

Le climat variable de Vénus

MARK BULLOCK • DAVID GRINSPOON

APHRODITE TERRA

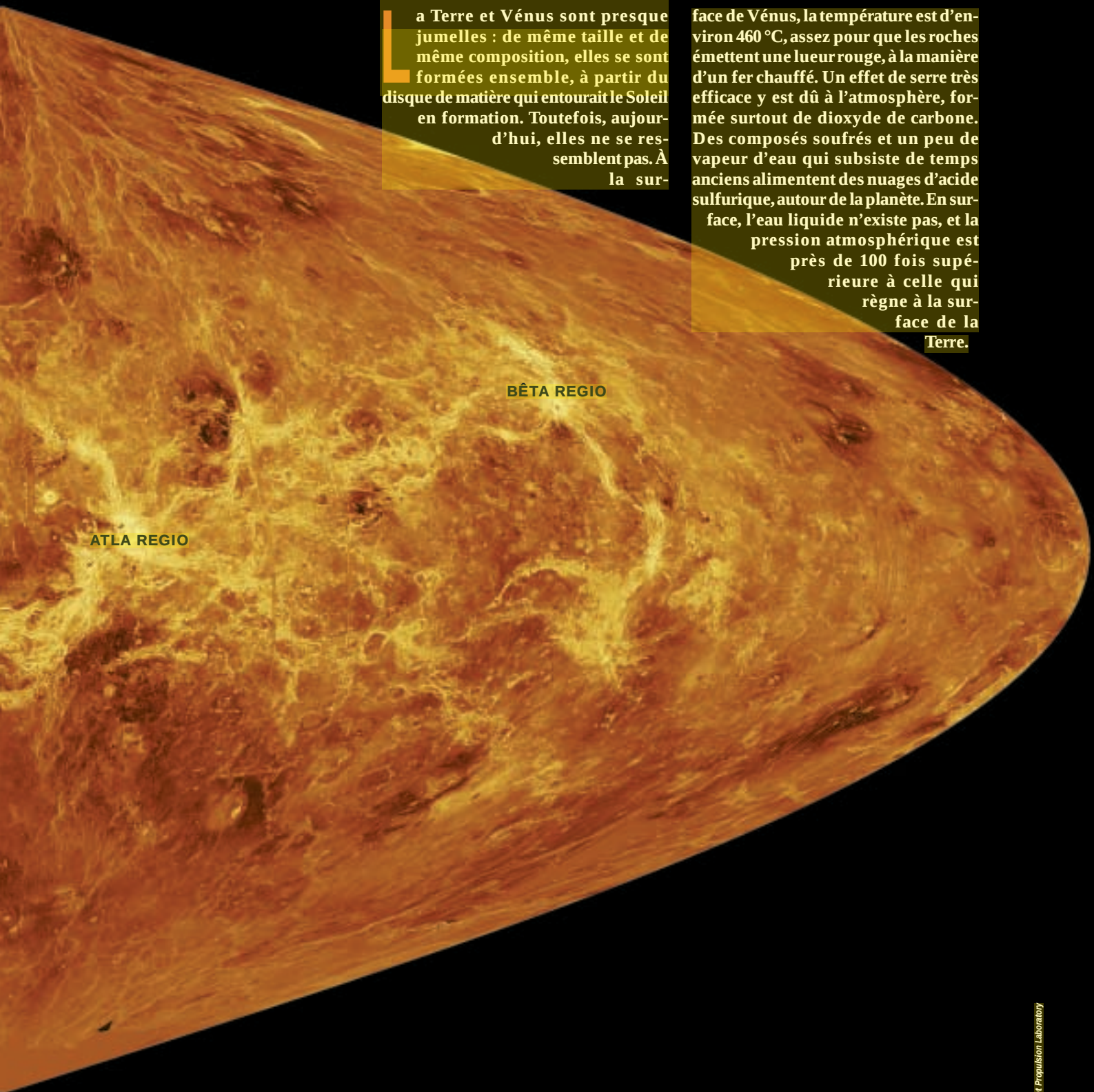
1. LA SURFACE DE VÉNUS

a été révélée dans son intégralité par un système radar embarqué à bord de la sonde *Magellan*, avec une précision qui atteint 120 mètres. C'est la vue la plus complète dont nous disposons pour une planète, y compris la Terre, où nous connaissons mal les fonds océaniques. Un vaste système équatorial de hautes plaines et de rides court depuis le relief de type continental Aphrodite Terra (à gauche du centre) jusqu'à Bêta Regio (à droite et au Nord), en passant par le haut plateau brillant Atla Regio (juste à droite du centre). Cette image est centrée à 180 degrés de longitude. Elle a été réalisée à l'aide d'une projection sinusoïdale qui, contrairement aux projections cartographiques traditionnelles, telle celle de Mercator, ne déforme pas les aires. Les zones sombres correspondent à un terrain lisse à l'échelle de la longueur d'onde du radar (13 centimètres) ; les aires brillantes sont rugueuses. Les stries Nord/Sud sont des imperfections de l'image.

La cartographie précise de la surface de Vénus et l'analyse de son atmosphère actuelle révèlent que le climat de cette planète a fortement varié depuis un milliard d'années.

La Terre et Vénus sont presque jumelles : de même taille et de même composition, elles se sont formées ensemble, à partir du disque de matière qui entourait le Soleil en formation. Toutefois, aujourd'hui, elles ne se ressemblent pas. À la sur-

face de Vénus, la température est d'environ 460 °C, assez pour que les roches émettent une lueur rouge, à la manière d'un fer chauffé. Un effet de serre très efficace y est dû à l'atmosphère, formée surtout de dioxyde de carbone. Des composés soufrés et un peu de vapeur d'eau qui subsiste de temps anciens alimentent des nuages d'acide sulfurique, autour de la planète. En surface, l'eau liquide n'existe pas, et la pression atmosphérique est près de 100 fois supérieure à celle qui règne à la surface de la Terre.



Nous connaissons Vénus grâce à 22 sondes automatiques qui ont photographié, scruté et analysé sa surface, soit quand elles étaient en orbite, soit quand elles y ont atterri. Nous manquons toutefois d'une vue d'ensemble de la surface de Vénus : elle est presque toujours masquée par des nuages opaques aux rayonnements visibles. Nous avons une vision statique de la planète, ignorant si des phénomènes géologiques, tels le volcanisme ou la tectonique des plaques, s'y déroulaient ou non. La carte à haute résolution de toute la surface de la planète, dressée de 1990 à 1994 par la sonde *Magellan*, qui regardait à travers les nuages à l'aide d'un radar, a révélé que des éruptions volcaniques massives se sont produites dans le passé et qu'ils s'en produisent encore certainement aujourd'hui. Des simulations numériques qui intègrent

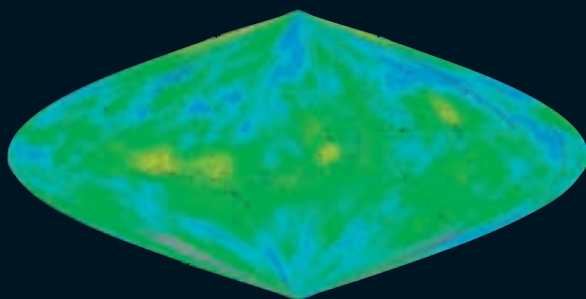
ces informations sur la géologie vénusienne conduisent à des descriptions de l'évolution de cette planète pendant le dernier milliard d'années : un volcanisme intense, notamment, aurait provoqué des changements climatiques de grande ampleur.

Parmi les planètes du Système solaire, Vénus et la Terre sont les seules dont le climat varie et interagit avec l'activité géologique. Mars, autre voisine de la Terre, a aussi connu des changements climatiques importants, mais elle n'évolue plus notablement : son atmosphère actuelle n'est qu'une relique de son passé. L'intérieur de Mars est aujourd'hui trop froid pour que des éruptions volcaniques se produisent, et la surface est profondément gelée. Le climat de Mars ne changerait que si le mouvement de la planète sur son orbite était perturbé.

Comment des mécanismes géologiques semblables à ceux que nous observons sur la Terre ont-ils produit un résultat si différent sur Vénus ? La compréhension de l'évolution climatique d'autres planètes nous éclaire sur les phénomènes qui déterminent le climat sur Terre et nous aidera peut-être à identifier la responsabilité des activités humaines dans les évolutions de celui-ci. En rejetant dans l'atmosphère une quantité croissante de gaz, l'humanité a en effet entrepris involontairement une expérience globale et incontrôlée sur le climat terrestre ; il est peut-être vital de prévoir les résultats de cette opération.

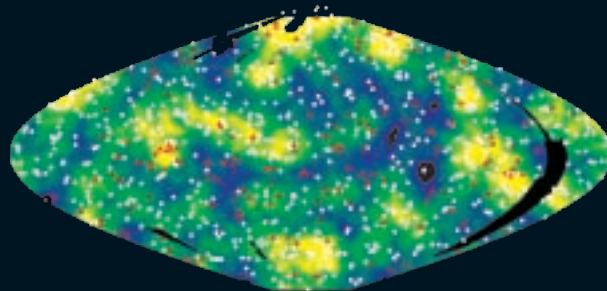
Bien avant que le trou de la couche d'ozone terrestre ne soit connu du public, des astronomes avaient étudié la photochimie de l'atmosphère supérieure de Vénus, et ils avaient

ALTITUDE



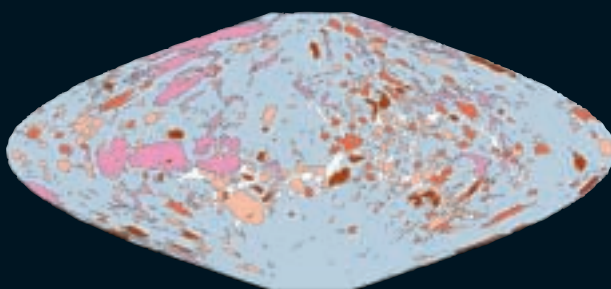
La différence d'altitude entre les points les plus bas de Vénus (*en bleu*) et les points les plus hauts (*en jaune*) est d'environ 13 kilomètres. Trois cinquièmes de la surface sont à une altitude inférieure à 500 mètres par rapport à l'altitude moyenne, qui correspond à un rayon planétaire de 6 051,9 kilomètres. Sur la Terre, les altitudes sont concentrées autour de deux valeurs correspondant aux continents et aux fonds océaniques.

CRATÈRES D'IMPACT



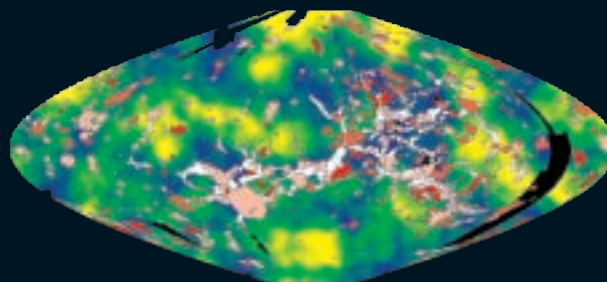
Les cratères dus à des astéroïdes ou à des météorites sont répartis aléatoirement sur toute la planète. La plupart sont intacts (*points blancs*). Ceux qui ont été modifiés par de la lave (*points rouges*) ou par des failles (*triangles*) sont assez groupés. Les régions de faible densité de cratères (*fond bleu*) se situent plutôt sur des hauts plateaux. Les densités de cratères supérieures (*fond jaune*) sont généralement dans les basses plaines.

TYPES DE TERRAINS



Le sol de Vénus est surtout composé de plaines volcaniques (*en bleu*). Dans ces plaines, on trouve des régions déformées, telles les *tesserae* (*en rose*) et les fossés d'effondrement (*en blanc*), ainsi que des formations volcaniques telles que des *coronae* (*en pêche*), des coulées de lave (*en rouge*) et des volcans de tailles diverses (*en orange*). Les volcans ne se concentrent pas en alignement comme sur la Terre, ce qui indique qu'il n'y a pas de tectonique des plaques.

ÂGES DES TERRAINS



Cette carte géologique montre les différents terrains et leurs âges relatifs, déduits de la densité de cratères d'impact. Les volcans et les *coronae* sont à peu près groupés le long de fossés d'effondrement équatoriaux, qui sont plus jeunes (*en bleu*) que le reste de la surface vénusienne. Les *tesserae*, les crêtes et les plaines sont plus anciennes (*en jaune*). Toutefois, la diversité de l'âge des terrains est plus faible que sur la Terre et sur Mars.

NASA/Jet Propulsion Laboratory

En haut à droite et en bas : Meredith Price, South Dakota School of Mines and Technology

découvert que la présence de chlore diminue la proportion d'oxygène libre au-dessus des nuages de la planète. Ce résultat a aidé à comprendre un phénomène analogue sur Terre : dans la stratosphère, le chlore issu des chlorofluorocarbures, utilisés dans des systèmes de réfrigération ou dans des bombes aérosols, détruit l'ozone.

Volcans et plaques mobiles

Le climat de la Terre varie en partie parce que la composition de son atmosphère résulte d'échanges permanents de gaz entre la croûte, le manteau, les océans, les calottes polaires et l'espace extérieur. La source d'énergie fondamentale des processus géologiques intenses, l'énergie géothermique, est produite surtout par la désintégration d'éléments radioactifs dans le noyau ; elle intervient aussi dans l'évolution de l'atmosphère, lorsqu'elle se dissipe par deux mécanismes : le volcanisme et la tectonique des plaques.

Sur la Terre, cette dissipation de l'énergie géothermique est assurée principalement par le mouvement des plaques tectoniques. En outre, lorsque celles-ci plongent dans les profondeurs du manteau, elles recyclent les gaz libérés par les volcans dans l'atmosphère, ce qui stabilise le climat terrestre (*voir l'encadré de la page 41*). Cette stabilité n'est toutefois pas absolue. Ainsi, lors des éruptions volcaniques massives qui ont produit les immenses provinces volcaniques du Globe (des régions couvertes de basaltes probablement issus d'énormes panaches de magma au sein du manteau), l'émission rapide de grandes quantités de gaz dans l'atmosphère a peut-être perturbé temporairement le climat global, qui se serait réchauffé.

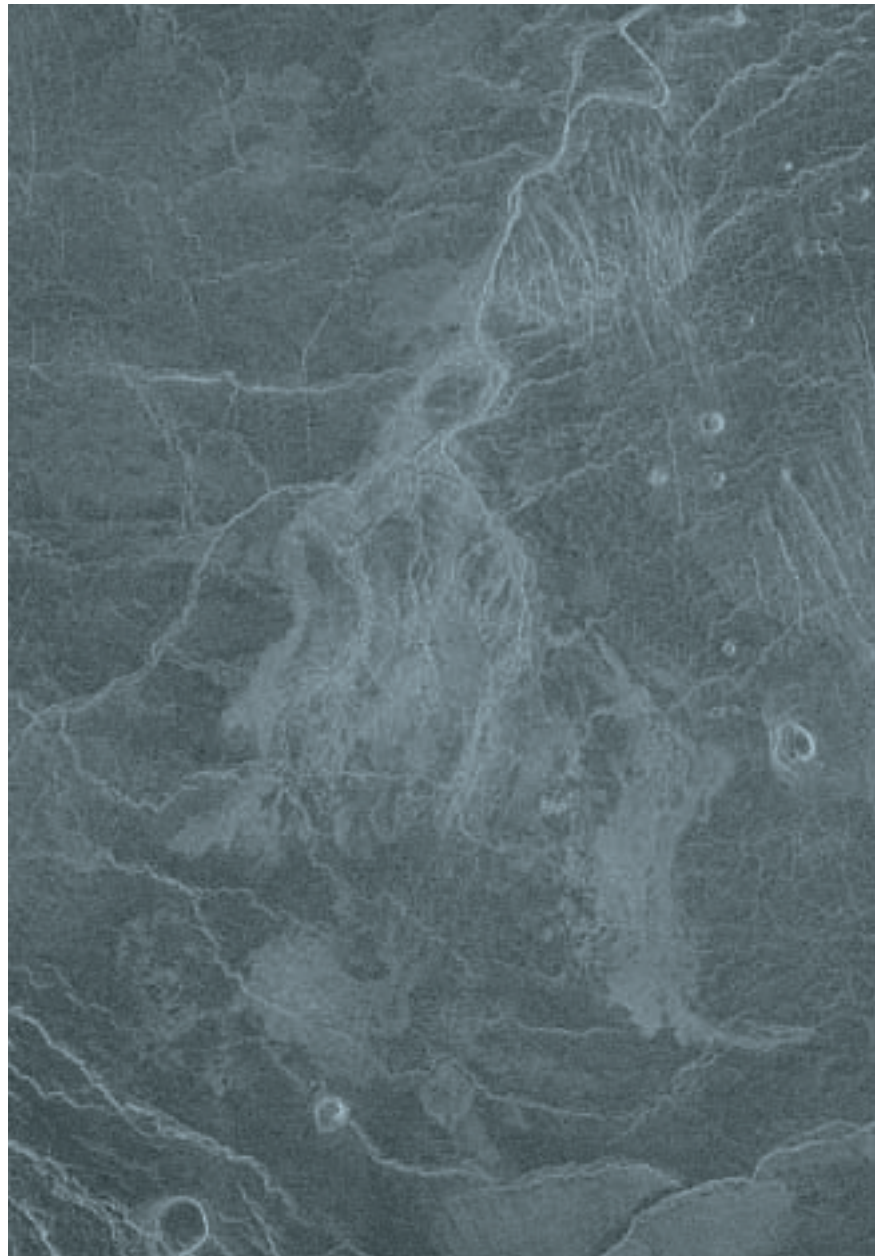
Et sur Vénus ? La surface photographiée par la mission *Magellan* ne semble pas perturbée par une tectonique des plaques, sauf peut-être ponctuellement : au moins dans un passé récent, l'énergie géothermique a été dissipée par l'éruption de grandes quantités de lave basaltique qui ont formé de vastes plaines et, plus tard, par les volcans qui se sont construits dessus.

Peut-on dater ces événements volcaniques ? Comme on ne peut pas analyser de roches pour dater leur formation, on compte les cratères d'impact météoritiques : les observations du nombre d'astéroïdes et de comètes dans le Système solaire interne, ainsi

que le décompte des cratères sur la Lune (dont on a daté directement les roches), permettent de calculer la fréquence des collisions. La surface de Vénus porte peu de cratères d'impact : on n'en dénombre que 963 sur la carte dressée par *Magellan*. L'atmosphère épaisse arrête la plupart des projectiles de diamètre inférieur à un kilomètre, qui creuseraient des cratères jusqu'à 15 kilomètres de diamètre, mais les calculs indiquent qu'environ 1,2 cratère par million d'années devrait apparaître sur Vénus. Les impacts des 3,7 premiers

milliards d'années de l'histoire de la planète ont donc été effacés.

Sur la Terre, les cratères d'impact sont effacés par l'érosion : on observe des états d'altération variés, de la cuvette presque intacte du Meteor Crater, en Arizona, aux contours à peine discernables des impacts de plus de 600 millions d'années enfouis dans la croûte continentale la plus ancienne. Toutefois, la surface de Vénus est bien trop chaude pour que de l'eau y coule, et les vents de surface sont aujourd'hui peu puissants : les cratères ne sont donc pas



2. UNE RIVIÈRE SUR VÉNUS ? Ce delta est à l'extrémité d'un chenal étroit qui court sur 800 kilomètres à travers les plaines volcaniques septentrionales. Il n'a pas été creusé par l'eau : Vénus est trop chaude et trop sèche. C'est peut-être l'œuvre de laves riches en sels carbonatés et sulfatés, qui auraient coulé alors que la température moyenne était supérieure de plusieurs dizaines de degrés à celle d'aujourd'hui. La région représentée a 40 kilomètres de large et 90 kilomètres de long.