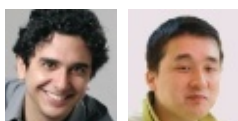


LES AUTEURS



Michel MAHARBIZ est professeur de génie électrique et d'informatique à l'Université de Californie à Berkeley (États-Unis). Hirotaka SATO travaille dans son laboratoire.

de l'espèce *Mecynorrhina torquata* : pesant huit grammes, elles conviennent bien pour porter à la fois la radio et les charges que nous avons développées.

Aussi spectaculaires que puissent être certains de ces résultats, les efforts sont à poursuivre. Certes, nous avons montré que nous pouvons faire tourner un scarabée à gauche et à droite et lui faire parcourir des trajectoires à peu près circulaires. Mais l'objectif à terme est de guider le vol d'un scarabée suivant des schémas complexes en trois dimensions, de façon que l'insecte puisse contourner des obstacles, par exemple descendre le long des cheminées et remonter des tuyaux.

Pour ce faire, nous avons ajouté à la charge transportée de minuscules microphones, qui enregistrent les battements d'ailes de l'insecte en vol. Quand le son atteint un niveau donné, indiquant généralement quand l'aile est en position haute

enregistrement à haute fréquence de scarabées en vol. Il s'agit de cartographier la configuration tridimensionnelle et la fonction de certains autres muscles qui gouvernent l'orientation des ailes. À partir de ces données, nous visons maintenant différents muscles susceptibles de nous permettre de contrôler les mouvements de roulis et de tangage de façon plus indépendante.

Devons-nous fabriquer des scarabées-robots ?

La question de savoir si des insectes télécommandés seront utiles comme robots ou non est ouverte, mais nous pressentons que tel sera le cas. Des radios et des microcontrôleurs plus petits et de faible puissance continueront à apparaître sur le marché et nous permettront de contrôler mieux et plus finement nos cyber-scarabées. Tant qu'il sera difficile de développer de petites sources d'alimentation artificielles ou de construire des ailes mécaniques très économes en énergie, nos scarabées et leurs muscles super-efficaces auront un net avantage sur des objets volants entièrement fabriqués par l'homme.

Parmi toutes les applications que pourraient avoir nos travaux, nous pensons que la plus essentielle est la suivante : à mesure que la technologie informatique se miniaturise et que la connaissance des systèmes biologiques progresse, nous serons de plus en plus tentés d'introduire des interfaces et des boucles de contrôle dans des systèmes biologiques existants. La mise au point des détails en commençant par des insectes nous évitera de commettre des erreurs en procédant sur des organismes supérieurs tels que le rat ou la souris, voire l'homme. Cela nous permet aussi de repousser à plus tard de nombreux problèmes éthiques plus profonds, qui concernent notamment le libre arbitre, problèmes qui deviendraient plus pressants si ces travaux étaient réalisés chez des vertébrés.

Le développement de cyberinsectes ne remplacera pas la démarche fondamentale qui consiste à concevoir et construire des robots entièrement artificiels. Toutefois, ce type de travaux relève d'une démarche plus générale consistant à relier des tissus vivants à des dispositifs artificiels, que ce soit dans un contexte biologique, médical ou robotique. Et cette approche visant à atteindre une fusion parfaite entre éléments biologiques et éléments synthétiques n'en est qu'à ses débuts. ■

LA DÉMARCHE VISANT À ATTEINDRE

une fusion parfaite entre éléments biologiques et éléments fabriqués par l'homme n'en est qu'à ses débuts.

ou basse du battement, nous pouvons appliquer des impulsions de stimulation précises aux muscles directeurs du scarabée, pour les contrôler plus finement.

À ce stade, le matériel fonctionne très bien, mais nous avons besoin d'aide pour les programmes informatiques qui contrôlent nos coléoptères. Nous avons fait appel à certains de nos collègues ayant plus d'expérience sur les logiciels d'objets volants entièrement fabriqués. En s'appuyant sur ses travaux relatifs à des hélicoptères autonomes, Pieter Abbeel, de l'Université de Californie à Berkeley, avec ses étudiants Svetoslav Kolev et Nimbus Goehausen, développe un système de contrôle pour insectes, qui décompose les commandes complexes (telles que « changer le cap de 20 degrés ») en leurs éléments constitutifs (comme « appliquer des impulsions de dix millisecondes au muscle basilaire droit pendant tant de secondes »). Un utilisateur n'aura alors plus qu'à entrer certaines corrections de route et le microcontrôleur prendra en charge les stimulus nécessaires pour faire voler l'insecte dans cette direction.

Pour déterminer quelle doit être cette série de stimulus, nous faisons appel à l'imagerie par résonance magnétique, à des examens anatomiques approfondis et à des

✓ BIBLIOGRAPHIE

H. Sato et al., Remote radio control of insect flight, *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 3, article 24, 5 octobre 2009.

N. Ando et al., A dual-channel FM transmitter for acquisition of flight muscle activities from the freely flying hawkmoth, *Agrius convolvuli*, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 115[2], pp. 181-187, 2002.

M. H. Dickinson et al., Wing rotation and the aerodynamic basis of insect flight, *Science*, vol. 284, pp. 1954-1960, 1999.

H. Fischer et al., A radiotelemetric 2-channel unit for transmission of muscle potentials during free flight of the desert locust, *Schistocerca gregaria*, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 64[1], pp. 39-45, 1996.

La sélection **POUR LA SCIENCE**

Des livres scientifiques à la pointe de l'actualité



Le plus grand des hasards Surprises quantiques

Jean-François Dars et Anne Papillault

Comment pensent et à quoi rêvent les physiciens quantiques ? Soixante-cinq d'entre eux, couverts d'honneurs ou abordant leur thèse, racontent leurs hésitations, leurs angoisses, leurs efforts, leurs fatigues, leurs fureurs, leurs espoirs... Un témoignage précieux sur une science intrigante, accompagné de superbes photographies de ces chercheurs de l'extrême.

978-2-7011-5605-7 • 224 p. • 20,00 €



Les déchiffreurs Voyage en mathématiques

Jean-François Dars, Annick Lesne et Anne Papillault

Qui sont les mathématiciens ? Comment travaillent-ils ? Qu'est ce que l'intuition ? Autant de réponses que de questions dans cet ouvrage, où une cinquantaine de chercheurs, professeurs mondialement reconnus, médailles Fields ou jeunes thésards, proposent leur vision des mathématiques. Une plongée dans l'intimité de la création mathématique.

978-2-7011-4737-6 • 208 p. • 20,00 €



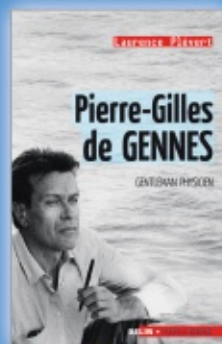
C. Ray et J.-C. Poizat

978-2-7011-4552-5 • 160 p. • 23,50 €



G. Pietryk

978-2-7011-3972-2 • 304 p. • 27,50 €



L. Plévert

978-2-7011-5228-8 • 368 p. • 23,00 €



B. Valeur

978-2-7011-4751-2 • 160 p. • 23,90 €



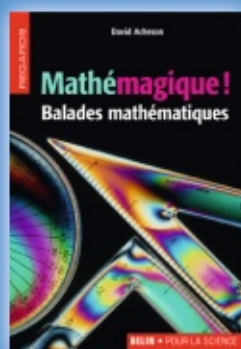
J.-P. Delahaye

978-2-8424-1825-0 • 224 p. • 24,00 €



J.-P. Delahaye

978-2-8424-5090-8 • 192 p. • 24,00 €



D. Acheson

978-2-7011-4285-2 • 176 p. • 18,50 €



N. Gauvrit

978-2-7011-4622-5 • 240 p. • 25,00 €

Feuilletez les premières pages de notre sélection de livres en exclusivité et commandez en ligne sur notre site

www.pourlascience.fr

Mercur : une planète dans la fournaise

Scott Murchie, Ronald Vervack Jr. et Brian Anderson

Après trois survols, la sonde MESSENGER s'est mise en orbite autour de Mercure pour observer en détail cette planète méconnue.

Avec un diamètre 2,5 fois plus petit que celui de la Terre et un vingtième de sa masse, Mercure est la plus petite planète du Système solaire. C'est aussi la plus proche du Soleil : son orbite, la plus excentrique de toutes, s'en approche jusqu'à 46 millions de kilomètres et s'en éloigne de 70 millions. C'est le seul objet du Système solaire où trois jours durent deux années. La température à sa surface varie de 600°C entre le jour et la nuit. Cette étonnante planète rocheuse, formée de la même façon et à la même époque que les autres planètes du Système solaire interne – Vénus, la Terre et Mars –, renferme sans doute une part du secret de leur naissance.

Pour autant, Mercure est la moins explorée des planètes intérieures. Vue de la Terre, elle est toujours très proche du Soleil, et dissimulée aux télescopes par l'éclat de notre astre. Profondément enfoncée dans le potentiel gravitationnel du Soleil, elle représente aussi un défi pour les missions spatiales. Ce n'est que le 29 mars 1974 que la sonde spatiale *Mariner 10*, en survolant pour la première fois Mercure, a livré le premier aperçu correct de ce minuscule enfer. Elle y a découvert l'un des plus grands bassins d'impact du Système solaire, le bassin *Caloris*, ainsi que l'existence d'un champ magnétique et la présence d'une atmosphère très ténue (ou exosphère). Mais ce survol et les deux autres qui ont suivi à un jour mercurien d'intervalle n'ont permis d'obtenir des images que d'un seul hémisphère. La moitié du bassin *Caloris*, en par-

ticulier, restait masquée par l'obscurité. Il aura fallu attendre 34 ans et des progrès notables en matière d'ingénierie spatiale pour apercevoir le bassin éclairé dans son intégralité. Le 14 janvier 2008, après un voyage de trois ans et demi, la sonde américaine MESSENGER a survolé Mercure, et la première image transmise était pratiquement centrée sur le bassin *Caloris*. La surface ressemblait à une image de la Lune en négatif : les cratères rappelaient ceux de notre satellite, mais au lieu d'être rempli de lave sombre, *Caloris* est occupé par des plaines claires. Cette différence est encore mal comprise.

Ce 18 mars, la sonde MESSENGER devrait avoir réalisé ce que *Mariner 10* n'a pas pu faire : se mettre en orbite autour de Mercure pour étudier la planète en détail pendant environ un an. MESSENGER (pour *MERcury Surface, Space ENvironment, GEOchemistry and Ranging*, ou Surface, environnement spatial, géochimie et localisation spatiale de Mercure) est conçue pour répondre à six questions principales : quelle est la composition de la surface de Mercure ? Quelle est l'histoire géologique de la planète ? Comment une planète aussi petite peut-elle être dotée d'un champ magnétique global ? Son noyau métallique est-il encore fondu ? Les zones où la signature radar est très brillante et qui ont été détectées aux pôles de Mercure abritent-elles de la glace ? Quels processus dominent l'atmosphère ténue de la planète ? La mission MESSENGER devrait enfin terminer ce que *Mariner 10* n'avait fait qu'à moitié.

L'ESSENTIEL

✓ Seulement une fois et demie plus grande que la Lune, Mercure présente néanmoins certaines caractéristiques de la Terre, comme un champ magnétique global et des signes d'activité géologique datant d'un milliard d'années.

✓ En 2008 et 2009, la sonde MESSENGER a effectué les premiers survols de Mercure depuis les années 1970. Elle a livré les premières images complètes d'un hémisphère qui n'avait jamais été vu en entier, et a détecté la riche activité de la magnétosphère.

✓ Le 18 mars, elle s'est placée en orbite autour de Mercure. Une année d'observation détaillée commence.

Don Foley

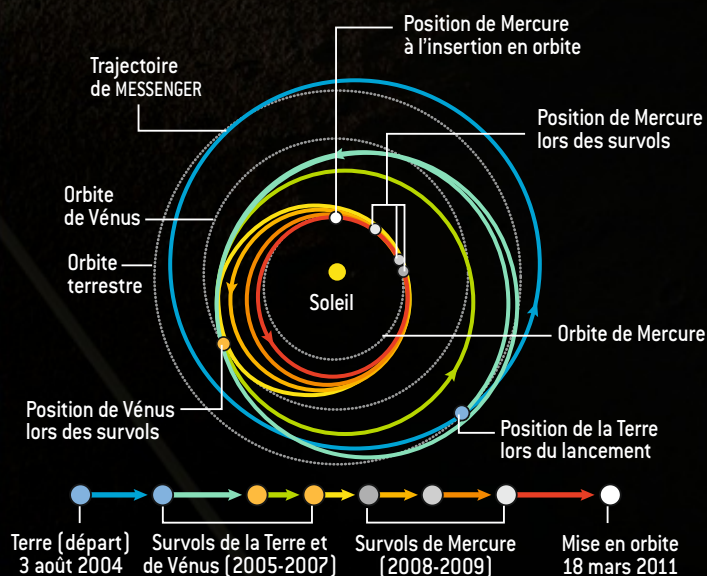
UNE DESCENTE AUX ENFERS

Une des raisons pour lesquelles il a fallu trois décennies pour organiser la suite de la mission *Mariner 10* est qu'atteindre Mercure et y survivre représentent de sérieux défis technologiques. Une sonde placée sur une trajectoire directe vers Mercure tombe dans le champ gravitationnel du Soleil et atteint une vitesse qui dépasse de 13 kilomètres par seconde la vitesse orbitale de Mercure. Un moteur classique est incapable de ralentir la sonde suffisamment pour qu'elle soit capturée en orbite par le champ gravitationnel de la planète. En termes d'énergie, la planète Mercure est plus difficile à atteindre que Jupiter, même si cette dernière est bien plus éloignée.

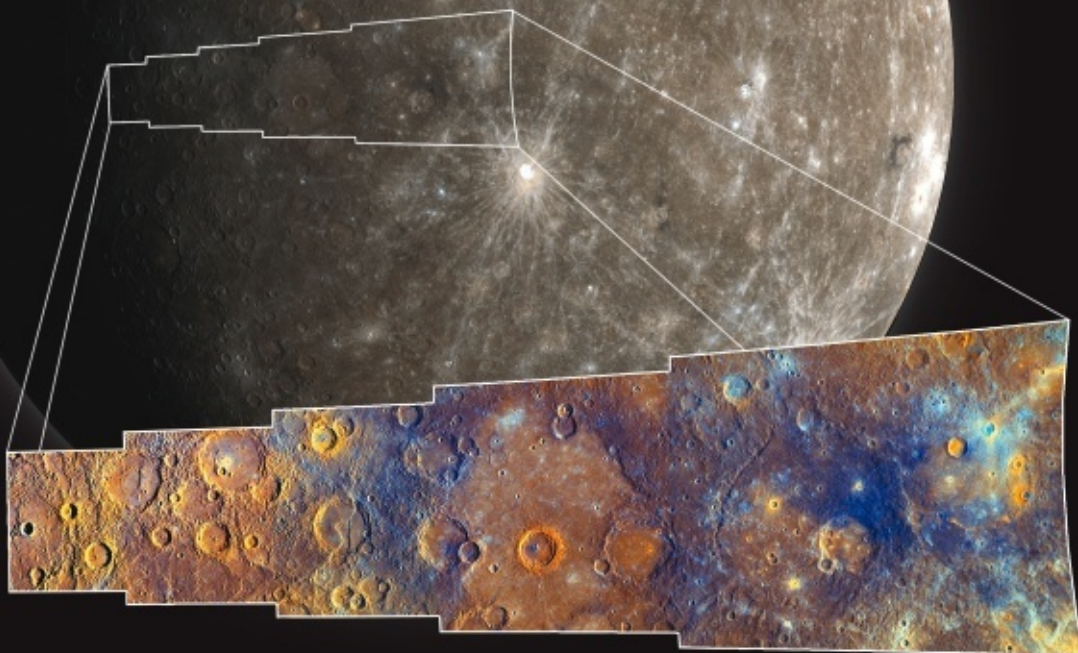
Pour parvenir à se mettre en orbite, la sonde MESSENGER a suivi une trajectoire complexe, en survolant d'abord la Terre, puis deux fois Vénus, et enfin trois fois Mercure avant de se mettre en orbite. À chaque survol, une partie de la quantité de mouvement de la sonde était transférée à la planète. Cet effet de « fronde gravitationnelle » est d'habitude utilisé en sens inverse pour accélérer les sondes vers les planètes extérieures. Dans ce cas, il a permis à la sonde de ralentir de 11 kilomètres par seconde en six ans et demi. Cette trajectoire restait néanmoins gourmande en énergie. La sonde est pour l'essentiel un « réservoir volant » : au lancement, sa masse totale s'élevait à 1 100 kilogrammes, dont 600 de combustible ❶. Atteindre Mercure n'était que la moitié de la difficulté. Au niveau de l'orbite de Mercure, le Soleil est jusqu'à 11 fois plus brillant que sur Terre, et la surface de la planète atteint des températures assez élevées pour faire fondre le zinc. Pour s'en prémunir, le vaisseau est abrité derrière un bouclier thermique ❷ en fibres de céramique tissées. Les panneaux solaires ❸ dépassent évidemment de ce bouclier mais, bien qu'ils soient conçus pour fonctionner à des températures élevées, ils sont fortement inclinés pour n'absorber qu'une petite fraction de la lumière solaire et éviter la surchauffe.

Les instruments doivent également être exposés pour observer la surface. Pour supporter la température, la caméra ❹ est installée sur un bloc de 400 grammes de paraffine. Quand la sonde est basse sur son orbite, la paraffine fond, absorbant de la chaleur ; quand la sonde est en altitude ou du côté nuit, la paraffine regèle jusqu'au prochain survol.

Autre défi, Mercure tourne très lentement sur elle-même. Un jour sur Mercure dure 176 jours terrestres. Ainsi, de nombreux sites ne seront visibles sous un angle d'observation idéal que pendant quelques courtes périodes durant cette mission d'une année terrestre.



Jen Christianson, source : NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington



UNE GÉOLOGIE PLUS ACTIVE QU'IL N'Y PARAÎT

Avant *Mariner 10*, certains scientifiques s'attendaient à ce que Mercure soit aussi inerte que notre Lune d'un point de vue géologique. Une planète cesse d'être active lorsque sa source de chaleur interne se tarit. Le délai dépend de la taille : plus l'objet est petit, plus sa surface est importante par rapport à son volume, et donc plus il refroidit vite. Mercure n'étant que 1,5 fois plus grande que la Lune, son destin géologique aurait dû être semblable.

Mariner 10 a remis cette idée en question lorsqu'elle a révélé des images de vastes plaines lisses qui semblaient d'origine volcanique (le volcanisme est un marqueur de l'activité interne de la planète). Cependant, à la différence de la Lune, les plaines de Mercure ne sont pas plus sombres que les terrains environnants, et les images n'étaient pas d'assez bonne qualité pour écarter la possibilité que ces plaines résultent d'impacts.

La sonde MESSENGER a réglé la question dès ses premiers

survol. Elle a montré que les plaines lisses, notamment celles du bassin *Caloris* ❶, sont de couleurs et donc de composition différentes de celles des bords des cratères et des éjectas (voir l'image ci-dessus ; les couleurs ont été exagérées). En outre, la densité de cratères secondaires dans ces plaines est moins élevée qu'à l'extérieur, ce qui indique qu'elles sont plus jeunes que les bassins.

Des événements volcaniques ont été repérés dans les marges internes du bassin *Caloris*, entourés de régions brillantes qui rappellent des traces d'éruptions explosives.

Toutes ces images suggèrent que les quelques kilomètres supérieurs de la croûte de Mercure sont constitués de dépôts volcaniques formant des couches distinctes.

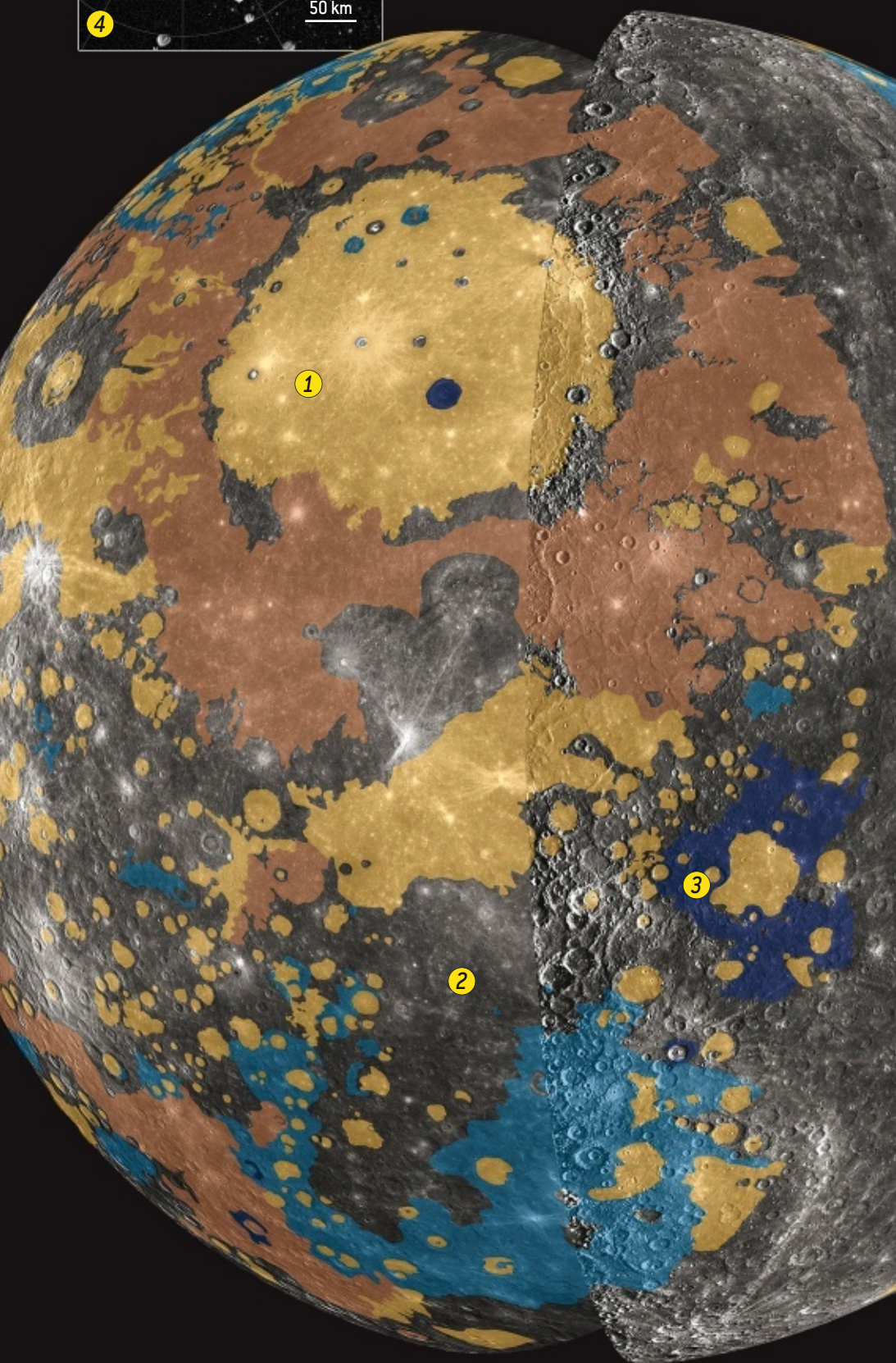
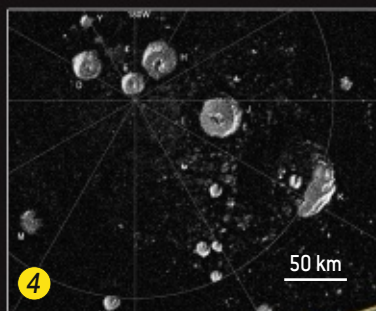
MESSENGER a permis de tracer la première carte géologique de Mercure, où sont identifiés les terrains présentant des reliefs et des couleurs similaires (à droite). Environ 40 pour cent de la surface sont

constitués de plaines lisses, dont beaucoup sont probablement volcaniques (en jaune et marron). Les zones grises sont plus cratérisées et pourraient être des plaines plus anciennes ❷. Alors que les plaines de la Lune sont concentrées sur la face visible et que celles de Mars sont concentrées dans l'hémisphère Nord et sur un grand plateau volcanique, celles de Mercure sont présentes sur l'ensemble de la planète. La plus jeune plaine, dans le cratère Rachmaninov, pourrait n'avoir qu'un milliard d'années, ce qui est récent comparé à celles de la Lune ou de Mars, qui datent pour l'essentiel de la période du « grand bombardement », il y a 3,8 milliards d'années.

Les scientifiques restent perplexes quant aux régions à dominante bleue qui couvrent 15 pour cent de la surface, tel le bassin *Tolstoï* ❸. Ces terrains pourraient contenir des oxydes de fer et de titane, que les impacts auraient fait remonter des grandes profon-

deurs, ou bien il pourrait s'agir des plus vieux matériaux volcaniques qui affleurent au-dessus des laves plus jeunes et plus claires.

Les images que la sonde MESSENGER obtiendra quand elle sera en orbite auront une résolution au moins trois fois supérieure à celle des images de survol, et les instruments embarqués se mettront à l'ouvrage. Les spectromètres à rayons gamma et à neutrons, par exemple, vont scruter en détail les régions polaires qui réfléchissent fortement les signaux radar, découvertes en 1991 par des observations depuis la Terre : elles abritent peut-être de la glace d'eau ❹. La glace est sans doute l'une des dernières choses que l'on s'attendrait à trouver sur une planète surchauffée, mais les régions dans l'ombre éternelle près des pôles pourraient être suffisamment froides pour conserver les moindres volutes de vapeur d'eau libérées par les impacts de comètes ou de météorites.



LES AUTEURS

Scott MURCHIE, Ronald VERVACK et Brian ANDERSON sont géophysiciens au Laboratoire de physique appliquée de l'Université Johns Hopkins, aux États-Unis.

✓ BIBLIOGRAPHIE

R. Vervack et *al.*, Mercury's complex exosphere : results from MESSENGER's third flyby, *Science*, vol. 329, pp. 672-675, 2010.

B. Anderson et *al.*, The magnetic field of Mercury, *Space Science Reviews*, vol. 152, n° 1-4, pp. 307-339, 2010.

B. Denevi et *al.*, The evolution of Mercury's Crust : a global perspective from MESSENGER, *Science*, vol. 324, pp. 613-618, 2009.

Le site officiel de la mission MESSENGER : <http://messenger.jhuapl.edu/>

La mission européenne vers Mercure *Beppi Colombo* sur le site du CNES : <http://smc.cnes.fr/BEPICOLMBO/Fr/>

En analysant la trajectoire de la sonde *Mariner 10*, les scientifiques ont pu mesurer le champ gravitationnel de Mercure et donc sa densité. Sa densité décompressée (l'effet de la pression interne due à la gravité est corrigé, de façon à pouvoir comparer les propriétés intrinsèques des matériaux) est étonnamment élevée : environ 5,3, contre 4,4 pour la Terre et 3,3 pour la Lune. Sous la croûte rocheuse de Mercure doit donc se trouver un noyau dense dominé par le fer. La Terre possède aussi un noyau de fer, mais rapporté à la taille de la planète, celui de Mercure est deux fois plus gros. Peut-être la planète Mercure a-t-elle autrefois possédé un manteau rocheux plus épais, arraché depuis par des impacts massifs. Une autre possibilité est que le matériau à partir duquel Mercure s'est formée était plus riche en fer (à proximité du Soleil, les éléments non métalliques étaient sublimés).

Cet imposant noyau de fer est sans doute l'explication d'une des découvertes les plus marquantes de *Mariner 10* : l'existence d'un champ magnétique global. Ce champ est dipolaire, comme celui de la Terre. Bien qu'il soit, à la surface de Mercure, 100 fois plus faible que sur Terre, sa seule existence est remarquable. Aucun autre corps rocheux du Système solaire, excepté la Terre et le satellite de Jupiter Ganymède, n'a de champ magnétique.

Le champ magnétique terrestre est engendré par une « dynamo planétaire », à savoir les mouve-

ments du fer fondu dans le noyau externe. Bien que l'hypothèse d'un champ magnétique fossile imprimé dans la croûte lors de son refroidissement ne puisse être totalement écartée, le champ magnétique de Mercure résulte sans doute aussi d'un effet dynamo. De très petites variations de la période de rotation propre de la planète au cours de son orbite, qui suggèrent que le noyau externe n'est pas complètement solidifié (malgré la petite taille de Mercure), renforcent par ailleurs cette hypothèse. D'une façon ou d'une autre, Mercure a échappé au sort de Mars, qui possédait un champ magnétique au début de son histoire et l'a perdu. Comprendre pourquoi est l'un des objectifs majeurs de la mission MESSENGER.

Par ailleurs, comme le champ magnétique de la Terre, celui de Mercure entraîne une dynamique complexe autour de la planète ; 1 000 à 2 000 kilomètres en amont du côté jour de la planète, le champ magnétique défléchit le vent solaire, un flux de particules chargées issues du Soleil. Cela crée autour de Mercure une région où le champ magnétique de la planète domine le champ magnétique interplanétaire engendré par le vent solaire, la magnétosphère. *Mariner 10* a détecté des bouffées de particules énergétiques semblables à celles qui sont associées aux aurores boréales sur Terre.

MESSENGER a mis en évidence que la magnétosphère de Mercure ne cesse de changer. Lors du premier survol, le champ interplanétaire pointait vers le Nord

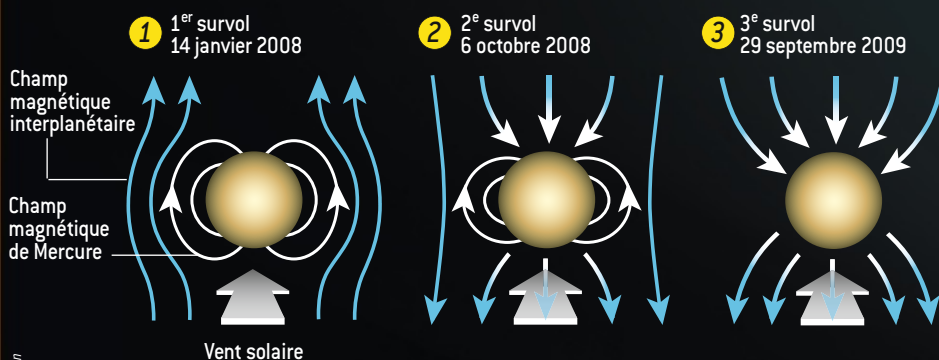
(par rapport au plan du Système solaire), et était aligné avec le champ magnétique de la planète à l'équateur ❶. La magnétosphère était paisible.

À la deuxième visite de la sonde, le champ interplanétaire pointait vers le Sud, dans la direction opposée au champ magnétique de Mercure à l'équateur. Or des lignes de champs magnétiques parallèles, mais de directions opposées, peuvent se reconnecter ❷, phénomènes qui libèrent de grandes quantités d'énergie et injectent des particules chargées du vent solaire dans la magnétosphère. Lors du deuxième survol, la sonde MESSENGER a ainsi mesuré un taux de reconnexion magnétique dix fois supérieur à ce qu'on observe à proximité de la Terre.

Au troisième passage, les lignes de champ magnétique de Mercure étaient très déformées et instables : par moments, elles étaient liées au vent solaire, puis, une à trois minutes plus tard, les liens normaux entre les hémisphères Nord et Sud étaient rétablis ❸. Durant ces épisodes de reconnexion, la magnétosphère de Mercure peut disparaître complètement du côté jour, et les cuspidés (ou trous) au Nord et au Sud fusionnent.

Avec une dynamique magnétique aussi puissante, une boussole ne serait pas d'un grand secours pour s'orienter sur Mercure, car elle changerait constamment de direction à l'échelle de quelques minutes.

Quelles autres surprises la magnétosphère de Mercure nous réserve-t-elle ?



Jean Christian

Dan Foley

Lobe Nord

Feuillet de plas

Lobe Sud

L'EXOSPHERE : UN STROBOSCOPE AU RALENTI

Mercure n'a pas d'atmosphère au sens classique, mais une « exosphère », une atmosphère tellement ténue que les atomes entrent rarement en collision les uns avec les autres. Leurs mouvements dépendent seulement des interactions avec la magnétosphère et avec la surface.

Outre de l'hydrogène et de l'hélium, les observations spectroscopiques depuis la Terre ont révélé les raies d'émission du sodium, du potassium et du calcium excités par la lumière solaire. Lors de ses survols, MESSENGER a détecté du magnésium et des ions calcium.

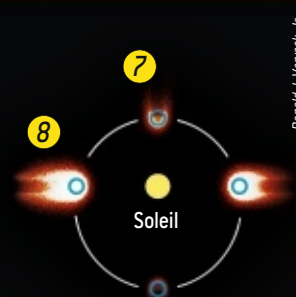
Ces éléments ayant une durée de vie d'au plus quelques jours dans l'exosphère, ils sont continuellement renouvelés.

L'hydrogène et l'hélium seraient principalement libérés par la capture des ions du vent solaire à la surface. Le rayonnement solaire altère les minéraux et fait s'évaporer les éléments les plus légers comme le sodium. Enfin, le bombardement continu de micrométéorites pulvérise des poussières dans l'exosphère. La photoaltération est relativement peu énergétique, si bien que les atomes éjectés retombent en général à la surface **4**. Le vent solaire et le bombardement de micrométéorites sont plus violents, et les atomes qu'ils arrachent restent plus longtemps dans l'exosphère **5**.

Certains éléments, en particulier le sodium, sont même arrachés à l'exosphère par la pression du rayonnement

solaire, formant ainsi une queue semblable à celle d'une comète **6**, longue de plus de deux millions de kilomètres.

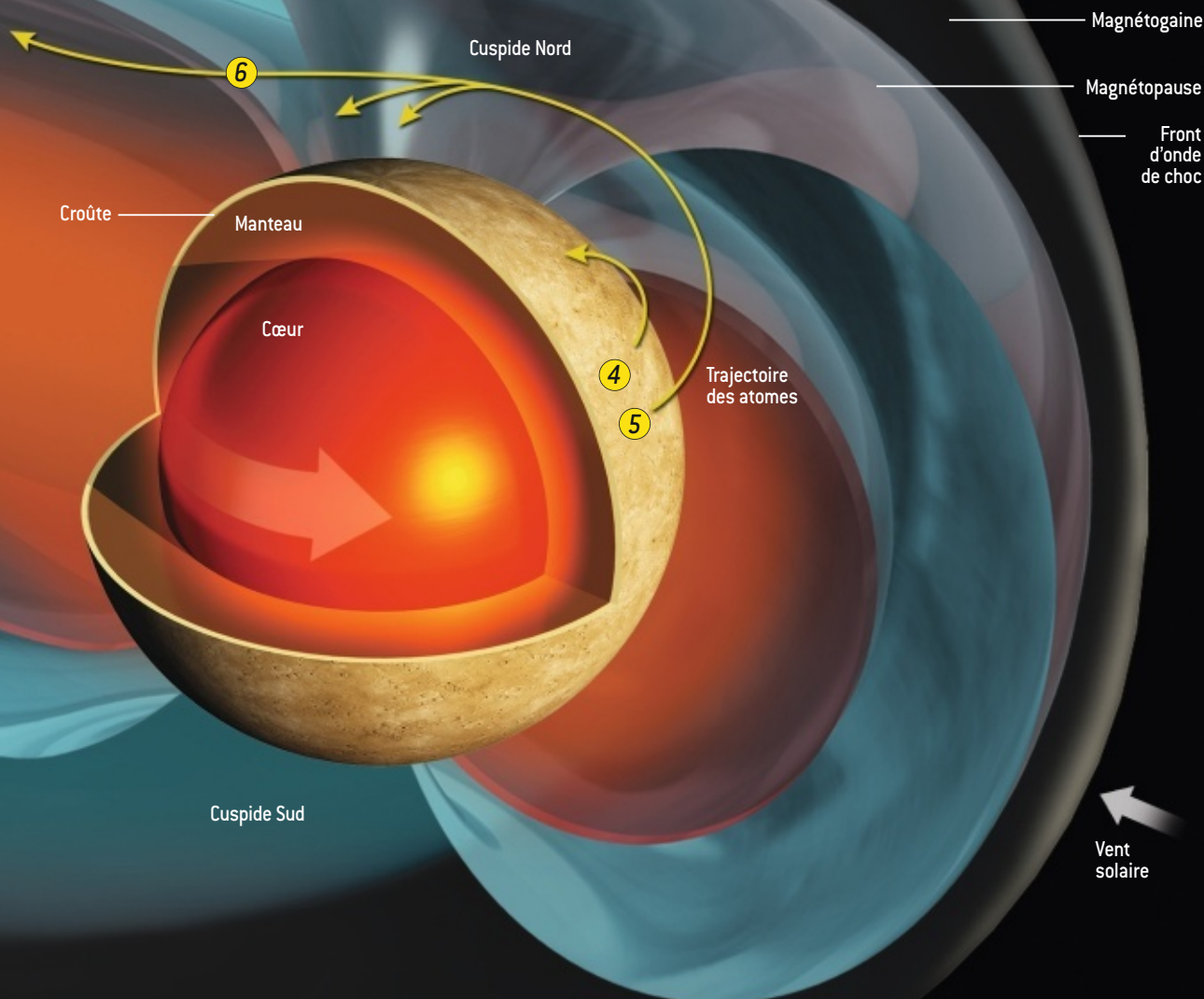
L'exosphère et la queue de Mercure ont la particularité de s'illuminer deux fois par orbite. Il a été proposé que cela résulte de l'excitation par le rayonnement solaire des atomes de l'exosphère. Cependant les longueurs d'onde concernées sont aussi en partie absorbées dans les couches externes du Soleil. Mais comme l'orbite de Mercure est très elliptique, la planète accélère vers le Soleil ou s'en éloigne durant son orbite, de sorte que le spectre de la lumière solaire est décalé par effet Doppler. Un excès de rayonnement aux longueurs d'onde adéquates atteint alors l'exosphère et la fait briller.



Ronald J. Vervack, Jr.

Ainsi, quand Mercure est au plus près ou au plus loin du Soleil, l'exosphère est à peine visible **7**. Aux positions intermédiaires de son orbite, elle est brillante **8**.

Au cours de l'année à venir, MESSENGER va suivre ces variations de l'exosphère. Mais nous savons d'ores et déjà que Mercure nous réserve des phénomènes inattendus.



Onduler pour avancer

Pour se déplacer, les serpents et d'autres animaux se tortillent.
Leurs ondulations se ressemblent, mais sont en fait régies
par des mécanismes très différents suivant le support.

Daniel Goldman et David Hu

Se déplacer... pour vivre et survivre! Les anguilles nagent, les faucons montent en flèche dans le ciel, les taupes creusent des tunnels et les écureuils sautent pour fouiller le sol, se reproduire ou échapper aux prédateurs. Ces prouesses de locomotion nécessitent une coordination de processus biophysiques complexes, qui interviennent à l'échelle moléculaire (des molécules contrôlent la propagation des informations dans les neurones), à l'échelle intermédiaire (muscles et tendons se couplent avec des éléments du squelette pour entraîner le mouvement de différentes parties du corps) et à grande échelle (certaines parties du corps, comme les pieds et

les mains, interagissent avec leur environnement pour que l'on avance). L'un des objectifs de la science de la locomotion est de découvrir des principes généraux du déplacement grâce au développement de modèles multi-échelles – un défi qui nécessite la collaboration de biologistes, de physiciens, de mathématiciens et d'ingénieurs. Ces études inspirent la conception de véhicules dont la mobilité égale, voire dépasse, celle des animaux.

De nombreux animaux se déplacent sans utiliser leurs membres. Certains lézards, par exemple, tortillent leur corps sans l'aide des pattes pour se frayer un chemin à travers les herbes hautes et denses

ou dans des environnements sablonneux. Des milliers d'espèces de serpents, limaces et vers (et quelques lézards) sont dépourvues de membres. Leur corps allongé et flexible leur permet de se faufiler dans d'étroites fissures et de parcourir de longues distances dans des milieux complexes et souvent tortueux, tels que les cimes des arbres, le sous-sol ou le tube digestif d'autres organismes.

Nos récents travaux et nos modèles de locomotion terrestre sans membres ont permis d'élucider les mécanismes qui rendent la locomotion par ondulation efficace dans deux environnements : sur le sol, où glissent les serpents, et dans des milieux

