

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.

Mercurre :

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

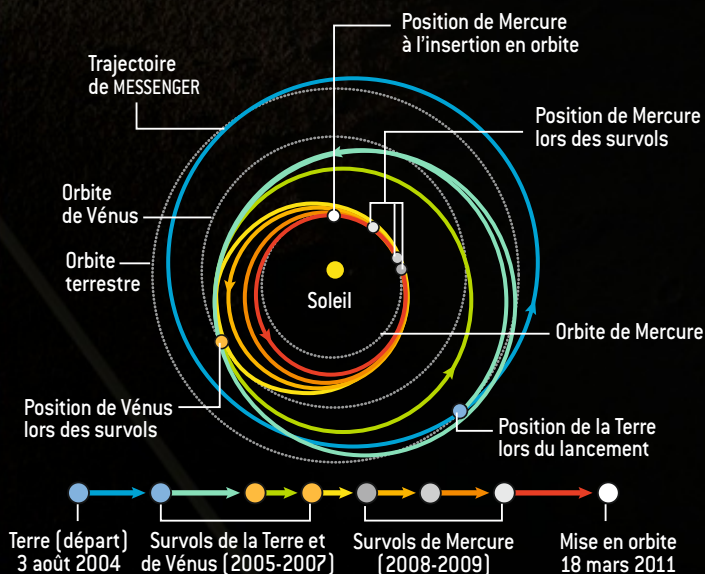
UNE DESCENTE AUX ENFERS

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