

SOUS L'ŒIL DES SONDES VENUS EXPRESS ET AKATSUKI



PIERRE DROSSART
directeur de recherche
du CNRS au Lesia (observatoire
de Paris-PSL, Sorbonne
Université, univ. Paris-Diderot)

En orbite polaire autour de Vénus, la mission *Venus Express* de l'Agence spatiale européenne a scruté la planète pendant huit ans, d'avril 2006 à décembre 2014. Bien que dédiée principalement à l'étude de l'atmosphère et de l'environnement ionisé de Vénus, cette mission a aussi fourni des informations sur la surface de la planète, notamment grâce à son instrument *Virtis*. Ce spectro-imageur infrarouge a été développé conjointement par le Lesia, à l'observatoire de Paris, l'Institut d'astrophysique et de planétologie spatiale, à Rome, et le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique, à Berlin.

En mesurant l'émission thermique de surface (à une température moyenne d'environ 460 °C) diffusée à travers les nuages, cet instrument a produit des cartes thermiques détaillées de la surface de Vénus. Sa résolution spatiale est de l'ordre de 50 kilomètres à certaines longueurs d'onde où l'atmosphère est assez transparente. Les variations de température enregistrées ont d'abord été utilisées pour reconstruire le relief de la surface, bien connu par ailleurs, grâce à l'altimétrie radar de *Magellan*.

Cependant, certaines régions présentent des anomalies de température qui ne sont pas reliées à l'altitude de surface. Ces anomalies, constatées dans des régions géologiques particulières, sont plutôt interprétées comme des « anomalies d'émissivité ». Elles sont liées à la texture particulière de la surface de ces régions. Il ne s'agit pas d'écoulements de lave, car ces derniers se refroidissent très

vite et ont peu de chances d'être observés. Ainsi, les anomalies thermiques traduisent probablement la présence de régions géologiquement jeunes (environ 250 000 ans, voire moins), non érodées par l'activité chimique et dynamique de Vénus. Elles signalent donc la présence d'un volcanisme géologiquement récent.

La question d'un volcanisme actif encore présent sur Vénus est dès lors posée. D'autres indices, tels que la variabilité pluriannuelle du dioxyde de soufre dans l'atmosphère observée par l'instrument *Soir/Spicav* de *Venus Express*, renforcent l'hypothèse d'éruptions volcaniques de grande ampleur. Des missions futures devront confirmer l'activité volcanique de Vénus.

Mise en orbite équatoriale en décembre 2015, la sonde *Akatsuki* de l'agence spatiale japonaise est dédiée aux observations climatiques de l'atmosphère de Vénus. Ses observations météorologiques ont débuté en 2016, prenant le relais de celles effectuées par *Venus Express*.

Les premiers résultats complets des observations, publiés en 2018, apportent des informations précieuses sur la dynamique planétaire. Jusqu'à présent, seule la dynamique globale de l'atmosphère avait été étudiée. Grâce à ses caméras infrarouges, la sonde *Akatsuki* commence à identifier des phénomènes plus localisés comme, récemment, des structures dans les nuages de basse altitude dont la dynamique a été reproduite dans des simulations.

Nous n'en sommes qu'aux prémices de la compréhension de cette « jumelle » de la Terre au destin si différent.

volcanisme, puis réinjectés dans le manteau quand des plaques ont glissé sous d'autres. Le cycle des composés volatils contribue à limiter leur accumulation dans l'atmosphère. Sans le volcanisme terrestre, il y aurait eu peu d'eau en surface et pas de lieux adaptés à l'apparition de la vie. Par ailleurs, les continents, où la vie a évolué hors de l'eau, sont aussi un produit de la tectonique des plaques. Pour ces raisons et bien d'autres, la tectonique des plaques joue un grand rôle dans la dynamique et l'habitabilité d'une planète, et il importe donc de déterminer si Vénus a une tectonique des plaques active.

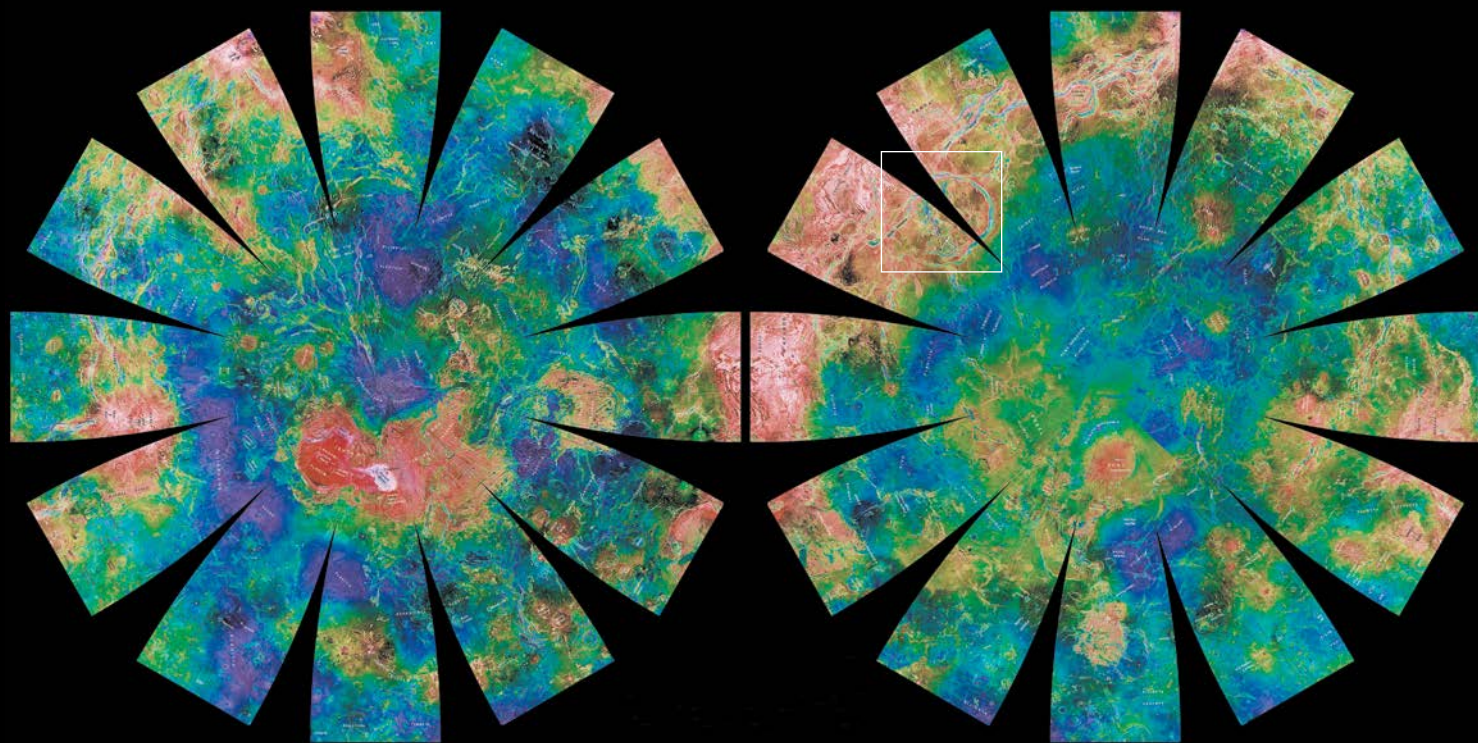
Sur Terre, la tectonique des plaques aurait démarré il y a 4 milliards d'années, mais le nombre d'indices est limité. Nous ne savons pas vraiment comment une planète opère sa transition d'un monde couvert de basalte (avec éventuellement des océans) à un système complexe de plaques en mouvement.

L'une des hypothèses dominantes est que des « bulles » de roche chaude venant des profondeurs de la Terre, sous la forme de panaches, auraient « éclaté » à la surface et ainsi enclenché la subduction, c'est-à-dire le glissement d'une plaque sous une autre. Plus précisément, en remontant, un panache chaud fragiliserait la lithosphère (la croûte et la partie supérieure du manteau) et pousserait vers le haut, ce qui ferait craquer la surface (créant un « rift »). La pression de la tête du panache créerait un volcanisme violent, comme on l'observe à la fois sur Terre et sur Vénus. Le matériau du panache arrivé en surface pèserait sur la lithosphère craquelée. Il ferait alors sombrer cette couche et déclencherait une subduction. Si ce processus se répète assez souvent, les plaques de subduction s'assemblent, et la tectonique des plaques s'enclenche.

LE PANACHE DE VÉNUS

Ce scénario d'amorce de la tectonique est-il en cours sur Vénus ? Les caractéristiques actuelles de la croûte vénusienne, chaude et mince, ressemblent à celles de la croûte terrestre quand la tectonique y a démarré. En outre, des structures géologiques de Vénus ressemblent à celles de zones de subduction terrestres. Un exemple est *Artemis Corona* (voir la figure page ci-contre), une formation circulaire près de l'équateur de Vénus qui rappelle par sa taille et sa forme l'arc des Aléoutiennes, situé dans l'océan Pacifique, au large de l'Alaska, et associé à une zone de subduction. Les chercheurs suggèrent qu'*Artemis Corona* a les caractéristiques d'un point chaud, où un panache du manteau arrivant à la surface a amorcé un processus de subduction.

De récentes expériences en laboratoire et des simulations numériques appuient l'hypothèse que les panaches provoquent un phénomène de subduction dans la région où la pression fait craquer la couche supérieure de la croûte.



Par exemple, l'une de nous, Suzanne Smrekar, Anne Davaille, du laboratoire Fast à l'université Paris-Sud, et Steven Tomlinson, de l'université de Californie à Los Angeles, ont reproduit la configuration d'Artemis Corona en utilisant une solution colloïdale avec des nanoparticules. Ces expériences indiquent qu'avec l'accumulation de matériau du panache, la lithosphère se scinde en fragments triangulaires, comme une feuille de papier quand elle est transpercée par la pointe d'un crayon. Quand la lithosphère coule, les fractures continuent de s'étendre. Si deux lignes de fractures venaient à se rejoindre, une plaque se formerait et un processus de tectonique s'amorcerait.

Pour l'instant, les images de ces structures sur Vénus sont de résolution trop faible pour être interprétées avec certitude. Les observations de *Magellan* ne montrent aucun signe de plaques interconnectées; nous voyons plutôt des endroits isolés où la subduction commence, dans chaque cas autour d'une de ces régions circulaires où émergeraient des panaches. Mais si cette idée se confirme, nous assisterions à la première phase du développement de la tectonique des plaques sur Vénus. Deux questions se posent alors: pourquoi la tectonique des plaques ne s'est-elle pas mise en place plus tôt, et comment évoluera-t-elle? Une piste de réponse est que, lorsque Vénus était plus chaude, les roches, plus plastiques, absorbaient les contraintes sans se fracturer. À plus basse température, les failles s'installeraient plus durablement, pour atteindre à terme un phénomène de tectonique global comme sur Terre. Le fait d'assister aux débuts de la tectonique des plaques sur Vénus indique

que ce processus est peut-être assez répandu sur des exoplanètes en voie d'habitabilité.

Comme les techniques d'imagerie et de spectrométrie ont beaucoup progressé ces dernières années, c'est le bon moment pour envoyer une nouvelle mission vers Vénus. Les motivations scientifiques sont nombreuses: mieux comprendre le volcanisme, examiner plus en détail la tectonique des plaques naissante, établir l'influence des conditions atmosphériques extrêmes de Vénus sur son évolution, etc. Dans un autre registre, nous avons découvert des structures plissées à la surface de la planète, les tessères, dont l'origine nous échappe. Sont-elles des vestiges d'une époque ancienne où l'eau coulait sur Vénus?

En 2019, la Nasa fera un appel à projets pour la prochaine génération de sondes du programme *Discovery*. Deux d'entre nous (Suzanne Smrekar et Darby Dyar) pilotent l'une de ces propositions de mission: *Veritas* (pour *Venus emissivity, radio science, InSAR, topography, and spectroscopy*). La sonde embarquera plusieurs instruments, dont un imageur et un spectromètre, afin de dresser une carte topographique de résolution bien supérieure à tout ce qui s'est fait jusqu'à présent et d'effectuer un relevé précis de la composition de la planète. La décision sera prise en 2021.

Près de trente ans après la mission *Magellan*, nous avons esquissé pourquoi Vénus et la Terre ont évolué différemment. Une nouvelle génération de chercheurs est prête à répondre de façon définitive à cette question... et peut-être à déterminer les conditions nécessaires à l'émergence de la vie dans l'Univers. ■

Ces cartes géologiques de l'hémisphère Nord et Sud de Vénus ont été dressées grâce aux données des sondes *Magellan* et *Venera*. Elles montrent diverses caractéristiques, dont le cercle d'Artemis Corona (dans le cadre), qui témoigneraient des débuts de la mise en place d'une tectonique des plaques.

BIBLIOGRAPHIE

A. Davaille et al., **Experimental and observational evidence for plume-induced subduction on Venus**, *Nature Geoscience*, vol. 10, pp. 349-355, 2017.

M. J. Way et al., **Was Venus the first habitable world of our Solar system ?**, *Geophysical Research Letters*, vol. 43(16), pp. 8376-8383, 2016.

S. E. Smrekar et al., **Recent Hotspot Volcanism on Venus from VIRTIS Emissivity Data**, *Science*, vol. 328, pp. 605-608, 2010.

M. Bullock et D. Grinspoon, **Le climat variable de Vénus**, *Pour la Science*, n° 259, mai 1999.

Dans les jardins chimiques de Stéphane Leduc

Ensemencez une solution concentrée de silicate de sodium avec des sels de cobalt (*ici du chlorure de cobalt*), et attendez. Vous verrez bientôt apparaître des structures semblables à des coraux ou à des algues sous-marines... dans un jardin chimique pourtant garanti sans forme de vie.

