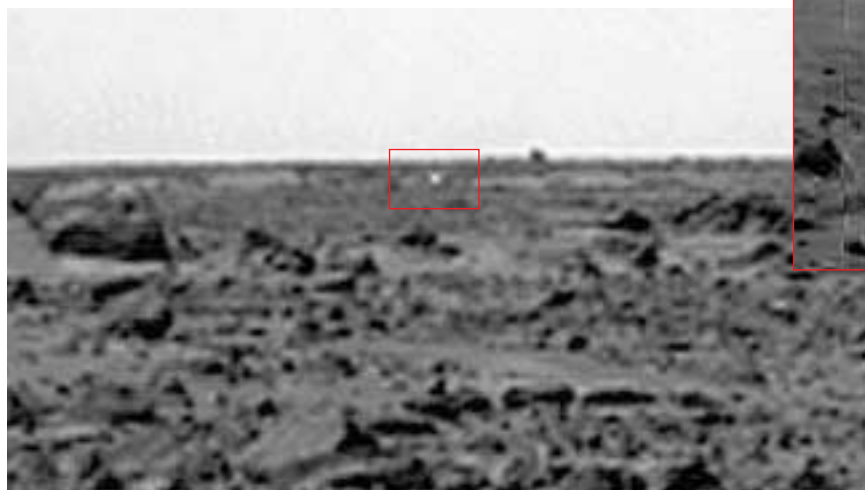




NASA/Jet Propulsion Laboratory

9. DES ÉLÉMENTS DE PATHFINDER apparaissent comme des taches brillantes sur ces images très agrandies. Le bouclier thermique (à gauche) est tombé environ deux kilomètres au Sud-Ouest de la station. Le couvercle arrière (à droite) est posé à un peu plus d'un kilomètre au Sud-Est. Ces points de chute et la position de la station indiquent qu'un vent soufflait du Sud-Ouest.

plement provenir des différences dans la saison et dans l'heure d'arrivée : *Pathfinder* est arrivé à 13 heures (heure solaire locale), tandis que *Viking* est arrivé à 16 heures, quand l'atmosphère était naturellement plus chaude. Pour la basse atmosphère, les mesures des deux missions sont semblables : de la poussière est mélangée uniformément à un air comparativement plus chaud.

Au cœur de Mars

De surcroît, les signaux radio de *Pathfinder* ont permis d'analyser la rotation de Mars. Pendant les communications avec la Terre, un repérage quotidien utilisant l'effet Doppler (qui nous fait entendre plus ou moins aigu le son d'une sirène d'ambulance selon qu'elle s'approche ou qu'elle s'éloigne de nous) et un étalonnage bidirectionnel ont permis de calculer la position de la station à 100 mètres près. En comparant ces mesures avec celles réalisées par *Viking* 21 ans auparavant, nous avons calculé la vitesse de précession de l'axe de rotation de Mars (la précession est le mouvement de rotation de l'axe de rotation de la planète autour de la perpendiculaire au plan de l'orbite). Comme cette vitesse de précession est reliée au moment d'inertie de la planète, nous avons, pour la première fois, calculé ce moment d'inertie.

Ce résultat est important, car le moment d'inertie dépend de la composition interne de la planète, de sorte que nous pouvons maintenant tester des hypothèses sur celle-ci et sur cette composition. Nous supposons, d'après la composition des météorites martiennes, que Mars contenait un noyau métallique ; nous savons main-

tenant que le rayon de ce noyau est compris entre 1 300 et 2 400 kilomètres. En faisant des hypothèses sur la composition du manteau, déduites des compositions des météorites martiennes et des roches mesurées par le robot, les géologues peuvent désormais modéliser et calculer les températures internes.

Les mesures de la vitesse de rotation ont par ailleurs confirmé que celle-ci varie annuellement. Cette variation concorde avec les calculs fondés sur l'échange saisonnier de dioxyde de carbone entre l'atmosphère et les calottes polaires.

Au total, la planète Mars a beaucoup plus ressemblé à la Terre qu'on ne le pensait. Certains matériaux de la croûte ressemblent, par leur abondance en silicium, à la croûte continentale terrestre. En outre, les galets polis, les roches et les abondantes particules de la taille de grains de sable et de poussière confirment l'hypothèse d'un passé où la planète était riche en eau. Mars semble avoir été plus chaude et plus humide, comme la Terre primitive. En revanche, depuis la fin de cette époque, où les crues ont façonné le paysage observé par *Pathfinder* (il y a 1,8 à 3,5 milliards d'an-



NASA/Jet Propulsion Laboratory

10. DES SOLS DE PLUSIEURS COULEURS sont révélés par les roues du robot. Sur cette photographie, le robot gravit la Dune de la Sirène, un empilement de matériaux recouvert de granules sombres de la taille de grains de sable. Les traces des roues découvrent aussi une poussière rouge vif et un sol rouge plus sombre (en bas, à gauche). Les planétologues déduisent de ces traces les propriétés des matériaux de surface.

nées), Mars est une planète très différente de la Terre. Le site semble inaltéré depuis sa formation : il n'y avait pas d'eau sur Mars pendant les périodes récentes. Les informations en provenance du satellite *Mars Global Surveyor*, en orbite autour de la planète rouge, compléteront cette description et apporteront sans aucun doute un nouveau lot de surprises.

Matthew GOLOBEK est responsable scientifique de la mission *Mars Pathfinder*.

Mars, sous la direction de Hugh H. Kieffer, Bruce M. Jakosky, Conway W. Snyder et Mildred S. Matthews, University of Arizona Press, 1992.

Michael H. CARR, *Water on Mars*, Oxford University Press, 1996.

Matthew P. GOLOBEK et al., *Mars Path-*

finder Mission and Ares Vallis Landing Site, in *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, n° E2, pp. 3951-4229, 25 février 1997.

Matthew P. GOLOBEK et al., *Mars Pathfinder*, in *Science*, vol. 278, pp. 1734-1774, 5 décembre 1997.

Jeffrey KARGEL et Robert STROM, *Les changements climatiques sur Mars*, in *Pour la Science*, janvier 1997.

Le cerveau divisé

MICHAEL GAZZANIGA

Les travaux fondamentaux sur la communication entre les deux hémisphères cérébraux, qui commencèrent il y a plus d'un quart de siècle, ont conduit aux conceptions actuelles de l'organisation cérébrale et de la conscience.

Voilà 30 ans, avec mes collègues Roger Sperry, Joseph Bogen et P. Vogel, nous avons étudié trois patients épileptiques qui avaient subi une section du corps calleux, le faisceau de fibres nerveuses qui relie les deux hémisphères cérébraux. L'observation de ces personnes dont les hémisphères cérébraux ne communiquaient plus nous a beaucoup appris sur l'organisation du cerveau.

Chez ces sujets au cerveau divisé, l'information visuelle ne se propage plus entre les hémisphères. Quand nous projetions une image dans le champ visuel droit – ces informations sont traitées par l'hémisphère gauche –, les sujets décrivaient l'image. Puis, lorsque la même image était placée devant le champ visuel gauche, traité par l'hémisphère

droit, les sujets ne pouvaient la décrire. Enfin, quand nous leur demandions de montrer du doigt un objet similaire à celui qui était projeté, ils s'exécutaient facilement. Le cerveau droit voyait l'image et pouvait répondre, mais uniquement de manière non verbale.

Le même type de résultat fut obtenu avec le toucher, l'odorat et l'audition. De surcroît, chaque hémisphère cérébral commandait les muscles supérieurs des deux bras, mais les muscles de la main et des doigts n'étaient dirigés que par l'hémisphère contralatéral : l'hémisphère droit commandait la main gauche, et l'hémisphère gauche la main droite.

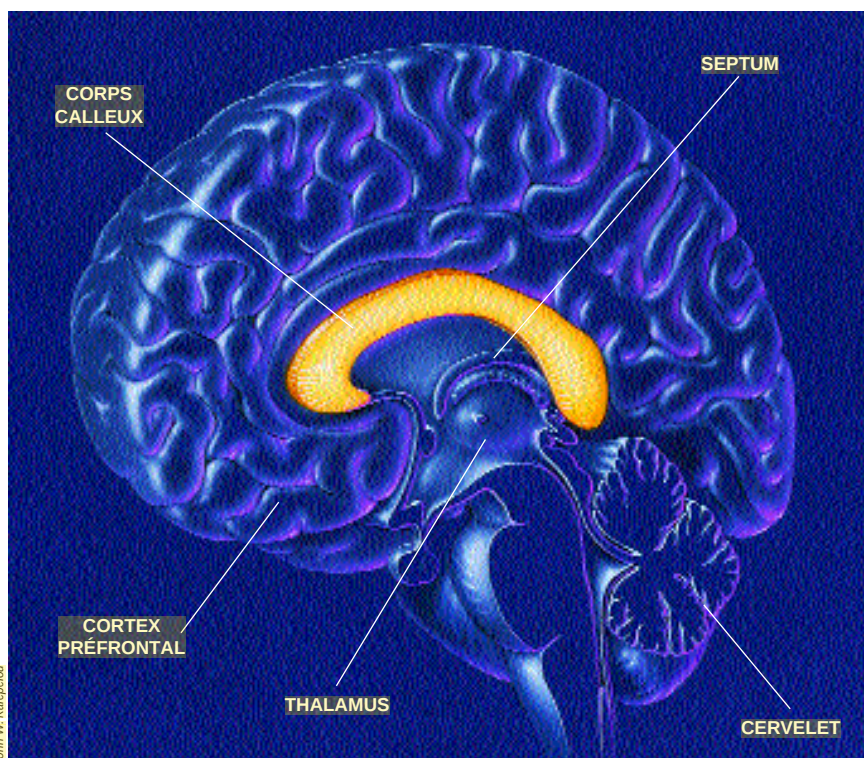
Finalement, nous avons découvert que les deux hémisphères assurent des fonctions intellectuelles et motrices dis-

tingentes. Chaque moitié a ses spécialisations, et, par conséquent, ses limitations et ses avantages. Le cerveau gauche est surtout chargé du langage et de l'articulation vocale. Le cerveau droit excelle dans les tâches visuelles et motrices. Ces découvertes sont aujourd'hui bien connues : on entend même les écrivains dire qu'ils utilisent leur cerveau gauche, et les peintres leur cerveau droit.

Depuis 30 ans, les recherches sur les cerveaux divisés ont précisé les différences entre les hémisphères et révélé comment ils communiquent après avoir été séparés. Ces études ont également éclairé les mécanismes du langage, de la perception et de la fabrication des faux souvenirs. Leur contribution la plus étonnante est sans doute une meilleure compréhension des mécanismes de la conscience et de l'évolution.

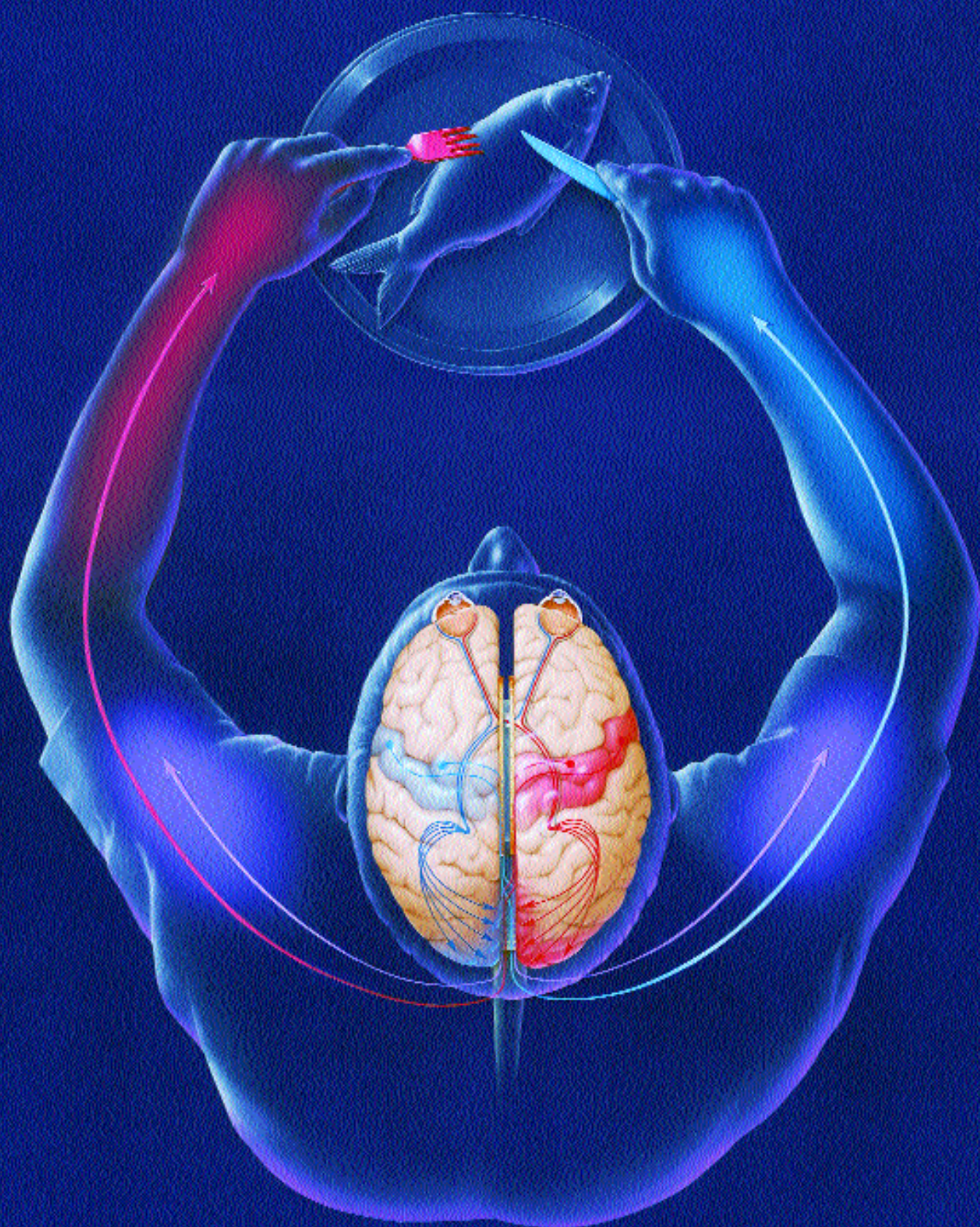
Les deux hémisphères d'un cerveau divisé sont-ils encore capables de se « parler » ? Quel rôle cette communication a-t-elle dans la pensée et dans l'action ? Telles sont quelques-unes des questions examinées dans ces études.

Plusieurs ponts de neurones, les commissures, relient les deux hémisphères. Le corps calleux est le plus important et, habituellement, le seul que les chirurgiens sectionnent pour



John W. Kasper

LES CÂBLAGES CÉRÉBRAUX sont, dans de nombreux cas, contralatéraux (voir page ci-contre) : l'hémisphère droit traite l'information provenant du champ visuel gauche, tandis que l'hémisphère gauche traite les données du champ visuel droit. De même, pour les mouvements de la main : l'hémisphère droit commande la main et les doigts gauches, tandis que l'hémisphère gauche commande le côté droit. Cependant, les deux hémisphères organisent les mouvements de la partie supérieure des bras. Les deux hémisphères sont connectés par des ponts neuronaux nommés commissures. Le plus important de ces ponts, le corps calleux (à gauche), doit être sectionné en cas d'épilepsie grave.



traiter les épilepsies les plus graves. Quel est le rôle des nombreuses petites commissures ?

Les neurophysiologistes qui étudiaient cette dernière question ont surtout analysé les mécanismes de l'attention, car celle-ci met en jeu de

nombreuses structures corticales et sous-corticales, les parties de notre cerveau plus anciennes et plus primitives. Au cours des années 1980, à l'École de médecine de l'Université Cornell, Jeffrey Holtzman a montré que chaque hémisphère assure l'attention spa-

tiale non seulement dans sa propre sphère sensorielle, mais également en certains points de la sphère sensorielle de l'autre hémisphère. Ainsi, au moins pour l'information spatiale, le système de l'attention est commun aux deux hémisphères ; lorsque le corps calleux est sectionné, il fonctionne grâce aux connexions préservées entre les deux hémisphères.

Les résultats de J. Holtzman étaient étonnants, parce qu'ils suggéraient que les «ressources cérébrales» consacrées à l'attention sont limitées : plus une tâche est ardue, plus elle mobilise de ressources cérébrales, et plus l'une des moitiés du cerveau doit faire appel aux structures sous-corticales ou à l'autre hémisphère. En 1982, J. Holtzman démontra qu'effectivement plus une moitié de cerveau divisé traite une tâche difficile, plus l'autre moitié a des difficultés à commander simultanément une autre tâche.

Des études récentes ont montré qu'un autre aspect de l'attention est également préservé dans les cerveaux divisés : alors qu'on demandait à des sujets de rechercher une configuration ou un objet dans un champ visuel, on a observé que les sujets au cerveau divisé obtenaient de meilleurs résultats que les sujets normaux dans certaines de ces tâches de recherche visuelle. Le cerveau intact semble inhiber le mécanisme de recherche que chaque hémisphère possède naturellement.

Habituellement, l'hémisphère gauche est dominant lors de ces tâches. À l'Université de l'Alberta, Alan Kingstone a montré que l'hémisphère gauche met en œuvre des stratégies de recherche plus «intelligentes» que l'hémisphère droit : plus compétent, il détourne à son profit le système de l'attention.

Ces études montrent que certaines communications persistent entre les hémisphères séparés, mais d'autres liens hémisphériques apparents se sont révélés illusoirs. Une expérience réalisée avec A. Kingstone nous a presque fourvoyés : nous projetions très brièvement deux mots à un sujet, puis nous lui demandions de dessiner ce qu'il avait vu. Le mot «arc» était projeté de sorte qu'il soit perçu par un des hémisphères, et le mot «flèche» de sorte qu'il parvienne à l'autre hémisphère. Or, le sujet dessina un arc avec une flèche ! C'était comme s'il avait intégré l'information dans un hémisphère, et

Un test de synthèse

Le cerveau ne synthétise plus l'information quand le corps calleux est coupé. C'est ce qu'illustre cette expérience, où l'on présentait très rapidement une carte portant le mot «arc» dans une moitié du champ visuel de sujets au cerveau divisé ; le mot «flèche» était projeté dans l'autre moitié du champ visuel. Comme les sujets dessinaient un arc et une flèche, nous pensions que les deux hémisphères communiquaient malgré la section du corps calleux, et qu'ils avaient intégré les mots en un composé qui avait un sens.

Le test suivant montra que nous avions tort. Nous avons projeté le mot «gratte» de façon qu'il soit perçu par un hémisphère, et le mot «ciel» de façon qu'il soit perçu

par l'autre hémisphère. L'image produite par le patient a révélé qu'il ne synthétisait pas l'information : il dessina un ciel au-dessus d'un racloir, et non un gratte-ciel. Autrement dit, un hémisphère dessinait ce qu'il avait vu, et puis l'autre faisait de même. Dans le cas de l'arc et de la flèche, la superposition des deux images nous avait induits en erreur, parce que le dessin paraissait cohérent.

Ulérieurement, nous avons testé la capacité propre de chaque hémisphère à intégrer des mots. Nous avons projeté «feu» et «arme» à l'hémisphère droit. La main gauche dessina un fusil et non une arme dans un feu : ainsi, il était clair que chaque hémisphère était capable de synthèse.

