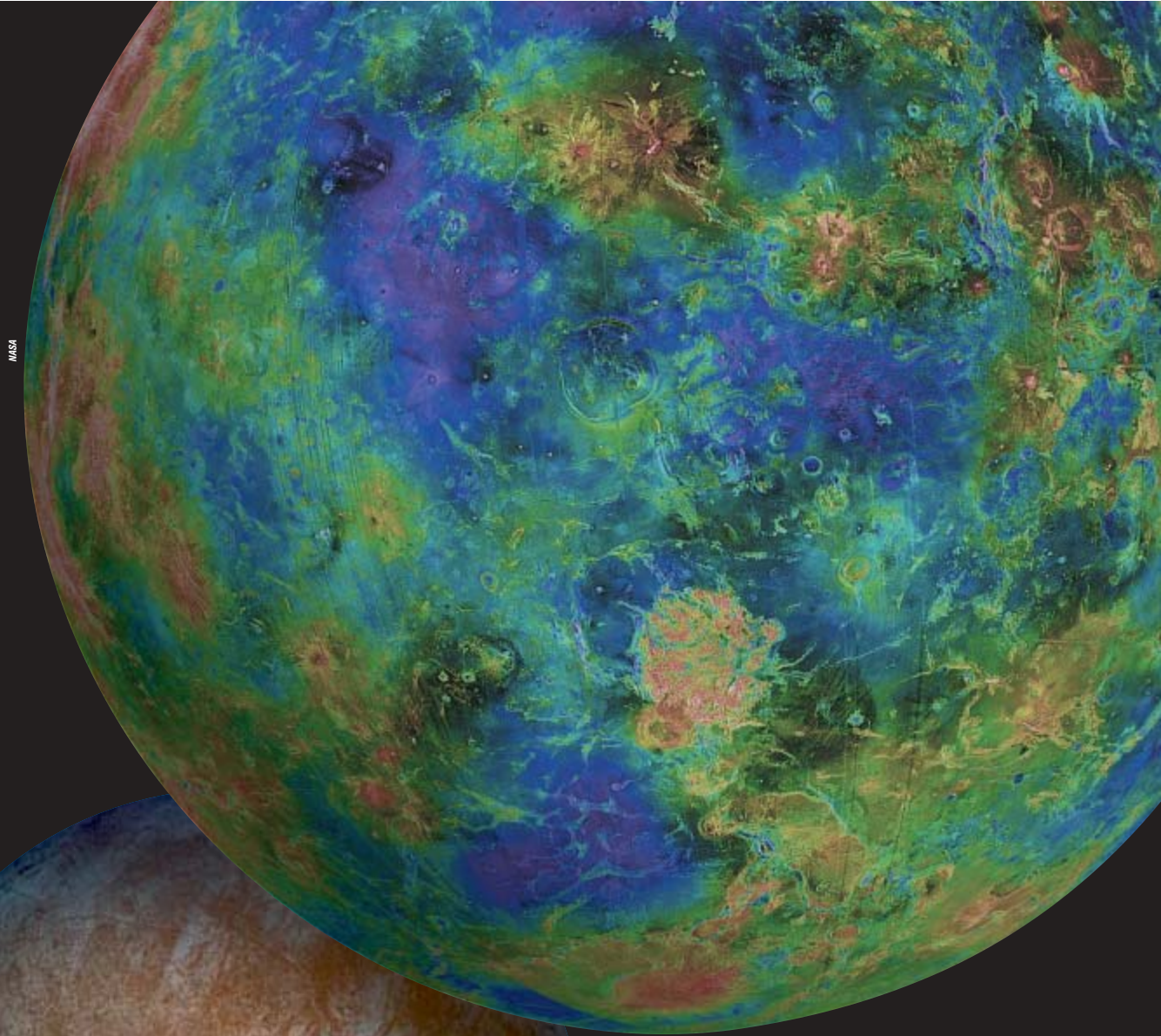
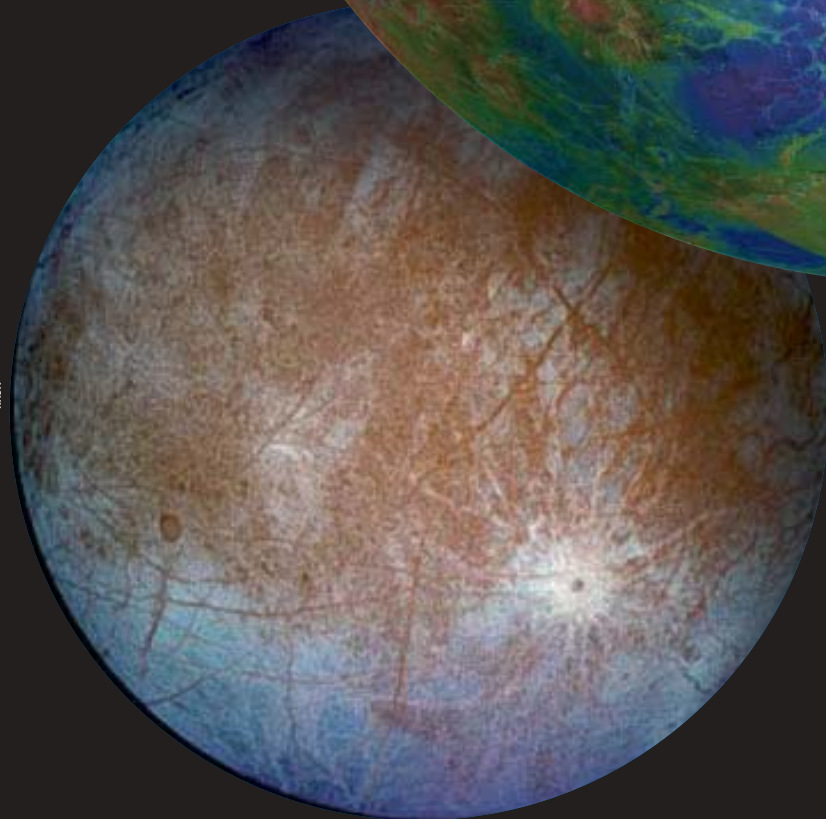




NASA

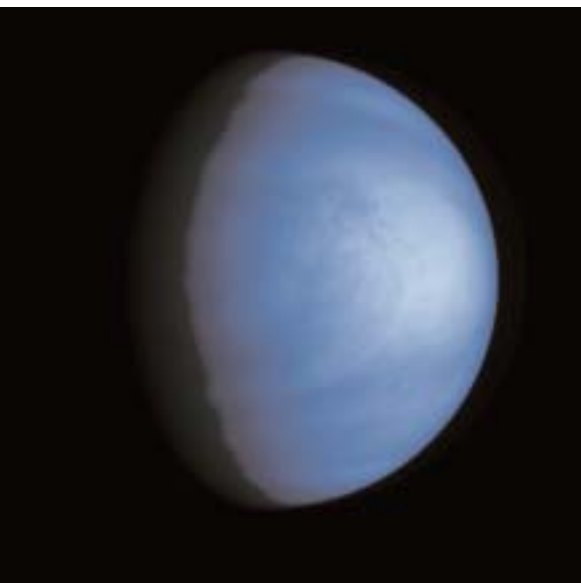


NASA



1. L'eau se forme dès que des atomes d'hydrogène et d'oxygène sont présents, c'est-à-dire partout dans l'Univers. Présente en mille endroits du système solaire, elle se concentre surtout sur les planètes ou leurs satellites. Ainsi, la Terre (*ci-dessus*) porte la vie parce qu'elle est recouverte d'eau. Mars (*page ci-contre*) et Vénus (*en haut à droite*) ont probablement porté des quantités d'eau importantes dans le passé. L'une des lunes de Jupiter, Europe (*à gauche ci-dessus*), est une boule de glace sillonnée de cicatrices et creusée de cratères. Un océan agite-t-il Europe sous la glace? Renferme-t-il une forme de vie ?

aux pressions qui règnent à leur surface, elles varient de 100 fois la pression terrestre (sur Vénus), jusqu'au centième de cette valeur, à la surface de Mars. Selon les conditions qui règnent sur chacun de ces corps célestes, l'eau y adopte des comportements différents.



NASA

2. L'ATMOSPHÈRE DE VÉNUS est constituée de dioxyde de carbone, d'azote et de traces d'eau et de dioxyde de soufre. Minoritaires, ces deux constituants jouent pourtant un rôle essentiel, puisqu'ils sont à l'origine de la formation des nuages de vapeurs d'acide sulfurique qui empêchent d'observer directement la planète depuis l'espace.



Philippe James, Steve Lee, Mike Wolf/NASA

3. MARS RENFERME-T-ELLE DE L'EAU dans son sous-sol? La planète semble avoir porté un océan dans le passé. La forme de certains de ses cratères donne l'impression que les météorites qui les ont formés ont percuté un matériau imbibé d'eau. La planète porte aussi deux calottes de glace qui recouvrent aujourd'hui les pôles.

Les planètes telluriques

Le cas le plus intéressant est sans aucun doute celui des planètes telluriques (rocheuses), c'est-à-dire Mercure, Vénus, la Terre et Mars (de la plus proche à la plus éloignée du Soleil). L'eau y est présente dans l'atmosphère ou dans le sol. *A priori*, elle devrait y prendre des formes comparables, puisque ces planètes sont relativement proches les unes des autres. Ainsi, la densité, la taille et la gravité de Mars sont «seulement» deux à trois fois inférieures à celles qui règnent sur la Terre ; celles de Vénus en sont proches, à tel point que l'étoile du Berger est souvent surnommée la «jumelle de la Terre». Malgré cela, tout change d'une planète à l'autre, tellement la composition des atmosphères et les conditions atmosphériques y varient. Mercure n'est pas assez massive, et trop proche du Soleil pour retenir une atmosphère stable. La Terre, Mars et Vénus ont des atmosphères qui diffèrent soit par leur composition chimique, soit par les conditions qui y règnent : le comportement de l'eau sur chacune des trois grandes planètes telluriques diffère.

Fait remarquable, sur Terre l'eau existe sous ses trois états, solide, liquide et vapeur. Partout ailleurs dans le Système solaire, l'eau est seulement sous forme de glace ou de vapeur. Le point est essentiel pour l'homme : c'est l'eau liquide, et elle seule, qui impose l'évolution du climat terrestre, par le jeu des précipitations, des systèmes de nuages, et des courants marins. L'eau liquide est sans doute présente sur Terre en abondance depuis sa formation, il y a 4,5 milliards d'années. L'atmosphère était alors constituée surtout de dioxyde de carbone, rapidement piégé par les océans sous forme de carbonate de calcium (de calcaire).

La composition chimique de l'atmosphère originelle de la Terre ressemble à celle des atmosphères des autres planètes telluriques. Ces dernières sont surtout constituées de dioxyde de carbone (environ 95 pour cent en volume sur Vénus et sur Mars) et d'azote, avec des traces de monoxyde de carbone (CO), d'oxygène (O₂) et d'eau. L'atmosphère terrestre ne présenterait pas la même composition globale si le dioxyde de carbone n'était piégé dans les océans, et si l'apparition de la vie n'avait provoqué l'accumulation d'oxygène et d'ozone. La relative constance de la température de la

Terre garantie, d'une part, par la présence d'une atmosphère permanente et, d'autre part, par la stabilité de l'axe de rotation (stabilité due à la présence de la Lune), a favorisé la présence constante d'océans liquides, et le développement de la vie sur Terre. Au contraire, les axes de rotation de Vénus et de Mars ont subi, sans doute, de grandes fluctuations, ce qui a notablement modifié leur climat.

Omniprésente sur la Terre, l'eau est minoritaire dans les atmosphères de Vénus et de Mars, sans doute en raison des conditions très différentes qui règnent à la surface des deux autres grandes planètes telluriques. Ainsi, la température sur le sol de Vénus est égale à 460 °C, tandis qu'elle ne dépasse pas -60 °C en moyenne à la surface de Mars.

L'eau est-elle présente sur Vénus, à sa surface, ou dans son sol? L'observation à distance de la Vénus est difficile en raison de l'épaisse couche de nuages, localisés à environ une cinquantaine de kilomètres de la surface de la planète et qui masquent la surface. La composition atmosphérique de Vénus et ses conditions de température et de pression en surface nous ont été révélées par les sondes spatiales *Venera* et *Pioneer Venus*. Si les pressions partielles du dioxyde de carbone et d'azote moléculaire constituent respectivement 96,5 pour cent et 3,5 pour cent de la pression totale, l'atmosphère vénusienne contient aussi du dioxyde de soufre SO₂ et de la vapeur d'eau en quantités infimes (moins de un dix millièmes). Pourtant, ces constituants jouent un rôle important, car ils sont responsables de la formation de la couche nuageuse, constituée d'acide sulfurique (H₂SO₄). Dotée d'une pression et d'une température extrêmes, et soumise à des pluies acides, la basse atmosphère de Vénus nous apparaît comme un milieu fort peu hospitalier...

Rien de tel sur Mars. Sa surface, directement observable dans le domaine visible, a été abondamment cartographiée par les caméras des sondes planétaires (*Viking*, 1975 et *Mars Global Surveyor*, 1996) et par le télescope Hubble. Sur Mars, la composition atmosphérique ressemble à celle de Vénus : 95 pour cent de dioxyde de carbone, 3 pour cent d'azote et environ 2 pour cent d'argon. En revanche, l'eau est présente à la fois sous forme solide et sous forme gazeuse ; les conditions de pression et de température, à la sur-

face de Mars, ne permettent pas la présence d'eau liquide. L'eau y est surtout présente sous forme de glace dans les calottes polaires, qui se condensent et se subliment au pôle Nord et au pôle Sud, selon un rythme saisonnier. Parfois, on observe de petites formations nuageuses d'eau, notamment à proximité des volcans. Si l'eau des calottes était répartie sur toute la planète sous forme liquide, elle formerait un océan global de l'ordre d'une vingtaine ou d'une trentaine de mètres d'épaisseur : sur Terre, un tel océan global aurait une profondeur de 2,7 kilomètres. Quant à la pression partielle de la vapeur d'eau martienne, elle n'excède pas quelques dix millièmes de la pression atmosphérique totale ; elle présente de fortes fluctuations liées au cycle saisonnier de condensation et de sublimation des calottes polaires.

Puisqu'elles sont parties de conditions initiales quasi semblables, pourquoi les trois grandes planètes telluriques ont-elles eu des destins aussi divergents ? La réponse tient à l'histoire de l'eau sur Mars et sur Vénus. L'eau semble avoir été plus abondante sur ces sœurs de la Terre. La valeur du rapport de l'abondance de l'eau lourde (HDO) et de l'eau (H₂O) indique, par exemple, qu'il y avait à l'origine beaucoup plus de vapeur d'eau dans les atmosphères vénusienne et martienne. Rappelons que, dans la molécule d'eau lourde, l'un des atomes d'hydrogène est remplacé par un atome de deutérium ; celui-ci est identique à l'atome d'hydrogène, à ceci près qu'il est deux fois plus lourd, puisque son noyau contient un neutron supplémentaire. Dans les océans et dans l'atmosphère terrestre, le rapport HDO/H₂O vaut environ $1,5 \cdot 10^{-4}$, valeur dont les planétologues pensent qu'elle n'a jamais changé depuis que la Terre s'est formée. Partant du principe que cette valeur caractérisait toutes les planètes telluriques à leur début, ils ont mesuré le rapport HDO/H₂O dans les atmosphères de Vénus et de Mars ; la mesure se fait depuis la Terre, par spectroscopie infrarouge en phase gazeuse. Leurs résultats révèlent un fort enrichissement en deutérium des atmosphères martienne et vénusienne. La vapeur d'eau qui se mêle à l'atmosphère martienne contiendrait cinq fois plus de deutérium que celle de la Terre. Celle de l'atmosphère vénusienne en contiendrait près de 120 fois plus ! Les planétologues déduisent de ces consta-

tations que la vapeur d'eau atmosphérique a été présente en quantité bien supérieure sur Mars et surtout sur Vénus, dans le passé. Comment a-t-elle disparu ? L'enrichissement atmosphérique en deutérium s'explique par le mécanisme de l'échappement gravitationnel, qui privilégie l'échappement dans l'espace des molécules les plus légères. C'est pourquoi il favorise l'éjection de l'eau ordinaire par rapport à celle de l'eau lourde, ce qui explique que cette dernière se soit concentrée dans les atmosphères de Mars et de Vénus.

Vallées martiennes

Si l'eau a été nettement plus abondante dans les atmosphères de Mars et de Vénus, l'a-t-elle aussi été sur leur sol ? Dans le cas de Mars, nous avons des indices de la présence en surface de grandes quantités d'eau (peut-être liquide) au début de l'histoire de la planète. Le premier est l'existence de vallées ramifiées qui sillonnent les terrains anciens de l'hémisphère Sud de Mars, et qui datent de plus de trois mil-

liards d'années ; elles donnent l'impression que de l'eau liquide s'est écoulée en quantité sur la planète, ce qui indique qu'à cette époque existait une atmosphère dense et chaude. Le deuxième indice est la présence probable d'un vaste océan qui aurait recouvert les grandes plaines du Nord il y a deux à trois milliards d'années. Les récentes mesures radar de la mission *Mars Global Surveyor* ont renforcé cette hypothèse, émise lors des premières mesures de la sonde *Viking*. Elles ont révélé la présence de lignes longues de plusieurs milliers de kilomètres et dont l'altitude est constante. S'agit-il de rives ? Si un tel océan a existé, l'eau qu'il contenait aurait formé un « océan global » d'une centaine de mètres d'épaisseur.

Ainsi, Vénus et Mars semblent avoir porté d'importantes masses d'eau, peut-être autant que la Terre. Pourquoi a-t-elle disparu ? Comment les conditions de température et de pression à la surface des deux planètes ont-elles peu à peu divergé ? De petits écarts de température peuvent avoir des conséquences notables. Étant



4. S'AGIT-IL D'UN RÉSEAU FLUVIAL ASSÉCHÉ AUJOURD'HUI ? Cette immense cicatrice à la surface de Mars est flanquée d'un important réseau de ravins, qui se ramifient en vallées secondaires et autres canyons. Quel est le fluide qui a érodé ainsi la surface ? Pourquoi a-t-il disparu ? Les planétologues pensent qu'il s'agit d'eau, et qu'elle est probablement encore présente sous la surface. Plusieurs observations récentes ailleurs sur la planète vont dans ce sens.