

Un portefeuille de méthodes de captage du carbone, de taxes et de marchés permettrait-il d'atteindre l'objectif de 1000 milliards de tonnes d'ici à 2100? La surchauffe de l'été 2018 aura peut-être marqué un tournant. L'Ouest américain était en feu. Sur quatre continents, on a connu des canicules sévères. Les climatologues ont abandonné leur discours prudent et préviennent, dans *PNAS*, qu'un accroissement du réchauffement risque de faire basculer la planète vers une «Terre-serre chaude... vraisemblablement incontrôlable et dangereuse pour de nombreuses populations». Au cas où ce message ne serait pas assez fort, l'un des principaux auteurs de l'article, Hans Joachim Schellnhuber, directeur émérite de l'institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique (PIK), en Allemagne, a déclaré aux journalistes que les effets en cascade pourraient conduire à un monde qui ne pourrait plus faire vivre que 1 milliard d'humains, bien loin des 7,5 milliards actuels.

Pour certains dirigeants politiques, encore aujourd'hui, le changement climatique ne serait pas une certitude, en dépit des preuves indiscutables d'un présent alarmant et d'un avenir qui s'annonce plus sombre encore. Ce

qui est déconcertant avec les technologies d'émissions négatives, c'est qu'il y ait tant d'incertitudes même pour les scientifiques eux-mêmes. «Chacun fait valoir à quel point tout dépend du substrat, de la partie du monde où vous vous trouvez, des précipitations qui y tombent et de la température», commente ainsi Stephanie Roe, écologue à l'université de Virginie, à propos de l'enrichissement du sol en carbone.

IL EST GRAND TEMPS DE COMMENCER

Les chercheurs débattent aussi de savoir s'il sera possible de développer l'une ou l'autre des méthodes de captage du carbone jusqu'à atteindre des milliards de tonnes par an. «On discute peut-être un peu trop de l'échelle finale à atteindre», dit Brendan Jordan, de l'institut des Grandes Plaines, à Minneapolis. «Je crains que cela ne nous paralyse.» Autrement dit, nous devons commencer à réaliser des émissions négatives malgré les incertitudes, parce qu'elles sont triviales comparées à un monde dans lequel le jeu des chaises musicales du changement climatique s'arrêterait, et où 6,5 milliards de personnes, voire plus, n'auraient pas de place où s'asseoir. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. C. Minx et al., **Negative emissions – Part 1: Research landscape and synthesis**, *Environmental Research Letters*, vol. 13(6), article 063001, 2018.

S. Fuss et al., **Negative emissions – Part 2: Costs, potentials, and side effects**, *Environmental Research Letters*, vol. 13(6), article 063002, 2018.

W. Steffen et al., **Trajectories of the Earth system in the Anthropocene**, *PNAS*, vol. 115(33), pp. 8252-8259, 2018.

B. W. Griscom et al., **Natural Climate Solutions**, *PNAS*, vol. 114(44), pp. 11645-11650, 2017.

la nature arctique dans un climat d'urgence

colloque

vendredi 12 avril de 14h à 18h
— samedi 13 avril de 10h à 18h

©Rémy Marion

cité

sciences
et industrie

La biodiversité arctique n'a pas d'équivalent sur Terre, ni à plus basse latitude ni même en Antarctique. Quel est l'impact de l'évolution du climat sur la nature arctique? Quels changements observe-t-on sur la végétation, le rythme du lemming, le comportement des orques ou du renard polaire? Communications scientifiques et témoignages révèlent les réalités du terrain.

Accès gratuit dans la limite des places disponibles.

Avec notamment:

Isabelle Autissier, présidente du WWF France;
Jean-François Lagrot, grand reporter photographe;
Aude Lalis, maître de conférences au Muséum national d'Histoire naturelle;
Esther Levesques, professeur, université du Québec à Trois-Rivières;
Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue, co-présidente du GIEC, France;
Jérôme Moreau, Groupe de recherches en Écologie Arctique (GREAA), France;
Olivier Truc, écrivain et journaliste, correspondant à Stockholm, Suède.

Cité des sciences et de l'industrie
30, avenue Corentin-Cariou - 75019 Paris
📍 Porte de la Villette 📍 3b Cité des sciences et de l'industrie

EN PARTENARIAT AVEC



AVEC LE SOUTIEN DE



Vénus

Pourquoi est-elle si différente de la Terre?

Atmosphère irrespirable, pression gigantesque, température infernale... Alors que Vénus est née dans des conditions similaires à celles de la Terre, elle a évolué très différemment. Cette planète offre cependant un éclairage unique sur les débuts de la tectonique des plaques terrestre ainsi que sur les chances d'apparition de la vie ailleurs dans l'Univers.

LES AUTEURS



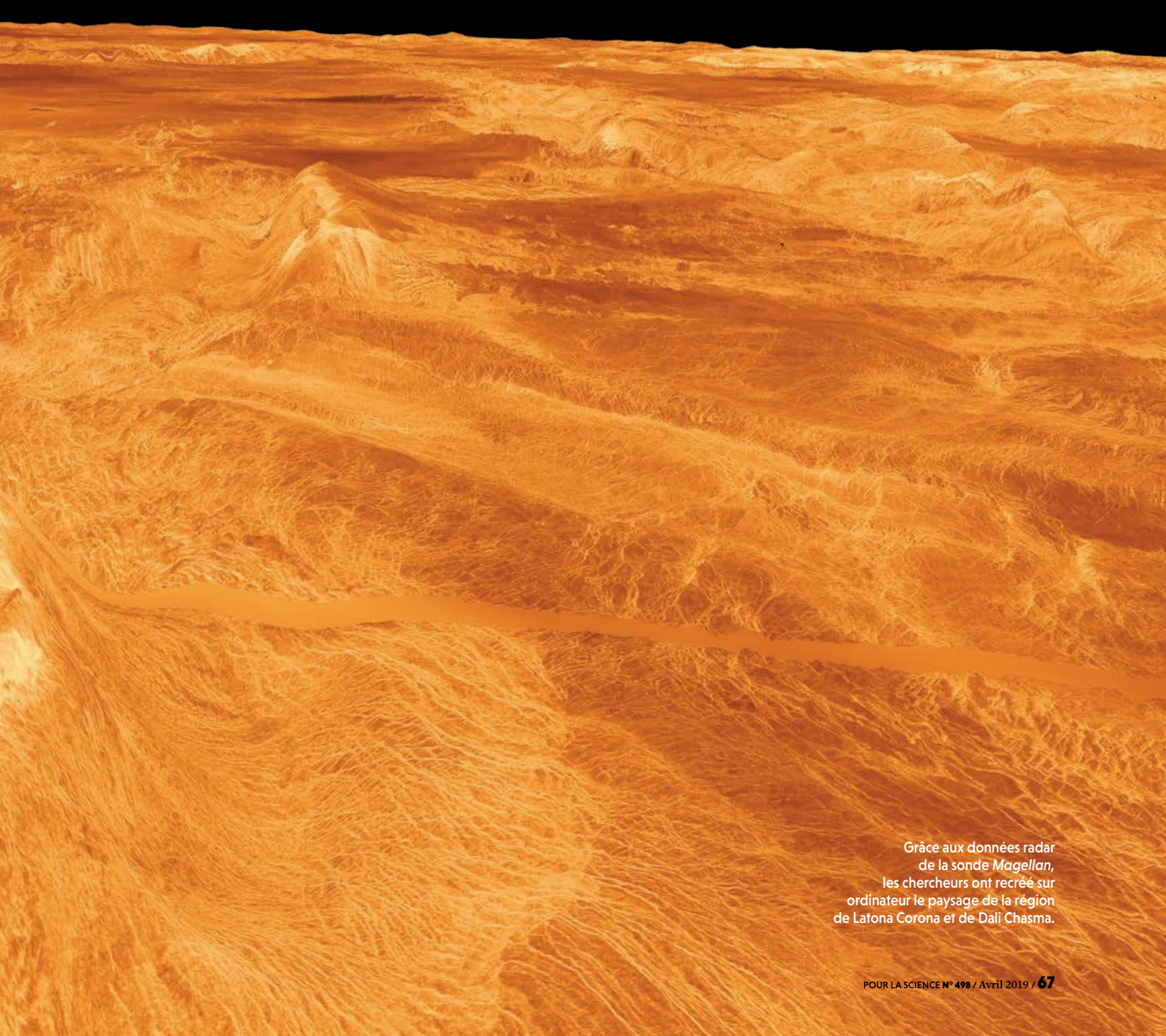
M. DARBY DYAR
directrice de recherche à
l'Institut de science planétaire
et professeure d'astronomie
au Mount Holyoke College,
aux États-Unis



SUZANNE E. SMREKAR
directrice de recherche
et responsable adjointe de
la mission *Insight* de la Nasa
au Jet Propulsion Laboratory,
à Pasadena, en Californie



STEPHEN R. KANE
maître de conférences
en planétologie
au département des sciences
de la Terre de l'université
de Californie à Riverside



Grâce aux données radar
de la sonde *Magellan*,
les chercheurs ont recréé sur
ordinateur le paysage de la région
de Latona Corona et de Dali Chasma.

L'ESSENTIEL

> Vénus et la Terre, à l'origine très semblables, ont connu des destins divergents.

> La Terre abrite des océans, une atmosphère riche en oxygène et héberge la vie.

> Vénus, en revanche, est devenue inhospitalière. Elle est cependant géologiquement active, avec du volcanisme actif et une tectonique des plaques naissante.

> Comprendre pourquoi Vénus a évolué de cette façon nous donnerait des indices sur les possibilités que la vie existe ailleurs, sur des exoplanètes semblables à Vénus.

> Une nouvelle mission vénusienne est nécessaire pour percer les secrets de cette planète. Des projets sont à l'étude.

En 1982, une onde de choc a parcouru le département de science planétaire du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts, aux États-Unis) : la mission vedette de la Nasa, *Voir* (pour *Venus orbital imaging radar*) venait d'être annulée. L'une d'entre nous (Darby Dyar) était alors étudiante en thèse. Elle se souvient que les jeunes doctorants pleuraient dans les couloirs et que les chercheurs plus âgés secouaient la tête, abattus. La nouvelle administration Reagan avait entrepris des coupes budgétaires dans l'exploration spatiale, et la mission *Voir* était l'une des victimes.

Malgré ce revers, les scientifiques n'ont pas perdu espoir. Ils ont revu leurs plans et mis au point un projet de mission moins coûteux (680 millions de dollars) avec une sonde constituée d'éléments récupérés sur d'autres projets. C'est ainsi qu'en 1989, la sonde *Magellan* s'est élancée pour une mission de reconnaissance de Vénus. Au cours des cinq années qui ont suivi, la sonde a renvoyé des images radar, des données gravitationnelles et une carte topographique de la quasi-totalité de la surface de la deuxième planète du Système solaire. Mais en 1994, *Magellan* a achevé sa mission en plongeant dans l'atmosphère de Vénus, et cet événement a marqué la fin de l'intérêt et du soutien de la Nasa pour l'exploration de cette planète.

Pendant plus de dix ans, Vénus n'a fait l'objet d'aucune mission spécifique. Les mesures de *Magellan* sont restées pendant toute cette période les seules sources de données géophysiques de cette planète. Puis, de 2006 à 2014, la sonde *Venus Express* a principalement étudié l'atmosphère de Vénus. Elle a aussi observé l'activité volcanique et fourni des éléments pour comprendre pourquoi la Terre et Vénus ont évolué différemment (*voir l'encadré page 72*). En 2015, la sonde japonaise *Akatsuki* a pris le relais et scrute encore l'atmosphère vénusienne. Dans le même temps, les scientifiques ont analysé de façon plus détaillée des données de *Magellan*.

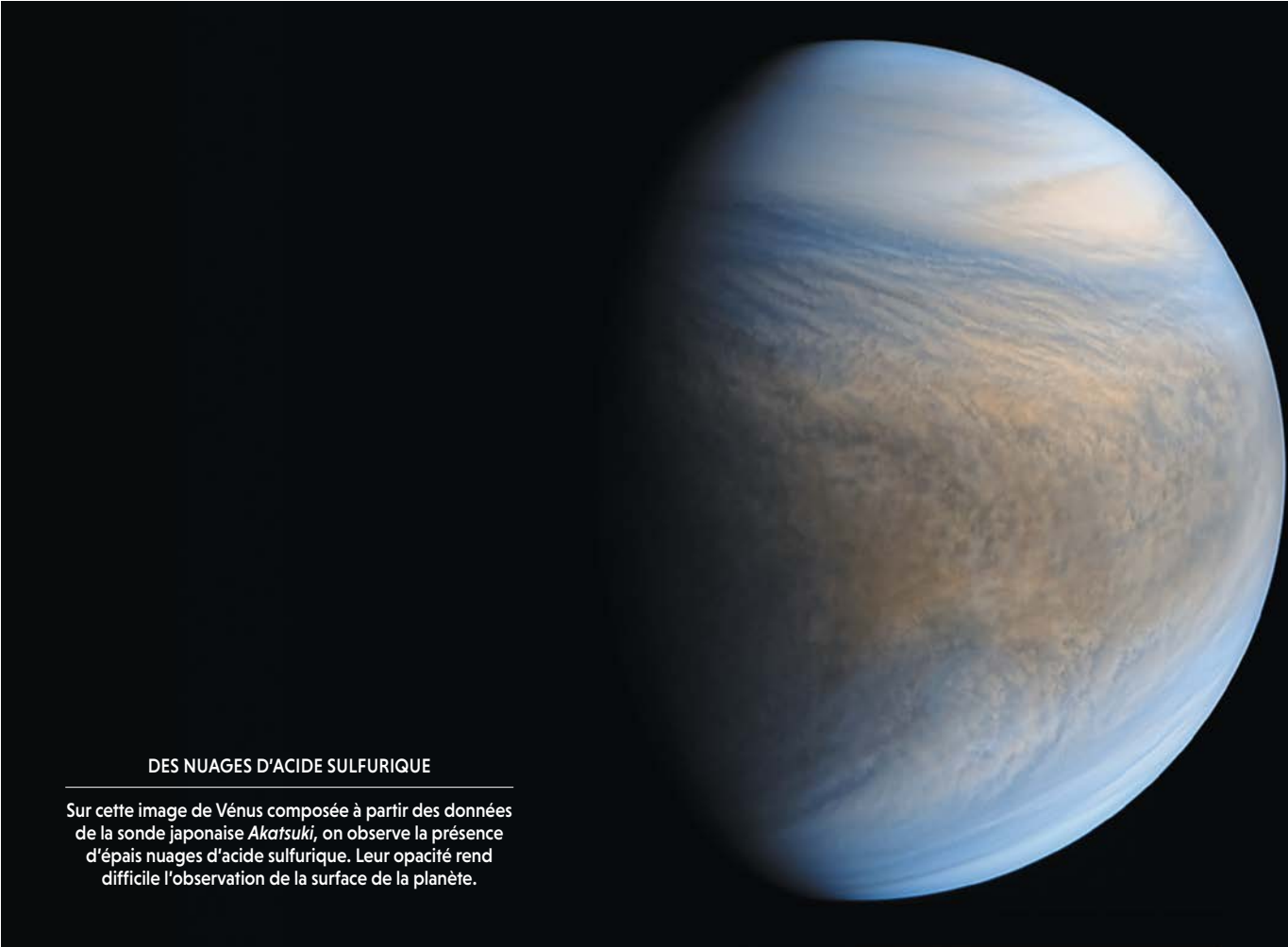
L'ensemble de ces nouvelles données nous ont poussés à revoir quelques idées que nous avions de cette planète. Il est aujourd'hui clair que les volcans sont omniprésents sur Vénus. Et nous avons trouvé des indices d'un début de tectonique des plaques, phénomène que les spécialistes estiment critique pour l'habitabilité d'une planète. De nouveaux modèles théoriques suggèrent aussi que Vénus aurait eu de l'eau liquide à sa surface jusque relativement tard dans son histoire, ce qui signifie qu'elle aurait offert des conditions hospitalières pour la vie beaucoup plus longtemps qu'on ne le pensait.

UNE « EXOPLANÈTE »
À DEUX PAS DE CHEZ NOUS

Cette évolution dans notre compréhension de Vénus coïncide avec un autre développement spectaculaire de l'astrophysique : la découverte de milliers de planètes appartenant à d'autres systèmes stellaires, dont certaines ont une taille de l'ordre de celle de Vénus, et qui sont situées à une distance comparable de leur étoile. Tout ce que nous apprendrons de Vénus nous renseignera aussi sur ces mondes lointains et inaccessibles. En particulier, si nous parvenons à déterminer si (et quand) Vénus a présenté les conditions requises pour héberger la vie, nous en saurons davantage sur la probabilité que la vie se développe sur la pléthore d'exoplanètes qui parsèment la Voie lactée.

La plupart des exoplanètes ont été découvertes grâce à la méthode des transits : les astronomes observent les étoiles pour déceler des baisses périodiques et caractéristiques de leur éclat. Ces variations de luminosité se produisent quand des planètes en orbite autour de ces étoiles passent devant elles et occultent une partie infime (mais mesurable) de leur lumière. Par cette technique, on peut déterminer la taille d'une planète lointaine, mais cette grandeur ne définit pas à elle seule les caractéristiques d'une planète. Par exemple, si un

**Vénus aurait hébergé
de l'eau liquide
pendant près de
2 milliards d'années**



DES NUAGES D'ACIDE SULFURIQUE

Sur cette image de Vénus composée à partir des données de la sonde japonaise *Akatsuki*, on observe la présence d'épais nuages d'acide sulfurique. Leur opacité rend difficile l'observation de la surface de la planète.

observateur extraterrestre lointain étudiait le Système solaire par la méthode des transits, Vénus et la Terre lui paraîtraient quasi identiques. Et pourtant, alors que la Terre est habitable depuis près de quatre milliards d'années, Vénus est inhospitalière.

Un autre paramètre important à prendre en compte est la distance à l'étoile. La «zone habitable» est la région autour d'une étoile où une planète rocheuse pourrait avoir de l'eau liquide à sa surface (*voir l'encadré page 70*). La Terre, à l'évidence, est dans cette zone. Vénus a été dans cette zone autrefois, et même assez longtemps. Mais les frontières de la zone habitable bougent : elles s'éloignent du Soleil au fil du temps, car la luminosité de ce dernier augmente avec son âge. Vénus est désormais sortie de la zone habitable et occupe ce qu'on nomme la «zone de Vénus». Dans cette région, l'énergie thermique due au rayonnement du Soleil chauffe beaucoup l'atmosphère de la planète, au point que l'effet de serre s'emballe. La température continue d'augmenter, et l'eau des océans finit par bouillir et s'échapper de la planète.

Même si Vénus était un peu plus proche du Soleil que la Terre, on peut dire que toutes deux se sont formées dans des conditions très similaires. Elles ont toutes deux été bombardées par des comètes qui y ont probablement apporté de l'eau. Par ailleurs, le vent solaire (le flux de particules éjectées à grande vitesse de l'atmosphère solaire) a formé une mince couche d'ions hydrogène à la surface des deux planètes. Et quand ces dernières se sont formées dans le disque de poussière primordial, elles ont capté les mêmes matières volatiles (des composés chimiques qui se vaporisent facilement).

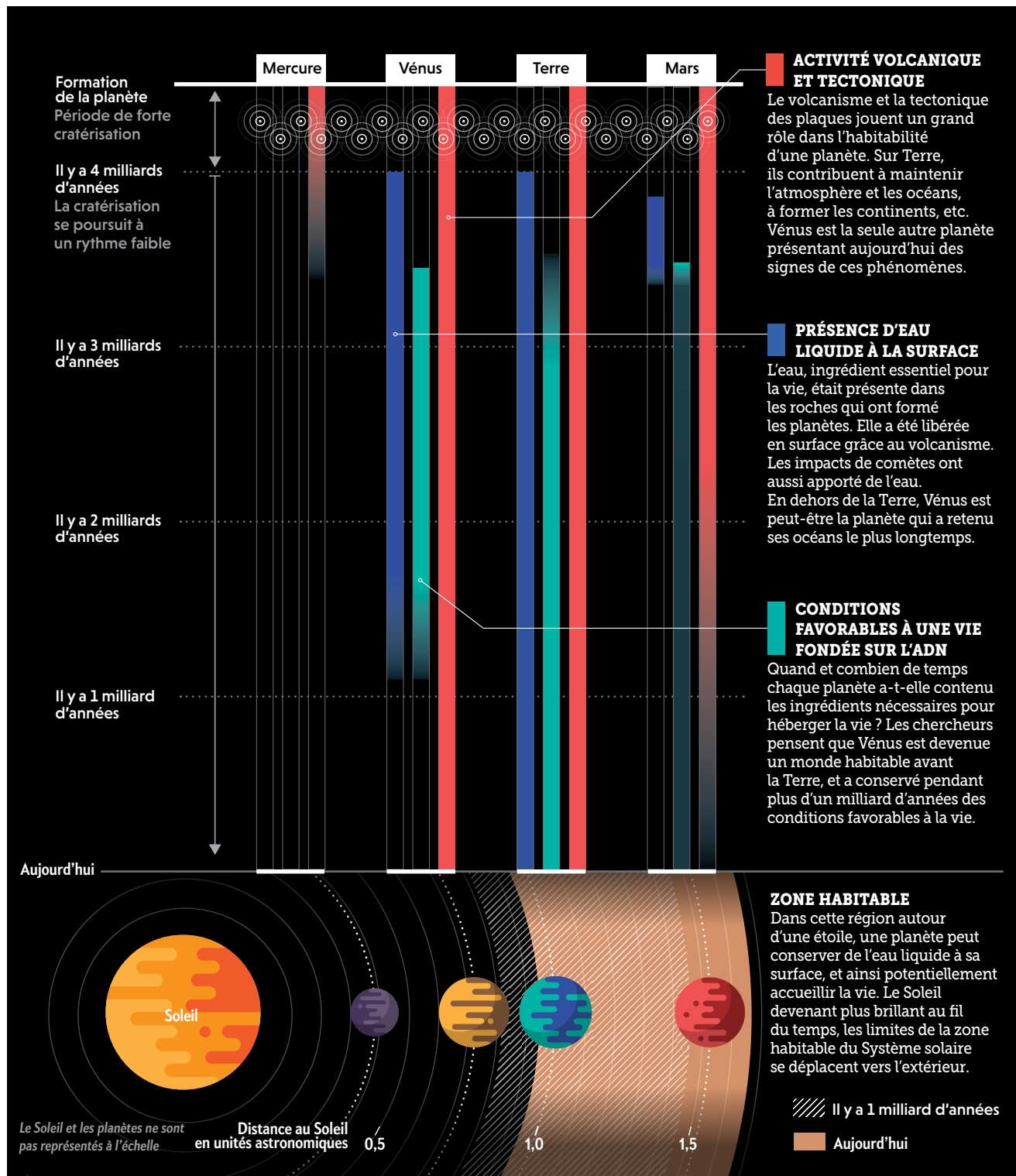
En 2016, Michael Way, de l'institut Goddard de la Nasa, et ses collègues ont utilisé les données topographiques de *Magellan* pour simuler le climat passé de Vénus. Leurs résultats indiquent que la surface de la planète aurait hébergé de l'eau liquide, et peut-être plus tôt que la Terre. Et cette eau serait restée présente jusqu'à il y a environ un milliard d'années.

Il n'en reste pas moins que Vénus est aujourd'hui extrêmement inhospitalière. Que s'est-il passé ? Vénus représente-t-elle l'état final ➤

DES HISTOIRES PLANÉTAIRES SI DIFFÉRENTES

Quels sont les facteurs qui contribuent à rendre une planète habitable ? C'est l'une des grandes questions de l'astronomie. La Terre et Vénus ont eu des débuts assez similaires, mais l'une abrite une vie florissante tandis que l'autre est un désert inhospitalier. En étudiant le développement du volcanisme,

de la tectonique des plaques et d'autres conditions régnant sur Vénus, les scientifiques veulent comprendre pourquoi cette planète a évolué ainsi. Et ils espèrent aussi déterminer les chances que de la vie se développe ailleurs, sur des exoplanètes qui partagent les mêmes caractéristiques que Vénus.



- > de toutes les planètes habitables, ou bien seulement un futur possible parmi d'autres pour les planètes de cette taille? C'est pour répondre à ces questions essentielles, et bien d'autres, que nous voulons retourner voir Vénus.

UNE SURFACE BIEN CACHÉE

L'étude de Vénus est en partie limitée par le fait qu'elle se dissimule sous une épaisse atmosphère. En altitude, des nuages d'acide sulfurique particulièrement opaques enveloppent la planète (voir la photographie page 69). Au sol, la pression de l'atmosphère est d'environ 93 bars (ce qui est comparable à la pression qui règne dans les océans terrestres à environ 900 mètres de profondeur). L'atmosphère y est si dense que son principal constituant, le dioxyde de carbone, se comporte comme un fluide supercritique, aux propriétés intermédiaires entre celles d'un gaz et celles d'un liquide.

Les scientifiques pensent que cette atmosphère a été autrefois semblable à celle de la Terre. La faiblesse du champ magnétique serait en partie responsable de la différence d'évolution des deux planètes. Pour plusieurs raisons (faible vitesse de rotation, faible gradient de température interne), aucun processus de dynamo générant un champ magnétique planétaire n'est à l'œuvre dans le noyau de Vénus. En l'absence d'un tel champ protecteur, Vénus a été exposée au vent solaire qui a éliminé l'eau

sont posés dans les années 1970 et 1980. Ces sondes n'ont survécu que quelques minutes aux conditions extrêmes, mais cela a suffi pour réaliser des analyses de composition chimique du sol, qui ressemble à du basalte et du granite terrestres. Au-delà de ces relevés, notre connaissance de la minéralogie de surface repose sur des interprétations controversées de mesures radar effectuées par *Magellan* et sur notre connaissance limitée des réactions chimiques entre les roches de la planète et les gaz atmosphériques aux températures et pressions qui règnent sur Vénus.

Récemment, les chercheurs ont montré qu'il est possible de cartographier les minéraux de Vénus depuis l'espace en regardant à travers plusieurs «fenêtres» du spectre électromagnétique où la lumière visible n'est pas absorbée par l'atmosphère. Par chance, ces fenêtres coïncident avec des longueurs d'onde qui permettent d'identifier des minéraux planétaires typiques, comme l'olivine et le pyroxène (souvent présents dans le basalte). La sonde européenne *Venus Express* a utilisé l'une de ces fenêtres pour produire la première carte de la chaleur rayonnée par la surface de la planète pour une grande partie de l'hémisphère Sud. Cette carte comprend des caractéristiques spectrales (des pics et des minima de lumière et de chaleur) qui fournissent de nouveaux indices sur la nature des minéraux au sol.

Cette carte indique aussi de nombreux points chauds, des régions émettant tellement de chaleur que l'explication la plus plausible est un volcanisme récent. C'est une découverte passionnante, parce qu'elle montre que contrairement à la Lune, inerte depuis longtemps, et Mars, où le volcanisme moderne est au mieux isolé, Vénus est encore active.

UNE TECTONIQUE DES PLAQUES?

Sur Terre, le volcanisme est souvent associé à la tectonique des plaques, c'est-à-dire la dynamique de déplacements et de glissements de grandes portions de la croûte qui recouvre le globe. La tectonique des plaques est responsable de la plupart des caractéristiques géologiques de notre planète. Elle est aussi le moteur de cycles climatiques longs, qui se jouent sur des périodes d'environ 100 millions d'années et qui ont permis à la vie d'apparaître sur Terre.

La tectonique des plaques a conduit à la formation de croûtes neuves au niveau des dorsales océaniques et à l'enfoncement de plaques dans le manteau (grâce à ces deux processus, la Terre a perdu une partie de sa chaleur interne et s'est refroidie jusqu'à un point où la vie est devenue possible). La tectonique a aussi contribué au recyclage de composés volatils tels que l'eau, le dioxyde de carbone et le dioxyde de soufre. Ces composés étaient d'abord rejetés dans l'atmosphère grâce au >

La pression atmosphérique à la surface de Vénus est d'environ 93 bars

de l'atmosphère, en la dissociant en ions hydrogène et oxygène et en emportant ces derniers dans l'espace. Sans eau en surface pour dissoudre le dioxyde de carbone et d'autres gaz qui s'échappent en continu de l'intérieur de la planète, ces composés se sont accumulés dans l'atmosphère, ce qui a renforcé l'effet de serre. Cela explique que les températures de surface sur Vénus sont actuellement proches de 460°C, de quoi faire rougeoier les roches.

Les seules données recueillies à la surface de Vénus dont nous disposons sont celles des quatre atterrisseurs soviétiques *Venera*, qui s'y

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.

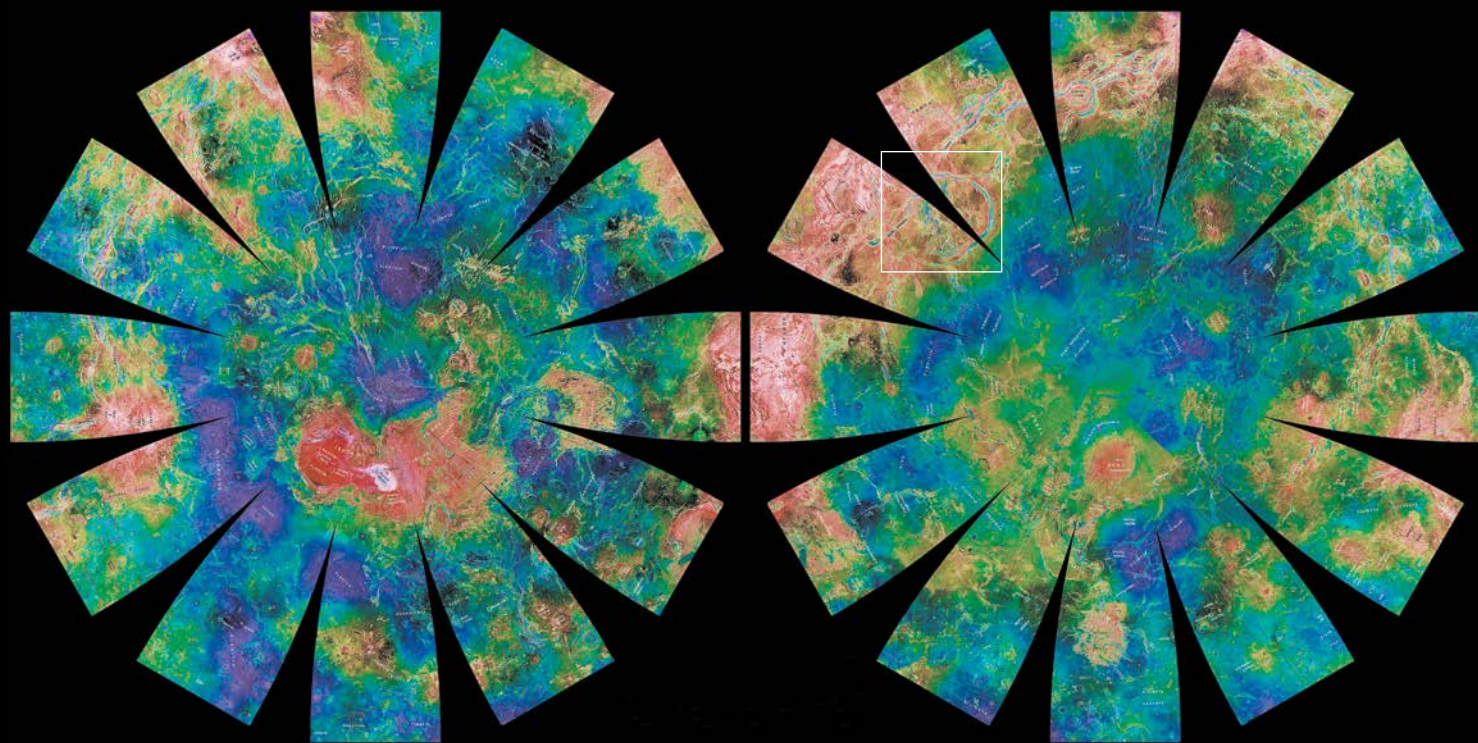
Sur Terre, la tectonique des plaques aurait démarré il y a 4 milliards d'années, mais le nombre d'indices est limité. Nous ne savons pas vraiment comment une planète opère sa transition d'un monde couvert de basalte (avec éventuellement des océans) à un système complexe de plaques en mouvement.

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.

