

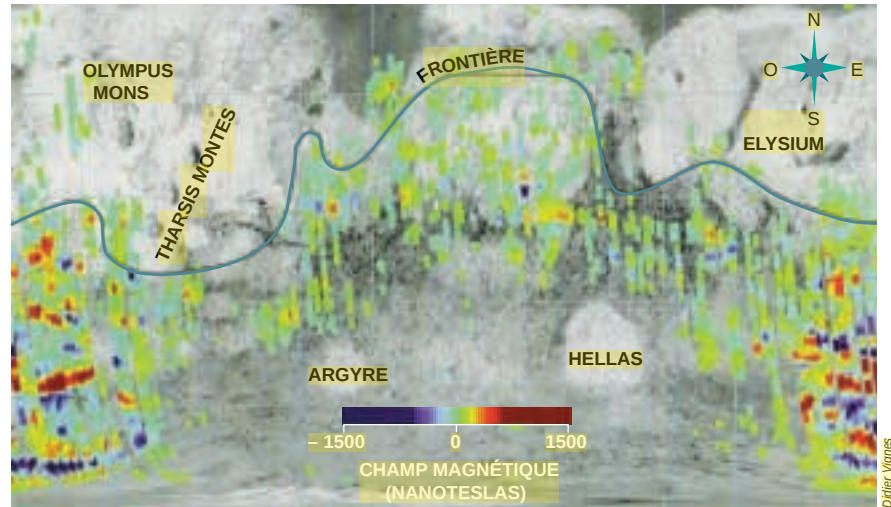
Relique de tectonique

Les hauts plateaux de Mars seraient-ils des restes de la croûte océanique primitive?

Depuis septembre 1997, la sonde américaine *Mars Global Surveyor* est en orbite autour de la planète Mars. À bord de cette sonde, une expérience de mesure du champ magnétique, menée conjointement par des équipes américaines et notre laboratoire, a montré que la planète Mars n'a pas de champ magnétique global, contrairement à la Terre et aux planètes géantes.

En revanche, cette expérience a révélé de fortes sources magnétiques localisées dans la croûte martienne, indice que, par le passé, la planète Mars engendrait son propre champ magnétique par un phénomène de dynamo interne résultant de mouvements dans un cœur métallique en fusion. Afin de visualiser ces «anomalies magnétiques», nous avons enregistré la composante radiale (verticale) du champ magnétique lors des survols de la sonde à des altitudes inférieures à 200 kilomètres (voir la figure).

D'où proviennent ces anomalies? Lorsque l'on superpose la carte des anomalies et celle de la géologie martienne, on constate que la plus grande partie des sources magnétiques de la croûte est située sur les terrains riches en cratères d'impact, sur les hauts plateaux de



Carte géologique de Mars superposée aux mesures de la composante radiale du champ magnétique à des altitudes inférieures à 200 kilomètres. La frontière géologique caractéristique est représentée par une ligne continue. La majorité des sources magnétiques crustales se trouvent au Sud de la frontière qui sépare les terrains cratérisés du Sud des terrains du Nord (le bassin *Hellas* a un diamètre de 2 000 kilomètres).

l'hémisphère Sud, près de la frontière qui sépare ces hauts plateaux et les plaines relativement jeunes et peu épaisses, au Nord.

La plupart de ces anomalies magnétiques sont associées aux terrains les plus marqués par les cratères, donc les plus anciens. Aucune source magnétique n'est associée à *Tharsis*, *Elysium*, *Valles Marineris*, ni aux ensembles volcaniques principaux de Mars, tel *Olympus Mons*, ni aux grands impacts des bassins *Hellas* et *Argyre*, plus jeunes. La dynamo martienne avait sans doute déjà cessé de fonctionner lorsque ces bassins ont été creusés par l'impact de météorites, il y a environ 3,9 milliards d'années.

Autre propriété étonnante de ces sources magnétiques intenses : elles sont alignées selon une direction Est-Ouest. Ces sources peuvent être représentées par un groupe d'une vingtaine de bandes uniformément aimantées de 200 kilomètres de large, de 30 kilomètres de profondeur et de grande extension longitudinale. Leur polarité s'inverse d'une bande à l'autre. Cette aimantation très ancienne a dû se former lorsque la croûte de Mars était encore mince.

Sur Terre, de telles bandes de polarité alternée sont observées sur les dorsales médio-océaniques, près des épanchements magmatiques au fond des océans. Elles se sont formées à

partir des laves qui remontent en surface. Les cristaux de magnétite contenus dans la lave s'orientent dans la direction du champ magnétique ambiant, juste avant que la lave ne se solidifie en une croûte océanique. Ainsi se crée, au cours de l'évolution de la Terre et des inversions de son champ magnétique, une série de bandes d'aimantation alternée.

Les plaques terrestres se meuvent de quelques centimètres par an et il y a quelques inversions par million d'années, d'où une largeur de bande de l'ordre de dix kilomètres. Mars pourrait avoir produit de la même façon les

bandes observées (200 kilomètres de large) à condition que son champ magnétique ait inversé sa polarité beaucoup plus lentement qu'aujourd'hui sur Terre ou que la vitesse d'épanchement de la croûte martienne ait été bien supérieure à ce qu'elle est sur Terre aujourd'hui.

Forts de cette comparaison, nous pensons que ces bandes magnétiques se seraient formées très tôt dans l'histoire de la planète, lors d'un épisode de tectonique des plaques et d'épanchement magmatique. Les hauts plateaux de Mars constitueraient alors les restes de la croûte océanique primi-

tive, modifiée par des impacts postérieurs et par des événements thermiques, telle l'activité engendrée lors du refroidissement de la croûte martienne.

Toutefois, l'évolution de la planète Mars reste mal connue : aucune théorie n'explique, par exemple, l'origine de la frontière. S'il se vérifie que ces bandes magnétiques résultent d'une tectonique des plaques martiennes, il faudra remplacer le modèle de la plaque unique admis jusqu'à aujourd'hui.

Didier VIGNES et Christian MAZELLE, CESR/CNRS-Univ. Paul Sabatier, Toulouse

Le jongleur d'eau

Certaines fontaines présentent un étrange comportement oscillatoire.

Dans la mythologie grecque, les fontaines sont le royaume des naïades. Ces dernières sont des êtres fantasques et imprévisibles : d'où les oscillations que l'on observe parfois dans les jets d'eau. Comment expliquer les variations périodiques de hauteur d'eau de certaines fontaines ? Le physicien marseillais Christophe Clanet a percé le mystère des fontaines oscillantes : l'eau se comporte comme les balles d'un jongleur.

En 1997, à Grenoble, Emmanuel Villiermaux effectua les premiers enregistrements de fontaines oscillantes et identifia une périodicité, dans certains cas. Lesquels ? Pour répondre à cette question, Ch. Clanet a repris l'étude en étudiant l'influence du diamètre de l'injecteur et de la vitesse d'éjection.

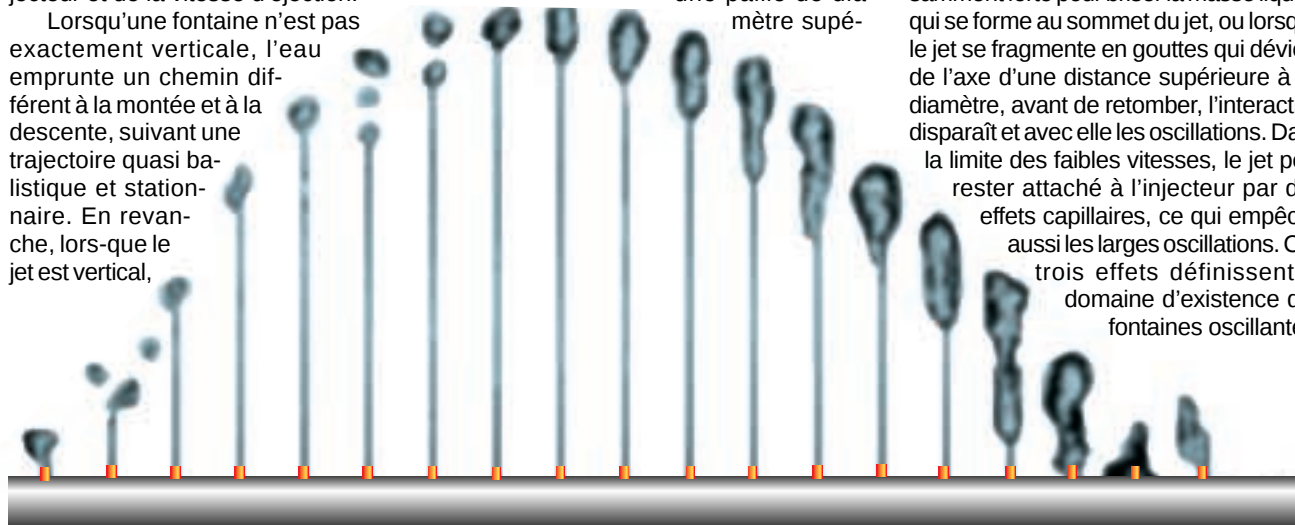
Lorsqu'une fontaine n'est pas exactement verticale, l'eau emprunte un chemin différent à la montée et à la descente, suivant une trajectoire quasi balistique et stationnaire. En revanche, lorsque le jet est vertical,

le fluide qui redescend interagit avec le fluide qui monte ; ces interactions engendrent parfois des oscillations dont l'amplitude est de l'ordre de la hauteur de la fontaine.

Comment savoir quand ces oscillations sont périodiques ? Ch. Clanet enregistra l'évolution du sommet du jet au cours du temps. En répétant la procédure pour différentes vitesses et différents diamètres, on observe que la fréquence caractéristique des oscillations diminue avec la vitesse d'éjection de l'eau et varie peu avec le diamètre tant que celui-ci reste de l'ordre de la longueur capillaire. Cette longueur est la distance pour laquelle les forces de capillarité sont du même ordre d'intensité que les forces de gravité. Pour l'interface eau/air, la longueur capillaire est d'environ quatre millimètres. La capillarité a pour conséquence que, lorsqu'une paille de diamètre inférieur à quatre millimètres est approchée de la surface de l'eau dans un verre, l'eau monte dans la paille, tandis que pour une paille de diamètre supé-

rieur, l'eau reste au même niveau que la surface. Afin de comprendre l'origine physique des oscillations, Ch. Clanet a analysé l'influence des divers facteurs et il propose aujourd'hui le «modèle du jongleur» : imaginons que le jet soit composé de gouttes isolées, lancées successivement vers le haut, comme le sont les balles par un jongleur. Si la période de lancer des balles est suffisamment courte, lorsque la balle supérieure redescend, elle heurte la balle qui la suit ; en utilisant la conservation de la masse et de l'impulsion lors de la collision, on détermine le temps de retour des balles dans la main du jongleur. En faisant tendre vers zéro l'intervalle de temps entre deux balles successives, on peut comparer la fréquence calculée à celle qui est mesurée expérimentalement sur les fontaines. Cette comparaison révèle un bon accord entre la théorie et l'expérience.

Cet accord perdure tant que le fluide ascendant interagit avec le fluide descendant. Lorsque l'inertie du jet est suffisamment forte pour briser la masse liquide qui se forme au sommet du jet, ou lorsque le jet se fragmente en gouttes qui dévient de l'axe d'une distance supérieure à un diamètre, avant de retomber, l'interaction disparaît et avec elle les oscillations. Dans la limite des faibles vitesses, le jet peut rester attaché à l'injecteur par des effets capillaires, ce qui empêche aussi les larges oscillations. Ces trois effets définissent le domaine d'existence des fontaines oscillantes.



États successifs d'une fontaine oscillante.