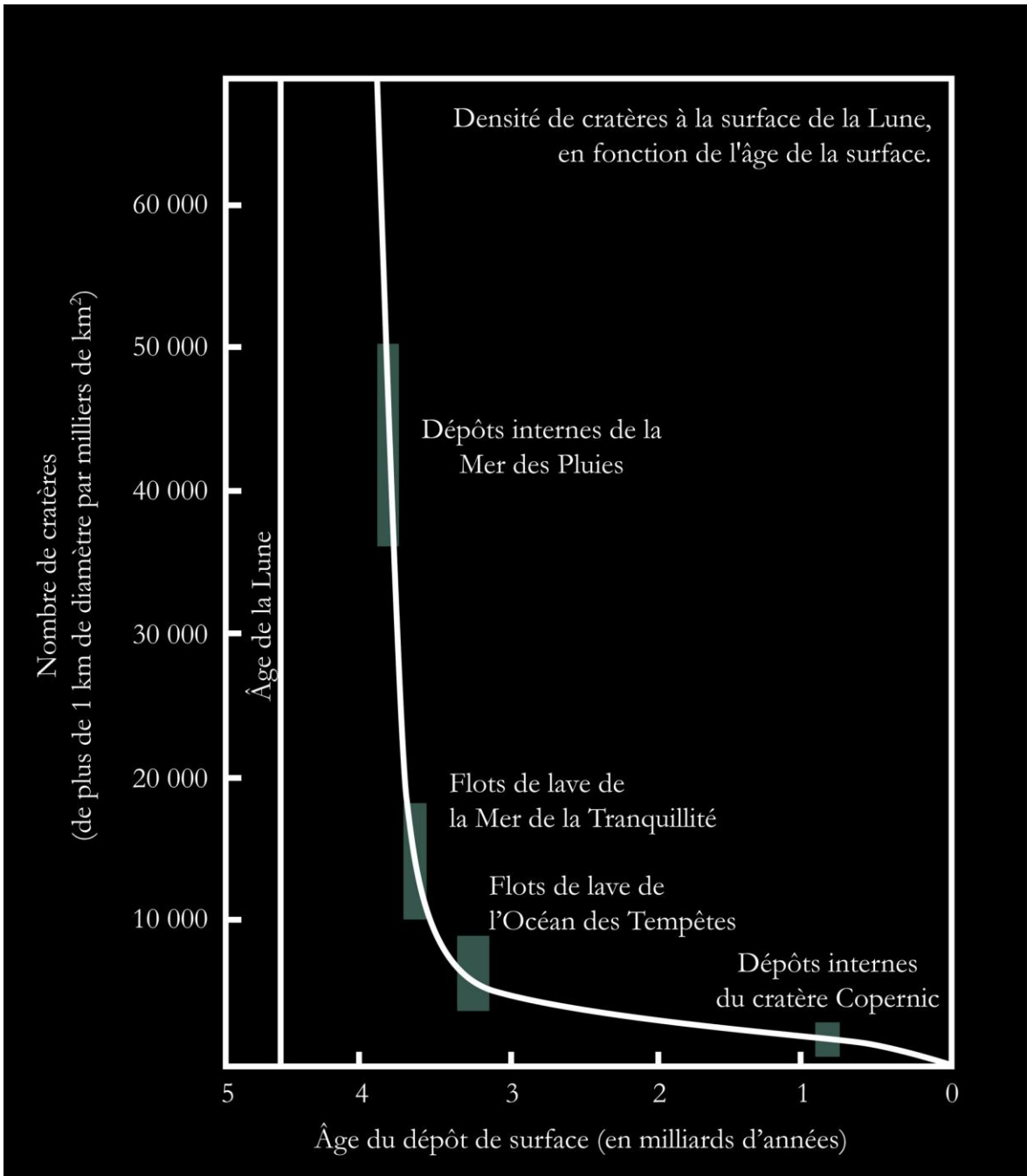


Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).

#### IV.4.2 La datation relative

Les cratères sont de bons indicateurs de l'âge d'une surface planétaire. En effet, depuis les missions Apollo et les datations absolues des échantillons lunaires rapportés, on sait que plus une surface présente de cratères d'impact, plus elle est vieille et que plus les cratères sont gros, plus ils sont vieux. On peut ainsi essayer de dater la surface des planètes telluriques et des satellites par étude de leur cratérisation.

Toutefois, l'activité géologique et l'érosion rendent les datations hautement incertaines car elles peuvent remodeler profondément les surfaces et effacer les traces du passé. De ce fait, l'étude des cratères ne suffit plus dans le cas de Mars : pour définir la chronologie précise de son histoire, il faudra attendre un retour d'échantillons de pierres martiennes afin de calibrer les datations de manière absolue.



D'après *Le système solaire*, Éditions du CNRS, 2003. Crédit : Marc Goutaudier (Palais de la découverte).