

BEPICOLOMBO, PREMIER RENDEZ-VOUS AVEC MERCURE

Léa Griton, docteure en astrophysique à l'IRAP,
chercheuse spécialisée en physique des plasmas dans le Système solaire

Le 1^{er} octobre 2021, la sonde interplanétaire BepiColombo va effectuer son premier survol de Mercure depuis son lancement, en octobre 2018. L'occasion pour les scientifiques spécialistes de se préparer à la mise en orbite autour de Mercure en décembre 2025.

BepiColombo est une sonde d'exploration spatiale à destination de Mercure. Après trente ans de préparation scientifique et technologique, BepiColombo a quitté la Terre le 19 octobre 2018 depuis le centre spatial guyanais, à Kourou, lors d'un magnifique lancement d'une fusée Ariane. Depuis, sa trajectoire a évolué pour lui permettre de se rapprocher de Mercure à une vitesse raisonnable.

Jusqu'en avril 2020, c'était une orbite elliptique autour du Soleil, dans le sillage de la Terre, puisque l'impulsion initiale donnée par la fusée Ariane ne permettait pas d'aller beaucoup plus loin. Les deux survols de Vénus en octobre 2020 puis en août 2021 ont permis à la sonde de se rapprocher du Soleil pour pouvoir croiser Mercure cet automne.

Mercure, une petite planète et de grandes questions

Mercure est extrêmement difficile à observer depuis la Terre : visible uniquement une heure avant le lever du Soleil ou une heure après son coucher, cette planète portait d'ailleurs deux noms différents chez les Grecs anciens : Apollon le matin et Hermès le soir. Avant l'ère spatiale, notre connaissance de la planète était extrêmement limitée, ainsi qu'en témoigne la carte ci-contre, réalisée en 1934 par Eugène Antoniadi (1870-1944), qui a utilisé la grande lunette de l'Observatoire de Meudon, en région parisienne (aujourd'hui l'Observatoire de Paris). Cette carte est considérée comme la plus fiable avant celles dressées à partir des observations de *Mariner 10*, lancée en novembre 1973.

Mercure est une planète difficile d'accès pour un vaisseau spatial : si l'on se dirige vers elle un peu trop vite, il devient difficile de « freiner » pour pouvoir la survoler lentement ou se mettre en orbite autour d'elle, sans tomber sur le Soleil. La présence du Soleil complique les opérations, tant au regard de la vitesse d'approche que des questions de température. *Mariner 10* est la dernière sonde du programme Mariner de la Nasa, et la première qui utilise la technique de l'assistance gravitationnelle pour survoler Vénus et Mercure, entre 1973 et 1975.

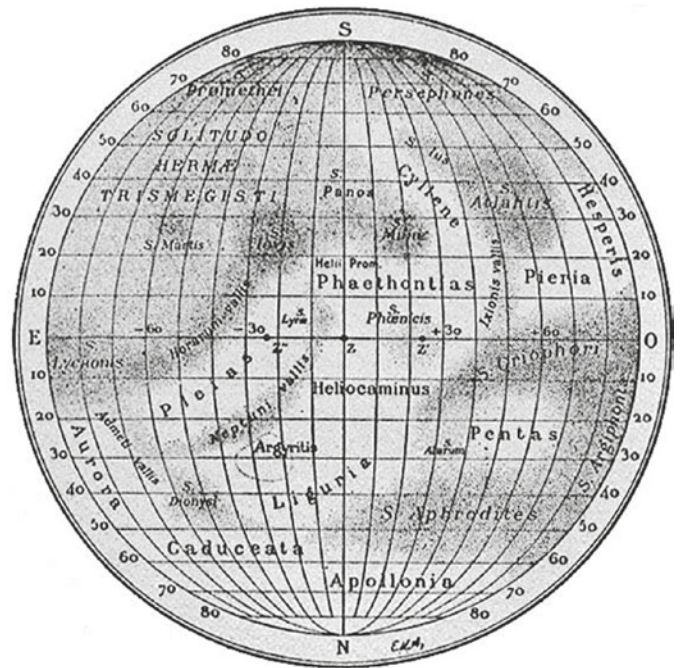


Fig.1. Carte de Mercure par E. Antoniadi (1934). Crédits : Observatoire de Paris.

Un détail important pour la suite de cette histoire : cette technique d'assistance gravitationnelle est alors proposée à la Nasa par un chercheur italien, Giuseppe (Bepi) Colombo, décédé en 1984. *Mariner 10* permet de faire les premières grandes découvertes : la surface de Mercure, photographiée à 40 %, ressemble à celle de la Lune, aucun des deux corps n'ayant a priori d'atmosphère. Mais surtout, *Mariner 10* détecte un champ magnétique suffisant pour entretenir une magnétosphère (comme sur Terre, alors que ni Mars ni Vénus n'en ont), et mesure en outre une densité suggérant que le noyau de Mercure est extrêmement gros par rapport au rayon de la planète (celui de la Lune est très petit). Tout bien considéré, Mercure ne ressemble donc pas tellement à la Lune. Les deux survols de Mercure par *Mariner 10* ne font qu'intriguer encore plus les scientifiques. Comment une planète si petite peut-elle avoir un champ magnétique aussi fort ? Comment réagit-elle à la présence si proche du Soleil ? Quelle est son histoire géologique ? Comment peut-elle nous aider à comprendre le sort des exoplanètes, surtout de celles très proches de leur étoile ? Commence alors une course entre



agences spatiales : laquelle sera la première à en savoir davantage ?

Une première proposition scientifique est soumise à l'Agence spatiale européenne (l'Esa) en 1993, mais le projet prend du retard, et c'est la Nasa qui envoie, en 2004, la sonde *Messenger*, une version plus rapide, moins coûteuse mais également moins prometteuse que le projet européen en cours de développement. *Messenger* se place en orbite autour de Mercure en 2011, et y reste jusqu'au printemps 2015. L'orbite de *Messenger*, qui vise à répondre à une multitude de questions, est assez particulière : la sonde passe très près du pôle Nord de Mercure, mais très loin du pôle Sud, pour pouvoir explorer à la fois la surface de l'hémisphère nord ainsi que l'environnement de la planète et son interaction avec le vent solaire dans l'hémisphère sud.

Cette orbite permet cependant de cartographier la surface entière, même si la résolution spatiale est faible dans l'hémisphère sud, et de relever des indices sur la composition minéralogique de la planète. À l'intérieur de certains cratères, près du pôle Nord, où il fait en permanence $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$, on détecte de la glace d'eau. Côté jour, il fait plus de $430\text{ }^{\circ}\text{C}$, Mercure est la planète du Système solaire où règne à la surface le plus grand écart de température. On trouve la trace de nombreuses cheminées volcaniques, témoignant d'une importante activité interne passée.

Le champ magnétique mesuré apparaît comme un dipôle (avec un pôle Nord magnétique et un pôle Sud, comme le champ magnétique des aimants ou celui de la Terre), décalé vers l'hémisphère nord par rapport à l'équateur. On

détecte des gaz, observés également depuis la Terre, qui restent accrochés à la planète sans pour autant constituer une atmosphère : on appelle cela une « exosphère », et celle de Mercure apparaît très dynamique. Les découvertes de *Messenger* sont nombreuses, et très bien expliquées (en anglais) sur le site internet de la Nasa dédié à la mission.

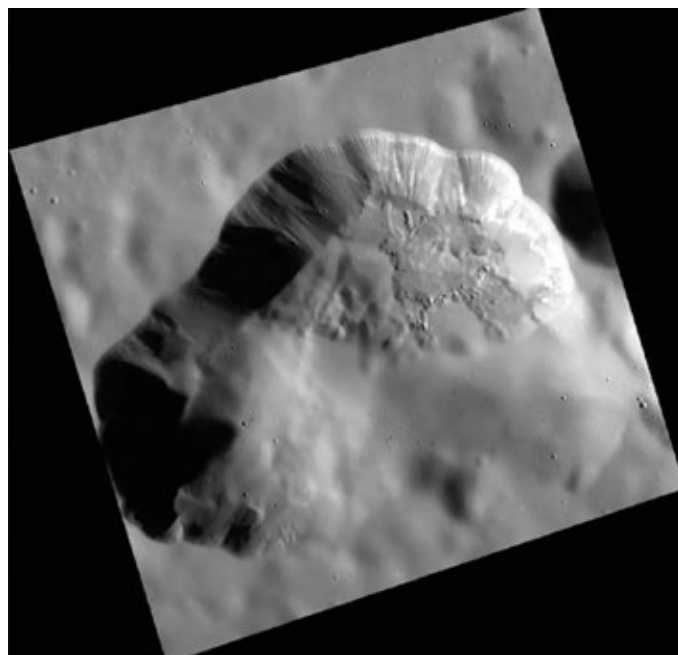


Fig.2. Cheminée volcanique près du cratère Rachmaninov (la diagonale de l'image mesure environ 55 km), crédits : Nasa/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.

La mission **BepiColombo**, véritable cathédrale de l'exploration spatiale

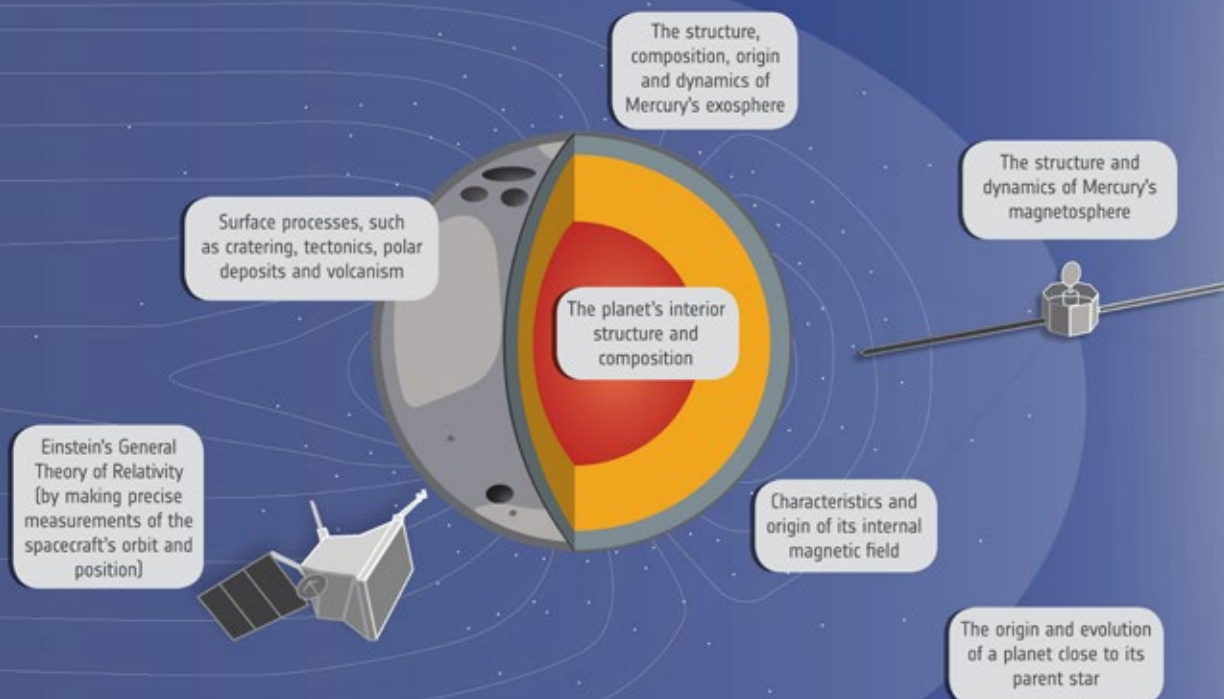
BepiColombo, ainsi nommée en l'honneur du scientifique italien Giuseppe (Bepi) Colombo (1920-1984), est une mission composée non pas d'une, mais de deux sondes spatiales, qui seront déployées en même temps autour de Mercure. Afin d'arriver à Mercure à une vitesse suffisamment faible pour une mise en orbite, *BepiColombo* fera en tout dix-huit fois le tour du Soleil, en profitant de l'assistance gravitationnelle de la Terre, de Vénus et de Mercure pour changer progressivement d'orbite, sans avoir besoin de trop de carburant, selon l'idée de « Bepi » Colombo dans les années 1970. Pour effectuer ce long voyage, l'Agence spatiale européenne a conçu un module spécial muni de grands panneaux solaires et de quatre systèmes de propulsion ionique. À la fin de cette longue phase de croisière, le module de transfert libère les deux sondes scientifiques en orbite autour de Mercure. La mise en orbite synchronisée de deux sondes autour d'une planète est une première dans l'histoire de l'exploration spatiale. L'une des sondes, le Mercury Planetary Orbiter (MPO), est conçue par l'Esa, qui est également chargée du module de transfert (MTM) – pourvu de grands panneaux solaires et de quatre moteurs à propulsion ionique, pour effectuer le voyage de la Terre à Mercure – et du bouclier thermique de l'autre sonde, le Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO), fabriquée, quant à elle, par le Japon.

Fig.3. Les objectifs des deux sondes de BepiColombo sont très complets : de l'intérieur de la planète à la magnétosphère, toutes les communautés scientifiques vont avoir des données exceptionnelles et inédites à exploiter, crédits : Esa.

BepiColombo est donc mieux à même que *Messenger* d'apporter des réponses plus précises à six grandes questions scientifiques.

- La première consiste à étudier Mercure en tant que planète très proche de son étoile : du fait de nos méthodes actuelles de détection, les milliers d'exoplanètes découvertes sont souvent très proches de leur étoile, et l'exemple de Mercure nous permettra de mieux comprendre l'effet d'une telle proximité sur la planète.
- La deuxième, c'est comprendre Mercure en tant que planète de type terrestre : surface, histoire géologique, composition interne.
- En troisième lieu, les instruments de BepiColombo doivent permettre de mieux caractériser l'exosphère de Mercure : quels gaz ? En quelle quantité ? Quelle évolution dans le temps et l'espace, notamment au cours des hivers ? Le spectromètre français Phebus, conçu sous la responsabilité scientifique et technique du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos), dédié à cette recherche, se trouve sur l'Orbiteur planétaire (MPO).
- La quatrième grande question porte sur la magnétosphère de Mercure (voir illustration) et son interaction avec le vent solaire, le gaz si particulier qui s'échappe du Soleil en permanence, à plus d'un million de kilomètres par heure, propageant avec lui le champ magnétique du Soleil jusqu'aux confins du Système solaire. Mercure est la seule planète du Système solaire possédant une magnétosphère dont la taille caractéristique est du

→ BEPICOLOMBO SCIENCE THEMES



même ordre de grandeur que la taille de la planète. Parce qu'elle est si petite et si proche du Soleil, son interaction avec le vent solaire doit être étudiée en détail pour approfondir notre connaissance de la physique des magnétosphères. En effet, la Terre possède une magnétosphère qui nous protège, nous, nos satellites artificiels et toutes nos installations électriques, des tempêtes de vent solaire. Tandis que ni Mars ni Vénus n'ont un champ magnétique intrinsèque suffisant pour entretenir une magnétosphère de type terrestre. Les phénomènes détectés autour de Mercure nous permettront donc peut-être d'en apprendre davantage sur notre propre magnétosphère. Les deux sondes de BepiColombo emportent avec elles des instruments qui donneront des mesures inédites en matière de physique des plasmas, notamment Sorbet, un instrument fabriqué à l'Observatoire de Paris, au Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lésia), qui détectera la densité et la température des électrons autour de Mercure grâce à une méthode développée dans ce laboratoire et désormais utilisée dans le cadre de nombreuses missions spatiales, telle la récente Parker Solar Probe, envoyée en 2018 explorer le Soleil. Sorbet fait partie de l'Instrument des ondes des plasmas (PWI), embarqué sur la sonde japonaise. Un autre exemple, les analyseurs d'électrons « MEA », qui font partie de l'Expérience des particules de plasmas de Mercure (MPPE), ont été fabriqués à Toulouse, à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (Irap), et se trouvent eux-aussi sur MMO. En tout, ce sont huit laboratoires français qui ont apporté une contribution instrumentale à la mission.

- La cinquième question concerne l'origine du champ magnétique de Mercure, qui reste un grand mystère. Les deux sondes possèdent chacune un magnétomètre et des campagnes d'observations coordonnées entre elles deux sont prévues afin de dresser la carte la plus détaillée possible du champ magnétique de la planète.
- Enfin, sixième point, on va pouvoir vérifier si l'orbite de Mercure autour du Soleil « colle » avec les calculs de la relativité générale d'Einstein : en effet, Mercure est si proche du Soleil que l'on ne peut comprendre sa trajectoire autour du Soleil si l'on ne prend en compte la théorie de la relativité générale. Celle-ci n'ayant à ce jour jamais été mise en défaut, les scientifiques sont toujours curieux de voir si elle fonctionne encore quand on augmente la précision des mesures.



Fig.4. En avril 2020, BepiColombo a pris cette image très émouvante de la Terre, lors de sa dernière occasion de lui dire au revoir. Crédits : Léa Griton/Lésia.

L'essentiel des instruments de *BepiColombo* ne sera mis en marche qu'après la mise en orbite autour de Mercure, en décembre 2025. Michel Moncuquet, PI (*Principal Investigator*, autrement dit responsable scientifique) de l'instrument Sorbet, aime décrire *BepiColombo* comme une « cathédrale » : la mission a été planifiée il y a plus de trente ans, et certains scientifiques du début sont ou seront partis à la retraite bien avant de voir les données arriver sur Terre. Il faut donc que la nouvelle génération prenne le relais, connaisse les instruments et les objectifs scientifiques pour pouvoir assurer l'exploitation des dites données à partir de 2025 (et durant plusieurs décennies après la fin prévue de la mission, en 2027 ou 2028).

Les responsables scientifiques des agences spatiales impliquées veillent donc particulièrement à intégrer les doctorants et les jeunes chercheurs dans les colloques scientifiques de *BepiColombo*. Cet aspect intergénérationnel et la dimension très internationale du projet (seize pays européens impliqués, en plus du Japon) font que celui-ci mobilise une grande famille scientifique très soudée, qui s'apprête à célébrer comme il se doit le troisième anniversaire de *BepiColombo* dans l'espace.

Bonne route, *BepiColombo* !