

Connaître les planètes pour mieux connaître la Terre

D'après http://media4.obspm.fr/public/AMC/pages_planetologie/prerequis-resume-planetologie.html

Nous avons déjà parlé des planètes (fiche « Le système solaire : unis par la gravitation ») en évoquant leurs paramètres orbitaux. Nous allons à présent comparer leurs propriétés physiques et chimiques, précisées par de nombreuses missions depuis le début de l'ère spatiale, afin de mieux comprendre les caractéristiques de notre propre planète, la Terre. En effet, les corps du système solaire présentent une remarquable diversité. Comparer la Terre avec des corps plus gros ou plus petits, plus chauds ou plus froids, plus ou moins denses, de composition différente... nous apprend beaucoup sur le rôle de chaque paramètre dans l'état et le fonctionnement actuels de notre planète. Ce « laboratoire naturel » est la planétologie comparée.

Pour commencer, qu'appelle-t-on « planète » ? Il y a de nombreux corps dans le système solaire (voir la fiche « Planètes naines, comètes, astéroïdes »), mais seuls huit reçoivent le nom de planète. L'union astronomique internationale, en 2006, a fixé une définition rigoureuse : une planète est un corps céleste qui :

- est en orbite autour du Soleil (ce qui exclut donc les satellites)
- a une masse suffisante pour que son attraction propre l'emporte sur ses forces de cohésion interne, de telle manière qu'il soit en équilibre hydrostatique : en d'autres termes, une planète doit être pratiquement sphérique !
- a « nettoyé » le voisinage de son orbite : autrement dit, tout corps passant au voisinage est soit capturé, soit chassé, soit placé en résonance. Il n'existe pas d'autre corps semblable se déplaçant sur une orbite voisine.

Nous verrons dans la fiche « Planètes naines, comètes, astéroïdes » ce qu'il en est des corps qui ne remplissent pas l'une ou l'autre de ces conditions.

Il y a planète et planète

Comment connaît-on les caractéristiques des planètes ? Nous avons vu (dans la fiche « Système solaire ») que la connaissance de la période synodique des planètes (temps de retour de la même configuration planète-Soleil-Terre, facile à mesurer !) nous donne leur période sidérale : en appliquant la troisième loi de Kepler, on obtient alors le demi-grand axe de leur orbite, et par conséquent leur distance de la Terre. Par ailleurs, au télescope, les planètes ont l'aspect d'un disque : connaissant leur distance et leur diamètre apparent, on calcule leur diamètre réel. Les missions spatiales ont par la suite précisé les choses.

La troisième loi de Kepler permet également de calculer la masse des planètes ! Prenons l'exemple de Jupiter : cette planète géante possède des satellites, découverts par Galilée. En orbite autour de Jupiter, ils suivent les lois de Kepler. L'écriture généralisée de la troisième loi de Kepler fait apparaître la somme de la masse des deux corps au dénominateur : $p^2 = (4\pi^2 / G(M_{\text{satellite}} + M_{\text{Jupiter}})) a^3$; or la masse du satellite est négligeable devant celle de Jupiter. Connaissant le demi-grand axe a de l'orbite du satellite et sa période orbitale p , on trouve M_{Jupiter} . La mise en orbite de sondes spatiales a là aussi permis d'affiner les résultats.

Connaissant le rayon des planètes et leur masse, on trouve leur densité. Ces valeurs sont données dans le tableau ci-dessous, que vous retrouverez sur le site de l'observatoire dans une [version interactive](#) : amusez-vous à comparer les différentes caractéristiques des planètes dans cette feuille de calcul. La lecture des propriétés physiques des planètes (rayon, masse et densité) permet de distinguer deux classes de planètes :

- **Les planètes telluriques** : Mercure, Vénus, la Terre, Mars. Ces planètes sont *petites, peu massives et denses*. L'archétype de cette classe est la planète Terre qui en est d'ailleurs le plus gros représentant.
- **Les planètes géantes** : Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune. Ces planètes sont *grandes, massives et peu denses*. Cette faible densité se traduit par un petit noyau dense, entouré d'une épaisse couche gazeuse, donnant à ces planètes le nom de « géantes gazeuses ». Ainsi Jupiter, la plus grosse planète du Système solaire, fait 318 fois la masse de la Terre avec une densité de seulement 1,33. En se rappelant que l'eau a une densité de 1, on voit que Saturne, avec une masse de 95 masses terrestres pour une densité de 0,69 devrait flotter sur l'eau si l'on trouvait un océan assez grand pour la contenir ! Les planètes géantes se distinguent également par des périodes de rotation d'une dizaine d'heures alors que les planètes telluriques montrent une belle cacophonie de rotations : d'un jour pour la Terre et Mars à 243 jours pour Vénus !

Nom	Distance moyenne au Soleil (en UA)	Période sidérale (en années terrestres)	Période synodique (en jours terrestres)	Excentricité	Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique	Inclinaison de l'équateur sur le plan de l'orbite	Période de rotation sidérale	Diamètre équatorial (en km)	Masse (en masse terrestre)	Densité
Mercure	0,387	0,240	115,9	0,2056	7°00'	0,0°	58,646 j	4 878	0,099	5,43
Vénus	0,723	0,615	583,9	0,0068	3°23'	177,3°	243,01 j R	12 104	0,82	5,24
Terre	1	1	-	0,0167	0°00'	23,45°	23h 56mn	12 796	1	5,52
Mars	1,524	1,881	779,9	0,0934	1°51'	25,19°	24h 37mn	6 794	0,11	3,94
Jupiter	5,203	11,862	398,9	0,0483	1°18'	3,12°	9h 50mn	142 894	318	1,33
Saturne	9,539	29,457	378,1	0,0553	2°29'	26,73°	10h 40mn	120 536	94	0,69
Uranus	19,191	84,7	369,7	0,0461	0°48'	97,86°	17h 14mn	51 118	15	1,30
Neptune	30,061	164,81	367,5	0,0096	1°46'	29,56°	16h 03mn	50 538	17	1,76

Source : *Sciences de la Terre et de l'Univers*, sous la direction de J.-Y. Daniel, éditions Vuibert

Promenade parmi les planètes telluriques

Dans cette partie, nous allons découvrir les propriétés étonnantes et variées des quatre planètes telluriques : Mercure, Vénus, la Terre et Mars.

• Mercure

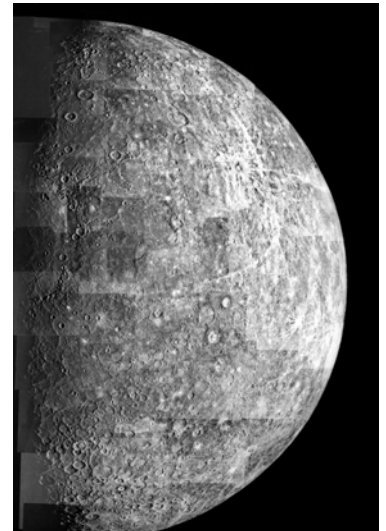
C'est la plus proche du Soleil et la plus petite des planètes telluriques. Son orbite très excentrique la mène au plus près à 46 millions de km du Soleil (périhélie) et au plus loin à 70 millions de km (aphélie). Comme la Lune, Mercure n'a pas d'atmosphère. A sa surface, vous seriez plongés dans l'obscurité de l'espace. En effet, c'est la diffusion de la lumière solaire par les particules de l'atmosphère qui est responsable du bleu du ciel sur Terre. L'atmosphère

terrestre retient également la chaleur. Sur Mercure, en l'absence d'atmosphère, les variations de température sont très fortes, de 430°C le jour à -170°C la nuit.

Mercure est trop proche du Soleil (élongation maximale de 27°) pour que sa surface puisse être observée depuis la Terre. Il a fallu attendre la mission Mariner 10 pour obtenir les premières images de sa surface en 1974-1975. Ces images révèlent une surface criblée de cratères de toutes tailles, comme celle de la Lune.

En résumé :

- Pas d'atmosphère
- Surface rocheuse (basalte) sans activité volcanique présente
- Surface couverte de cratères (comme la Lune)
- Faible champ magnétique



Mercure vue par Mariner 10.
Crédit : NASA

• Vénus

Troisième objet le plus brillant du ciel (après le Soleil et la Lune), Vénus est *l'étoile du berger* qui a toujours fait rêver l'homme au lever comme au coucher du Soleil. On l'a longtemps nommée la sœur jumelle de la Terre à cause de sa taille et de sa masse très comparables à celles de notre planète.

Mais en fait, Vénus, c'est plutôt l'anti-Terre : la température au sol est prodigieusement élevée (730 K, soit 450 °C). On est écrasé par une pression au sol de 90 fois la pression atmosphérique terrestre. L'atmosphère irrespirable (96% de CO₂, pas d'O₂) est si dense qu'elle absorbe la lumière du Soleil. Pour terminer ce tableau apocalyptique, il y a des pluies sur Vénus, mais des pluies d'acide sulfurique (H₂SO₄). C'est un moindre mal car les pluies se vaporisent avant même d'arriver au sol ! Les vents au sol sont très faibles, sans doute à cause de la rotation extrêmement lente de la planète sur elle-même, la plus lente du système solaire : un jour sidéral vénusien (243 jours terrestres) dure plus longtemps qu'une année vénusienne (224,7 jours) ! Dernière bizarrerie, Vénus tourne sur elle-même en sens inverse des autres planètes !

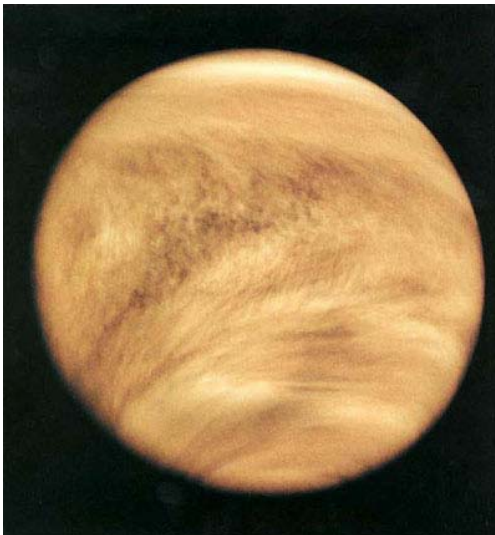


Image en fausses couleurs prise par la sonde Mariner 10 en 1974. La structure nuageuse très dense empêche de voir la surface. Crédit : NASA

L'atmosphère épaisse de Vénus est opaque, mais transparente aux ondes radio. La sonde Magellan, grâce à son radar, a cartographié la surface ; elle a révélé la présence de cratères d'impact peu nombreux, dont aucun plus petit que 1-2 km : les petits météores brûlent dans l'atmosphère avant d'atteindre le sol. Quant à la rareté des grands cratères par rapport à Mercure, elle témoigne d'une planète active, au moins dans le passé : les coulées de très nombreux volcans ont remodelé la surface vénusienne. On pense que des volcans sont encore actifs, mais on n'en a pas de preuve directe.

En résumé

- Présence d'une atmosphère épaisse et nuageuse
- Surface rocheuse avec peu de cratères (500 Ma)
- Activité volcanique passée intense ; peut être présente ?
- Pas de champ magnétique

• La Terre

Elle fait bien sûr l'objet de nombreuses autres fiches, nous n'en parlerons donc pas, sinon par comparaison. Cette simple image suffit déjà pour voir ce qui la distingue ! Contentons-nous du résumé :

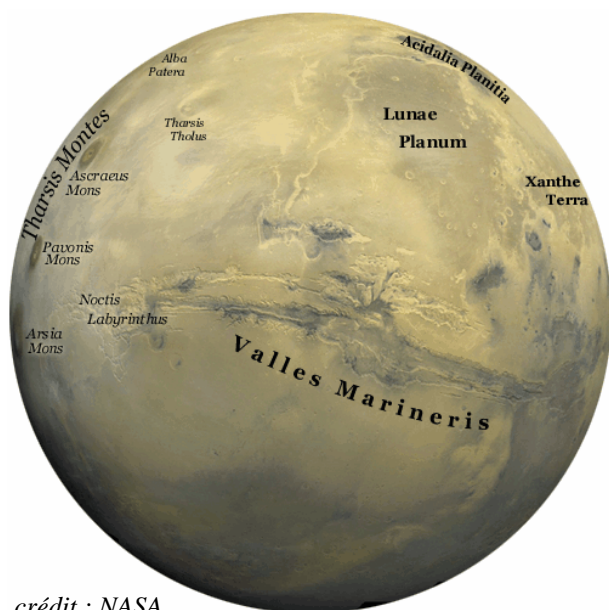
- Présence d'une atmosphère
- Eau liquide à la surface (seul corps du système solaire !)
- Surface rocheuse avec très peu de cratères
- Activité volcanique et tectonique
- Champ magnétique intense



Vue d'Apollo 17. crédit : NASA

• Mars

C'est la « planète rouge », ainsi nommée du fait de la présence de fer oxydé à sa surface. C'est la plus « hospitalière » des planètes telluriques. Avec un jour et une inclinaison sur le plan orbital sensiblement égaux à ceux de la Terre, Mars présente des saisons comparables aux saisons terrestres, mais plus marquées à cause de la forte excentricité de l'orbite. Certes, il fait plus froid que sur Terre : du fait de l'éloignement plus grand du Soleil, Mars reçoit 57% d'énergie en moins, et l'atmosphère peu dense ne permet pas un effet de serre conséquent comme sur Terre. La température peut chuter à -140° (notamment aux pôles, ornés de deux calottes polaires formées de glace d' H_2O et de glace de CO_2), mais peut approcher $20^{\circ}C$ en plein été aux basses latitudes.



crédit : NASA

Relativisons toutefois ce caractère hospitalier : majoritairement composée de CO_2 comme celle de Vénus, l'atmosphère de Mars est beaucoup moins dense : la pression atmosphérique au sol, 100 fois plus faible que sur Terre, imposerait le port d'un scaphandre. Température et pression sont même incompatibles avec la présence d'eau liquide. Le fait de voir des lits asséchés sur Mars indique toutefois que de l'eau liquide a pu couler à la surface dans le passé. En outre, le caractère ténu de l'atmosphère et l'absence de champ magnétique exposeraient le colon martien aux rayons cosmiques, aux ultraviolets et aux particules du vent solaire (voir la fiche « Activité solaire »).

La surface de Mars présente relativement peu de cratères d'impact, mais elle comporte de nombreux volcans, dont le plus grand du système solaire, Olympus Mons : avec ses 25 km de haut et 700 km de diamètre, il ressemble aux volcans-boucliers hawaïens, trois fois plus petits. On remarque également un immense canyon, Valles Marineris.

En résumé :

- Présence d'une atmosphère ténue, présence de quelques nuages d'eau et de glace d'eau
- Surface rocheuse avec relativement peu de cratères
- Activité volcanique il y a 500 millions d'années, peut-être encore plus récemment
- Pas de champ magnétique

Géologie comparée

Les quatre planètes telluriques - Mercure, Vénus, la Terre, Mars - ont été a priori formées dans le même moule, à partir de la **nébuleuse primitive** (voir la fiche « La formation du système solaire »). Pourtant, nous venons de voir que leurs surfaces présentent une grande diversité géologique. Par exemple, la surface de Mercure est criblée de cratères. Vénus, elle, a un relief perturbé fait de plaines volcaniques et de volcans. Mars, malgré sa taille intermédiaire, abrite les plus grands volcans du Système Solaire et est la seule planète avec la Terre où le ruissellement de l'eau a modelé la surface. Enfin, la Terre a un relief reprenant un peu toutes les caractéristiques vues sur les autres surfaces planétaires avec en plus, et c'est loin d'être anodin, une biosphère ! Comment expliquer de telles différences ?

- **Cratères : un peu, beaucoup, passionnément**

Partons des cratères d'impact : pourquoi Mercure et la Lune en présentent-elles autant, et la Terre, si peu ? La Terre serait-elle sur une orbite à l'abri des impacteurs ? A l'évidence, notre planète a été exposée au même flux de bolides de toute taille que sa proche voisine la Lune. Serait-ce alors la présence d'une atmosphère protectrice ? Elle peut expliquer la rareté des petits cratères, mais l'atmosphère terrestre ne suffirait pas à arrêter les météorites de grande taille ; et d'ailleurs Vénus, dont l'atmosphère est 100 fois plus dense que celle de la Terre, a une surface plus cratérisée. Mais alors, si la Terre a subi un intense bombardement, où sont les cicatrices ? Moins de 200 cratères d'impacts ont été identifiés, la plupart méconnaissables. **C'est donc que les traces d'impacts sont effacées sur notre planète.** Une première explication renvoie à la particularité majeure de notre planète : **la présence d'eau liquide, agent d'érosion, avec le vent.** Toutefois, cette explication ne permet pas d'expliquer la rareté des cratères à la surface de Vénus, où l'eau n'a pas coulé depuis très longtemps et où les vents sont peu violents. Un autre facteur d'effacement des impacts, à plus long terme, est donc **l'activité interne** de la planète : les coulées de lave émises par les volcans, qui recouvrent les reliefs plus anciens, et, sur Terre, le recyclage de la lithosphère par subduction, dans le cadre de la tectonique des plaques (sur Vénus aussi, on pense que la croûte serait régulièrement renouvelée, mais par un mécanisme différent).

Cette conclusion soulève toutefois une nouvelle question : pourquoi la Terre possède-t-elle encore une activité interne à l'heure actuelle, et non Mercure ou la Lune ? Pourquoi le volcanisme martien s'est-il éteint il y a 500 millions d'années, et celui de la Lune, il y a 3 milliards d'années ? Il faut remonter à la formation des planètes par **accrétion** (voir la fiche « Formation du système solaire »). L'énergie cinétique ($mv^2/2$) des planétésimaux « accrétés » (agglomérés) est alors convertie en chaleur. En outre, de la chaleur est également libérée par la **différenciation** à l'œuvre à l'intérieur de la planète : sous l'effet de la gravitation, les matériaux les plus denses (les métaux) *coulent* dans le noyau de la planète alors que les roches les plus légères restent à la surface. Ce phénomène produit de la chaleur en transformant l'énergie gravitationnelle en énergie thermique. Une troisième source de chaleur est la **radioactivité**, les éléments radioactifs étaient plus abondants aux débuts du système solaire. Les jeunes planètes étaient donc très chaudes. Elles se refroidissent par leur surface et l'on a donc un flux de chaleur de l'intérieur de la planète vers l'extérieur. Le volcanisme et la tectonique des plaques sont des modalités de cette évacuation de la chaleur interne, qui est également dissipée par le flux géothermique. Or le refroidissement est proportionnel à la surface de la planète (surface d'une sphère : $4\pi R^2$) tandis que la chaleur interne est proportionnelle au volume de la planète (volume d'une sphère : $4\pi R^3/3$) : **plus une planète est grosse, plus son rapport surface/volume est faible et plus son refroidissement est lent.** Les grosses planètes resteront chaudes longtemps, tout comme une grosse pomme de terre restera chaude plus longtemps que les petites. **La taille est donc le facteur ultime qui**

détermine la durée pendant laquelle la planète restera active. La Terre, la plus grande des planètes telluriques, est encore active, la source principale de chaleur interne étant désormais la radioactivité. C'est aussi parce qu'elle s'est refroidie moins vite que la Terre a conservé un noyau externe de fer liquide animé de forts mouvements de convection, source de son champ magnétique intense.

- **Les atmosphères planétaires**

L'atmosphère des planètes telluriques est le mélange de gaz maintenu à leur surface par l'attraction gravitationnelle. On caractérise ces atmosphères par leur température, leur composition, la présence de nuages et leur météorologie. Les atmosphères des planètes telluriques, diverses comme on l'a vu, ont connu des histoires différentes, et là encore, l'approche « planétologie comparée » est riche d'enseignements.

Tout d'abord, deux planètes ont une température de surface supérieure à la température d'équilibre attendue d'après le rayonnement solaire reçu (voir la fiche « Rayonnement solaire ») grâce à un effet de serre : sur la Terre, l'effet de serre a permis le développement de la vie, tandis que sur Vénus, il s'est emballé

(à suivre)

Promenade parmi les planètes géantes

- Anneaux
- Satellites

(à venir)