

> que Mars et Vénus n'en ont pas ou plus? Pour Vénus, la raison est probablement liée à sa faible vitesse de rotation. Pour Mars, c'est son refroidissement. La chaleur accumulée lors de sa formation s'est dissipée dans l'espace sous la forme de rayonnement infrarouge, et la différence de température entre le centre de la planète et sa surface est aujourd'hui insuffisante pour entraîner des mouvements de convection dans le noyau de fer. Or le temps de refroidissement est proportionnel au rayon de la planète, ce qui explique pourquoi Mars a perdu son champ magnétique et pas la Terre, qui est plus grosse. Mais comme Mercure est encore plus petite que Mars, on ne comprend pas pourquoi l'effet dynamo y subsiste encore.

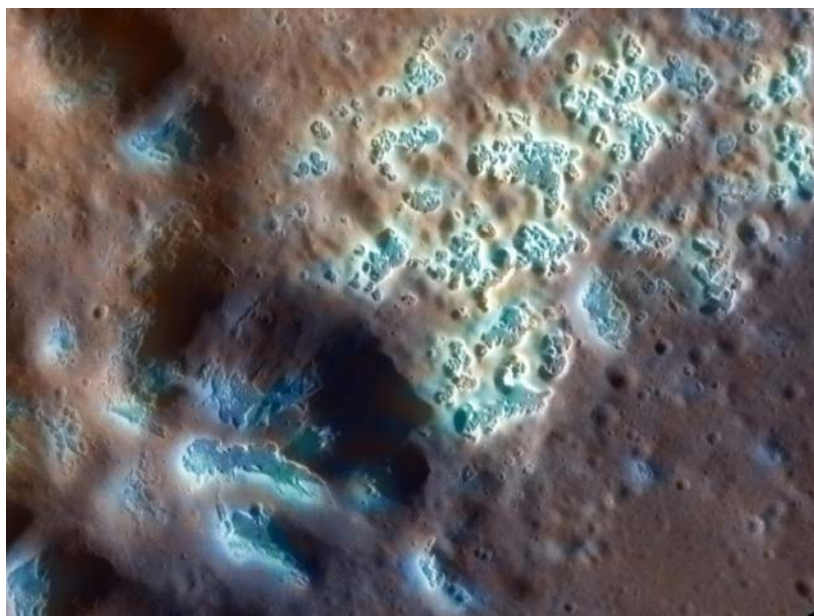
Que sait-on de la structure interne de Mercure?

À partir des données sur la masse de la planète et son diamètre, les scientifiques ont montré que c'est l'un des corps les plus denses du Système solaire. À titre de comparaison, Ganymède, une lune de Jupiter, est de taille comparable à Mercure alors que sa masse est deux fois moindre.

Pour expliquer une telle densité, le noyau de fer mercurien (plus lourd que la roche du manteau et de la croûte) doit représenter 60% de la masse totale de la planète. Le reste est constitué du manteau, d'environ 400 kilomètres d'épaisseur, et d'une croûte, épaisse de 50 kilomètres (sur un rayon total de 2440 kilomètres). Or pour la Terre ou Mars, le noyau de fer ne représente qu'environ 30% de la masse totale.

Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer cette structure surprenante. Mercure aurait eu une masse deux fois plus importante, mais une collision avec un planétésimal aurait pulvérisé une partie de son enveloppe rocheuse

Ces dépressions irrégulières (en bleu) à la surface de Mercure sont nommées *hollows* (« creux » en anglais). Leur nature est encore inconnue. Il est possible qu'elles continuent de se former aujourd'hui, auquel cas la surface de Mercure est loin d'être aussi inerte qu'on ne le pensait.



en laissant le noyau intact. Autre solution: lors de sa naissance dans la nébuleuse de gaz et de poussière du Soleil en formation, la planète se serait formée dans une région pauvre en matériau rocheux. Ce dernier aurait été repoussé au loin par la chaleur de la protoétoile, laissant une majorité d'éléments lourds tels que le fer. Il reste à départager ces scénarios. D'autant plus que, pour l'instant, les modèles de formation des planètes n'expliquent pas les propriétés de Mercure. Cette dernière est un peu le chaînon manquant de la planétologie. Nous avons besoin de mieux comprendre Mercure pour affiner nos modèles. Par la même occasion, nous en saurons alors plus sur la formation de la Terre et des planètes extrasolaires.

Le gros noyau de fer est-il la seule particularité de la structure de Mercure?

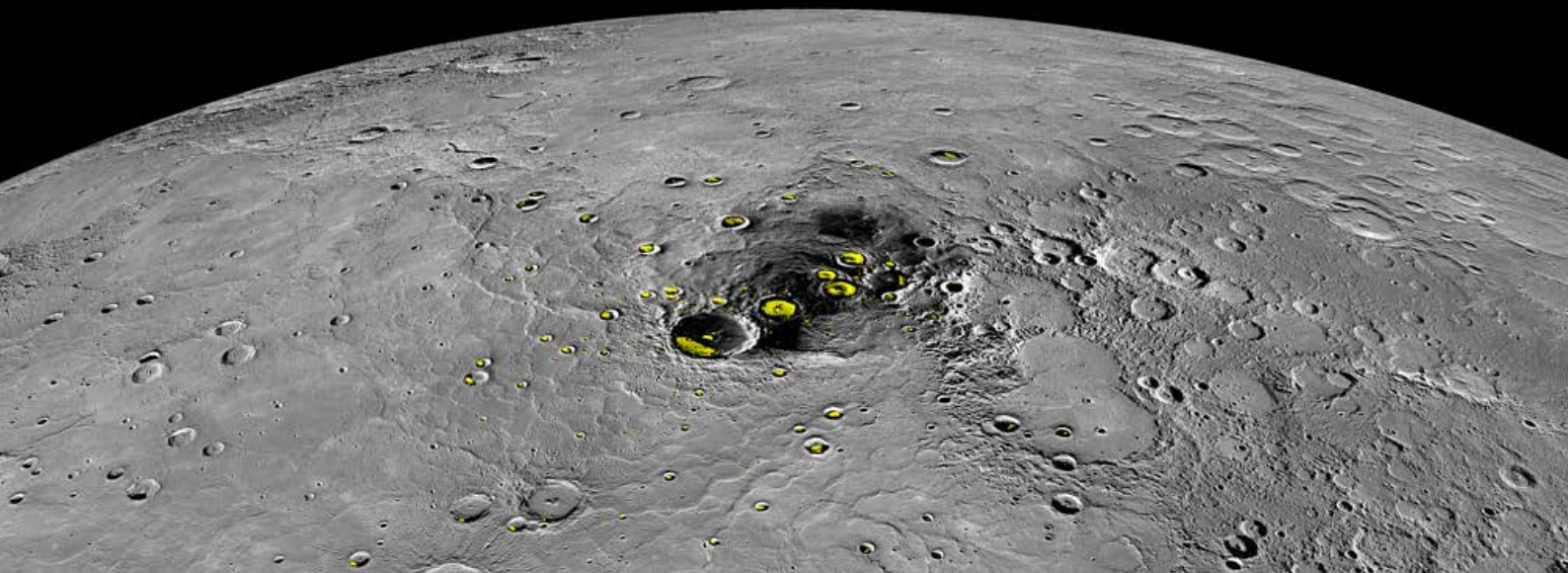
Si l'intérieur de Mercure est très riche en fer, à l'inverse, sa surface est très pauvre en éléments lourds, bien plus pauvre que la Lune par exemple. Là encore, nous n'avons pas d'explication. Et pour rajouter au paradoxe, la surface est riche en éléments volatils. Ces éléments légers devraient *a priori* s'échapper facilement de la planète; or ils sont toujours là sur Mercure, exposée au vent solaire et où la température peut monter jusqu'à 430 °C.

Autre différence avec la Lune, la surface de Mercure est deux fois plus sombre. On suppose qu'elle est recouverte d'une couche riche en carbone dont l'origine fait débat. Cette couche est peut-être due à la chute de météorites riches en carbone après la formation de la croûte. Mais elle pourrait aussi être plus ancienne: quand la surface de la planète en formation était recouverte d'un océan de magma, le carbone aurait flotté à la surface et y serait resté lorsque cet océan s'est refroidi et solidifié.

Vous indiquiez que *Mariner 10* n'avait pas détecté de traces de volcanisme sur Mercure. Cette inactivité a-t-elle été confirmée?

Non, au contraire. Dans les années 1990, grâce à de nouveaux outils d'analyse, Mark Robinson, de l'université d'État de l'Arizona, et Paul Lucey, de l'université d'Hawaï, ont décelé des plaines relativement lisses à la surface de la planète. En montrant que ces régions avaient une composition différente du reste de la surface, provenant probablement de matériaux de l'intérieur de la planète, ils ont montré que Mercure a eu une activité volcanique. D'après les données de *Messenger*, ce volcanisme aurait été de type explosif, à l'image du mont Saint Helens, et non effusif comme les volcans d'Hawaï, par exemple.

L'activité volcanique semble avoir duré assez longtemps, mais nous n'avons pas une chronologie précise de l'histoire géologique de



Le radiotélescope d'Arecibo a détecté des zones très réfléchissantes (en jaune) au fond des cratères d'impact situés aux pôles de Mercure. Privées en permanence de la lumière directe du soleil, ces dépressions sont très froides et pourraient ainsi contenir de la glace d'eau.

la planète. Autre témoignage de ce passé, la sonde *Messenger* a observé ce qu'on nomme des escarpements lobés. Ces failles peuvent s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres de long et présenter un dénivelé de un à deux kilomètres. On en trouve ailleurs dans le Système solaire, sur la Lune par exemple, mais pas aussi importantes que sur Mercure. Ces failles sont le résultat d'une contraction brutale lors du refroidissement de Mercure. Le rayon de la planète aurait diminué d'une dizaine de kilomètres en peu de temps. La croûte n'aurait pas suivi le mouvement assez vite et se serait craquelée sous les contraintes mécaniques.

Encore une fois, nous n'avons pas davantage de précisions sur les échelles de temps de cette contraction. L'un des objectifs de *BepiColombo* est de photographier en détail ces escarpements lobés afin de tenter de reconstruire l'histoire géologique de la planète.

Y a-t-il d'autres structures étonnantes que *BepiColombo* pourra étudier ?

Deux autres éléments de la surface de Mercure nous intéressent particulièrement. Le premier concerne la région des pôles. Il y existe des endroits qui ne sont jamais éclairés par le Soleil. En effet, l'inclinaison de la planète est nulle, c'est-à-dire que son axe de rotation est bien perpendiculaire au plan de l'orbite (contrairement à la Terre, dont l'axe Nord-Sud penche de 23,5 degrés). Il n'y a donc pas de saisons sur Mercure. Par conséquent, le fond des cratères d'impact situés aux pôles ne voit jamais la lumière du jour. Il est à peine réchauffé par les parois rocheuses et la température y est très basse, environ -230 °C. Il y fait donc plus froid que du côté nuit de la planète, où la température descend jusqu'à -180 °C à peu près.

Dans les années 1990, le radiotélescope d'Arecibo, à Porto Rico, a observé les régions polaires de Mercure. La planète est assez proche de la Terre pour que l'on puisse y

envoyer un signal radio et analyser l'écho qui nous revient. Ces données ont montré que le fond des cratères polaires contient un matériau très réfléchissant (voir l'image ci-dessus). Il pourrait s'agir de glace d'eau, une hypothèse que les instruments de *BepiColombo* pourront confirmer ou infirmer. Si c'est bien de l'eau, elle se serait accumulée pendant des milliards d'années, grâce à l'apport des comètes riches en glace. Il est captivant de se dire qu'il pourrait y avoir de l'eau si proche du Soleil. Ces cratères pourraient être une cible de choix pour une future mission comprenant un atterrisseur.

Et en dehors des régions polaires ?

L'autre particularité de la surface de Mercure qui a attiré notre attention concerne des dépressions irrégulières et peu profondes, nommées *hollows*, des « creux » (voir la photographie page ci-contre). Sur les images en fausses couleurs, elles apparaissent d'un bleu intense, mais elles sont effectivement un peu bleutées et très brillantes. On les connaît depuis *Mariner 10*, mais ce sont les images de *Messenger* qui ont permis d'en répertorier des milliers et d'en voir les détails. Les *hollows* semblent assez jeunes et continuent peut-être à se former aujourd'hui. Ce serait le signe que la surface de Mercure évolue encore et qu'elle n'est pas inerte comme on l'a longtemps pensé. Ces petites structures, à des échelles inférieures au kilomètre (les plus grandes ont un diamètre d'environ 1,6 kilomètre), se trouvent partout à la surface de la planète et surtout dans des cratères d'impact, mais pas uniquement. On en trouve aussi dans les plaines, hors des cratères.

On est loin de comprendre leur formation et leur composition. Il s'agit peut-être d'un matériau souterrain qui s'est retrouvé en surface et qui se serait ensuite sublimé (passant de l'état solide à gazeux), ce qui expliquerait la forme irrégulière des *hollows*.

La sonde européenne MPO (Mercury Planetary Orbiter), l'une des deux composantes de la mission BepiColombo, lors de son arrivée à la base de Kourou, en Guyane.



> **Quels sont les atouts de BepiColombo, par rapport à la mission Messenger?**

Messenger a recueilli beaucoup d'informations et révélé la grande singularité de Mercure, qui est loin d'être une « Lune bis » contrairement à ce que l'on pensait au début de l'exploration du Système solaire. Mais les découvertes de Messenger ont soulevé beaucoup de questions restées sans réponses. C'est en fait assez normal. Messenger était une mission du programme Discovery de la Nasa; ces projets dédiés à l'exploration robotisée du Système solaire (à l'exception du satellite Kepler spécialisé dans la recherche d'exoplanètes) ont un budget limité à moins de 500 millions de dollars. L'idée était de faire des missions fréquentes, aux objectifs variés et à un coût limité. C'est pourquoi Messenger n'avait que sept instruments à son bord – deux caméras, des spectromètres, un altimètre et un magnétomètre.

La sonde BepiColombo, dont le budget est presque triple, embarque 16 instruments scientifiques, plus sensibles et plus précis. Ils devraient nous permettre de collecter de nombreuses données et de répondre aux grandes questions sur Mercure, son histoire, sa structure interne, son champ magnétique et son exosphère.

Exosphère? De quoi s'agit-il?

L'atmosphère de Mercure est si ténue que l'on parle plus volontiers d'exosphère. La différence entre une atmosphère et une exosphère est que, dans la seconde, une molécule de gaz a plus de chance de percuter la surface de la planète qu'une autre molécule de gaz. On est typiquement à 10^{-12} bar, soit un millionième de millionième de la pression atmosphérique à la surface de la Terre.

L'exosphère de Mercure contient de l'hydrogène, de l'hélium, de l'oxygène, du sodium, du potassium, du calcium et des traces d'autres éléments. Leur distribution n'est pas homogène et elle varie au cours du temps. Par exemple, on trouve le sodium et le potassium surtout près des pôles et le calcium vers l'équateur.

L'atmosphère primordiale de la planète a probablement été perdue assez rapidement du fait de la faible gravité de la planète, de la température élevée et de l'action du vent solaire. L'exosphère perd son contenu en permanence, mais elle est alimentée par différents processus. L'hydrogène et l'hélium viendraient principalement du vent solaire. Et les autres éléments seraient arrachés à la surface, selon un mécanisme qui reste à préciser: érosion par le vent solaire? Variations thermiques entre les zones éclairées à 430 °C et à l'ombre à -180 °C? Impacts des météorites?

Cette exosphère interagit avec le vent solaire, mais aussi avec la magnétosphère de la planète. Mercure est un système vraiment intéressant pour étudier comment ces différents éléments se comportent les uns avec les autres. Par exemple, le sodium est arraché de l'exosphère par la pression de radiation du Soleil, et forme une queue comparable à celle d'une comète, sur plus de deux millions de kilomètres.

Comment BepiColombo étudiera-t-elle l'exosphère et la magnétosphère?

Cette mission est en réalité constituée de deux sondes, fruits d'une collaboration entre l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Agence spatiale japonaise (Jaxa), ce qui est une première. L'idée était d'avoir deux sondes aux missions complémentaires, avec une stratégie