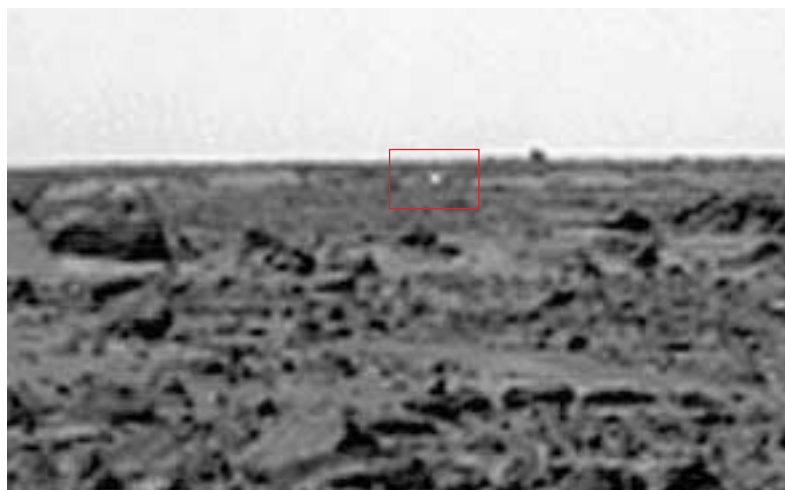




NASA/Jet Propulsion Laboratory

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.

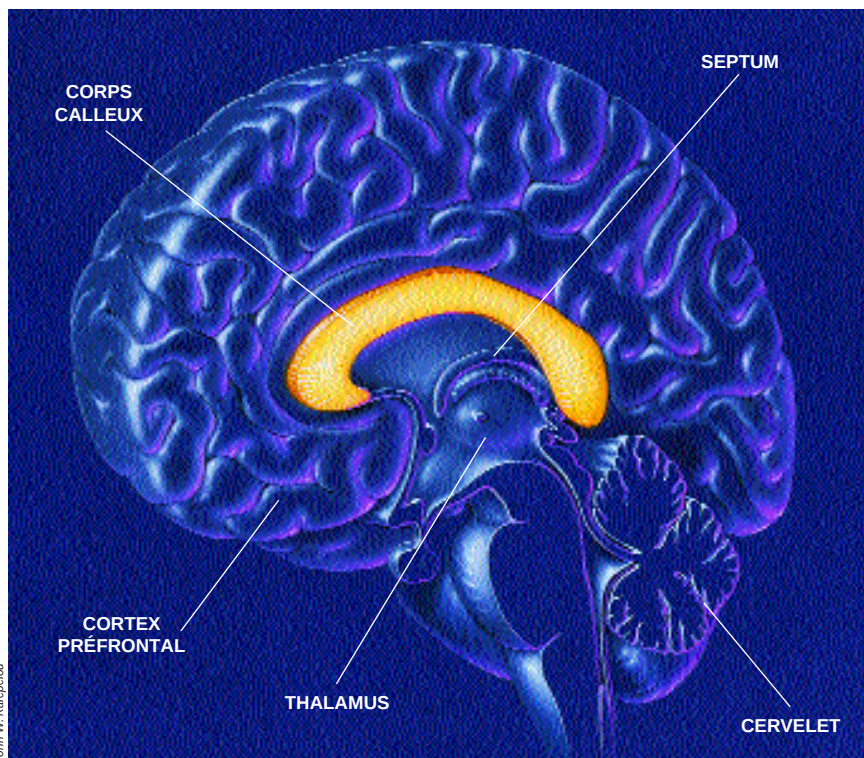
Finalement, nous avons découvert que les deux hémisphères assurent des fonctions intellectuelles et motrices dis-

tinctes. 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.

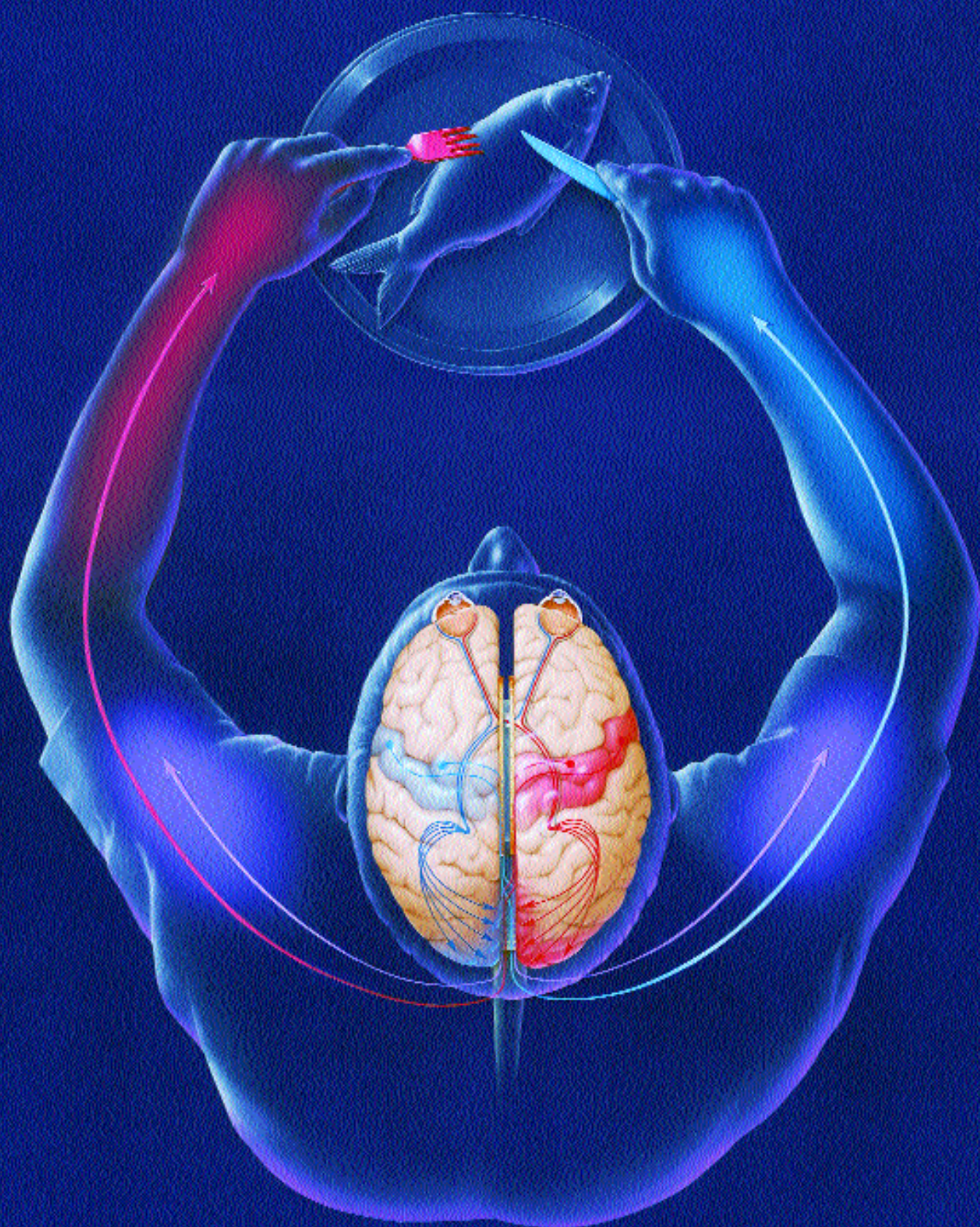
Les deux hémisphères d'un cerveau divisé sont-ils encore capables de se « parler » ? Quel rôle cette communication a-t-elle dans la pensée et dans l'action ? Telles sont quelques-unes des questions examinées dans ces études.

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. Karpelau

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 illusoires. 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

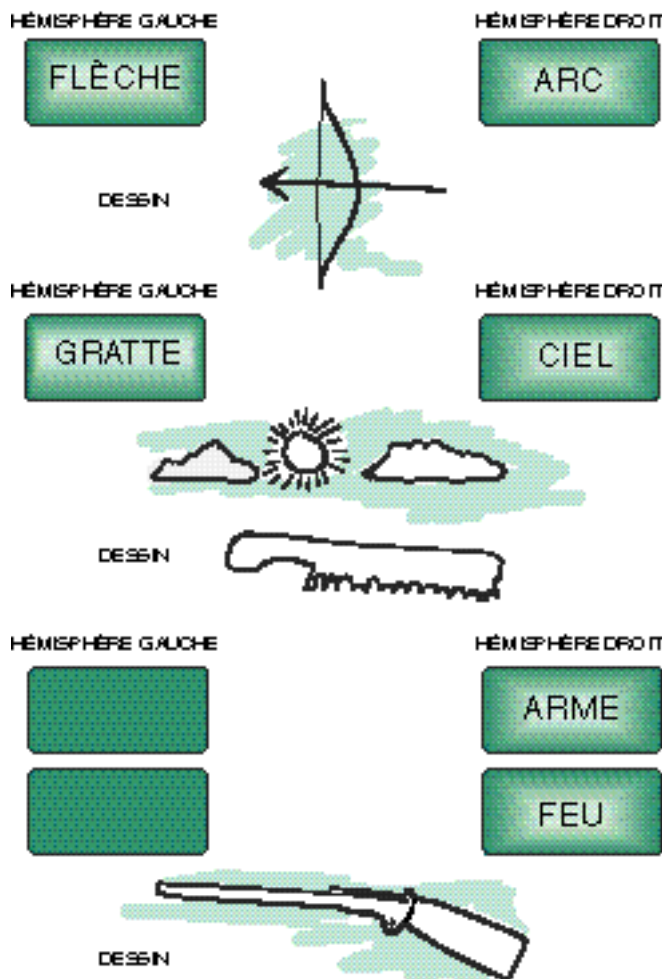
Un test de synthèse

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.



que cet hémisphère avait ensuite dirigé la production du dessin.

Nous nous trompons. Nous avons finalement montré que l'intégration se faisait sur le papier, et non dans le cerveau. Un hémisphère avait fait dessiner l'élément qu'il avait vu – par exemple, l'arc – et, ensuite, l'autre hémisphère avait commandé la main dont il est responsable pour lui faire dessiner son propre stimulus – la flèche – par-dessus l'arc. La coïncidence des deux images n'était pas intentionnelle, comme nous l'avons observé en projetant des paires de mots moins faciles à intégrer comme «ciel» et «gratte» : le sujet ne dessinait pas un gratte-ciel, mais un ciel par-dessus un racloir.

Les limites de l'extrapolation

L'étude des communications entre les deux hémisphères a également montré les limites de l'extrapolation à l'homme du modèle animal. Depuis de nombreuses années, les neurobiologistes examinent les cerveaux des singes et d'autres mammifères pour explorer le fonctionnement du cerveau humain : on admet communément que l'organisation et la fonction du cerveau de nos proches cousins est semblable, sinon identique, à la nôtre.

Les études de cerveau divisé ont montré que cette hypothèse est fautive : bien que certaines structures et fonctions soient remarquablement similaires, les différences sont nombreuses. La commissure antérieure, localisée juste au-dessous du corps calleux, est une de ces structures par lesquelles l'homme diffère considérablement du singe. Lorsqu'elle est intacte, chez des singes au cerveau divisé, l'information visuelle passe d'un hémisphère à l'autre. Chez l'homme, au contraire, ce transfert n'a pas lieu. Ainsi, la même structure remplit des fonctions différentes chez des espèces différentes.

Même l'extrapolation entre humains est hasardeuse. Parmi nos résultats initiaux, l'un des plus frappants concernait le cerveau gauche : il traite le langage de manière autonome et permet un discours réflexif. Bien que le cerveau droit ne soit pas aussi autonome, nous avons trouvé qu'il traitait également certains aspects du langage, comme associer des mots à une image, épeler, faire des rimes et

catégoriser des objets. Nous n'avions jamais trouvé de capacité élaborée d'analyse syntaxique dans cette moitié du cerveau, mais nous estimions que ses capacités lexicales étaient assez importantes.

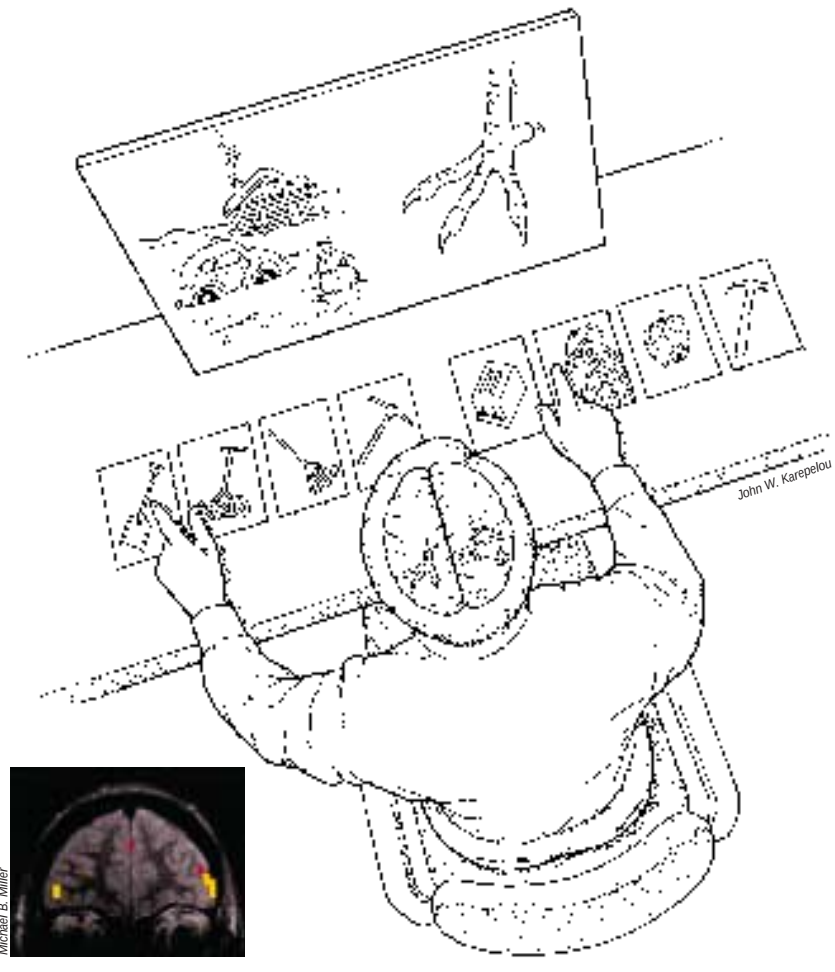
La suite des recherches montra que les trois premiers cas sur lesquels étaient fondées nos conclusions n'étaient pas représentatifs. Contrairement à ce que nous avions initialement observé, l'hé-

misphère droit de la plupart des individus est incapable de manipuler le langage, même de manière rudimentaire. Ce résultat est conforme à d'autres données neurologiques, en particulier celles provenant des victimes d'accidents vasculaires cérébraux : des lésions de l'hémisphère gauche perturbent beaucoup plus gravement les fonctions linguistiques que les lésions de l'hémisphère droit.

La recherche des faux souvenirs

Les faux souvenirs proviennent de l'hémisphère gauche du cerveau. Lorsqu'un sujet évoque un faux souvenir, des zones des deux hémisphères sont activées (*en jaune sur la photographie inférieure*), alors que seul l'hémisphère droit est activé lors de l'évocation d'un souvenir réel (*en rouge*). Nous avons étudié ce phénomène en testant la capacité narrative de l'hémisphère gauche. On montre quatre petites images à chaque hémisphère, ainsi qu'une image plus grande associée à l'une d'elles. Le patient doit désigner la petite image la plus pertinente. L'hémisphère droit – qui commande la main

gauche – choisit correctement la pelle pour la tempête de neige ; la main droite, commandée par l'hémisphère gauche, associe le coq à la patte d'oiseau. Puis nous avons demandé au patient pourquoi la main gauche – ou l'hémisphère droit – désignait la pelle. Seul l'hémisphère gauche conserve la capacité de parler, aussi est-ce lui qui a répondu, mais comme il ne pouvait pas savoir pourquoi l'hémisphère droit agissait, il a inventé une histoire à partir de ce qu'il pouvait voir, c'est-à-dire le coq. Le sujet a expliqué que l'hémisphère droit avait choisi la pelle pour nettoyer un poulailler.



Toutefois, la plasticité du cerveau et les variations individuelles sont très importantes. Un sujet développa la capacité à parler grâce à son hémisphère droit, 13 ans après l'intervention chirurgicale ; il peut aujourd'hui parler des objets qui sont vus par son hémisphère gauche comme de ceux qui sont vus par son hémisphère droit.

De même, une femme gauchère était capable de parler sous la direction de son hémisphère gauche, après section du corps calleux, ce qui n'a rien de surprenant en soi, mais qui le devient quand on sait que cette femme ne pouvait *écrire* que grâce à son hémisphère droit, l'hémisphère muet (normalement, l'écriture est assurée par l'hémisphère gauche). Cette observation confirme que la capacité d'écrire n'est pas nécessairement associée à la capacité de représentation phonologique. Autrement dit, l'écriture, dépendante du langage, est une invention de l'espèce humaine.

Malgré de nombreuses exceptions, la recherche sur les cerveaux divisés a

révélé une forte latéralisation, c'est-à-dire la spécialisation de chaque hémisphère. Les études des cerveaux divisés ont amené à intégrer la latéralisation dans ce que l'on nomme un modèle modulaire.

Des modules cérébraux

Les recherches en sciences cognitives, en intelligence artificielle, en psychologie de l'évolution et en neurosciences ont fait conclure que le cerveau est composé de sous-unités séparées ; ce n'est pas un système global de résolution de problèmes dont toutes les parties seraient capables de n'importe quelle fonction, mais un ensemble de modules aux fonctions spécifiques.

À l'intérieur de ce système modulaire, l'hémisphère gauche s'est révélé dominant pour les activités cognitives majeures, telles que la résolution de problèmes. La section du corps calleux ne semble pas modifier ces capacités. Tout se passe comme si l'hé-

misphère gauche n'avait pas besoin de l'importante puissance de calcul de l'autre moitié du cerveau pour exécuter ces activités de haut niveau. L'hémisphère droit, lui, résout les problèmes difficiles.

Avec Joseph LeDoux, nous avons découvert cette caractéristique de l'hémisphère gauche voici presque 20 ans. Nous nous étions demandé comment l'hémisphère gauche réagissait aux comportements produits par l'hémisphère droit silencieux. Nous présentions à chaque hémisphère une image ayant une relation avec une figure parmi quatre qui étaient placées en face du sujet au cerveau divisé. Les hémisphères droit et gauche reconnaissaient facilement la figure correcte : la main gauche pointait vers le choix de l'hémisphère droit, et la main droite vers celui de l'hémisphère gauche (*voir l'encadré page 75*).

Nous avons alors demandé à l'hémisphère gauche – le seul qui commande la parole – pourquoi la main gauche pointait en direction de l'objet. Il ne le savait pas, parce que la décision de pointer vers la carte était celle de l'hémisphère droit. Cependant, en une fraction de seconde, il trouvait une explication. Nous avons donné à ce talent créatif et narratif le nom de mécanisme interprète.

Elizabeth Phelps et ses collègues de l'Université Yale ont récemment étudié cette capacité fascinante afin de déterminer comment l'interprète de l'hémisphère gauche interagit avec la mémoire. L'étude a montré que les deux hémisphères traitent différemment de nouvelles données. En général, quelqu'un à qui l'on présente des informations nouvelles se souvient de la plupart des éléments de la situation. Puis, lorsqu'on oriente les questions, il déclare également se souvenir de choses qui n'ont pas existé. Quand on soumet des sujets au cerveau divisé à ce test, l'hémisphère gauche engendre de nombreuses fausses réponses, tandis que l'hémisphère droit produit des réponses plus justes.

Ce résultat éclaire les mécanismes de formation des faux souvenirs. Plusieurs théories qui invoquent différentes phases du cycle de traitement de l'information peuvent expliquer la genèse de ces souvenirs. Certains neurologues supposent qu'ils se développent au cours d'une phase précoce du cycle : les réponses erronées seraient mémorisées en même temps que l'événement. D'autres pensent que les faux souvenirs résultent d'erreurs dans la

La plasticité du système calleux

Les études de Michael Gazzaniga ont confirmé que la section du corps calleux effectuée chez le patient épileptique adulte entraîne un syndrome de déconnexion calleuse. En revanche, les enfants nés sans corps calleux – une affection relativement commune appelée l'agénésie du corps calleux – n'éprouvent aucune difficulté à effectuer des tâches nécessitant une collaboration des deux hémisphères. Ainsi, ces enfants peuvent nommer un objet tenu dans la main gauche bien que celle-ci soit en relation avec l'hémisphère droit, qui est non verbal. De même, ils peuvent aisément indiquer si des objets qu'ils manipulent, l'un dans chaque main, sont identiques ou différents. Une réorganisation cérébrale semble donc avoir eu lieu chez ces enfants afin de leur permettre une communication interhémisphérique relativement normale.

En fait, la plasticité du cerveau n'est pas limitée à ces cas d'anomalie congénitale. Nous avons montré que des chatons qui ont subi une section du corps calleux avant la fin de la myélinisation de cette structure, et donc avant l'atteinte de sa maturité fonctionnelle, arrivent à transférer un apprentissage visuel réalisé par un seul des deux hémisphères à l'hémisphère non entraîné.

Chez l'homme, comme la myélinisation du corps calleux n'est achevée que vers l'âge de 10 ans, nous avons tenté de véri-

fier si la section du corps calleux effectuée chez le jeune enfant provoquerait ou non un syndrome de déconnexion entre les deux hémisphères. Ce traitement de l'épilepsie a été effectué chez l'enfant pour la première fois au monde à l'Hôpital Sainte-Justine de Montréal, en 1979. Notre équipe a suivi le développement de ces enfants depuis leur opération et nous avons démontré que non seulement la chirurgie est efficace dans le traitement de l'épilepsie infantile, mais également que ces enfants, tout comme les enfants nés sans corps calleux, ont très peu de signes de déconnexion interhémisphérique.

Contrairement aux adultes étudiés par M. Gazzaniga, ces enfants arrivent à lire des mots qui sont brièvement présentés à leur hémisphère droit ; ils peuvent nommer des objets tenus dans leur main gauche et arrivent à comparer des objets tenus dans chaque main. Ainsi, lorsque la chirurgie du corps calleux est effectuée avant que l'enfant n'atteigne la puberté, le cerveau semble se réorganiser – vraisemblablement en conservant des circuits neuronaux qui disparaissent normalement avec la maturité –, ce qui maintient l'unité de la conscience dans l'organisme en développement.

Maryse LASSONDE et Franco LEPORE, Groupe de recherche en neuropsychologie expérimentale, Université de Montréal

reconstruction de l'expérience passée : les individus ajouteraient des éléments faux au moment où ils se remémorent leurs souvenirs.

Les caractéristiques de l'hémisphère gauche favorisent la seconde hypothèse. Tout d'abord, l'interprète de l'hémisphère gauche excelle dans la reconstruction des souvenirs. Ensuite, l'hémisphère gauche possède la capacité de déterminer l'origine d'un souvenir, en fonction du contexte ou des événements environnants : l'hémisphère gauche replace activement ses expériences dans un contexte plus large, tandis que l'hémisphère droit s'attache simplement aux aspects perceptifs du stimulus. Enfin, les régions préfrontales gauches des sujets normaux sont activées lorsque les sujets évoquent les faux souvenirs.

L'ensemble de ces résultats indique que le mécanisme interprète de l'hémisphère gauche recherche en permanence la signification des événements, même lorsqu'il n'y en a pas, ce qui peut l'induire en erreur. Il tend à trop généraliser, construisant fréquemment un passé possible, plutôt qu'un passé exact.

La perspective de l'évolution

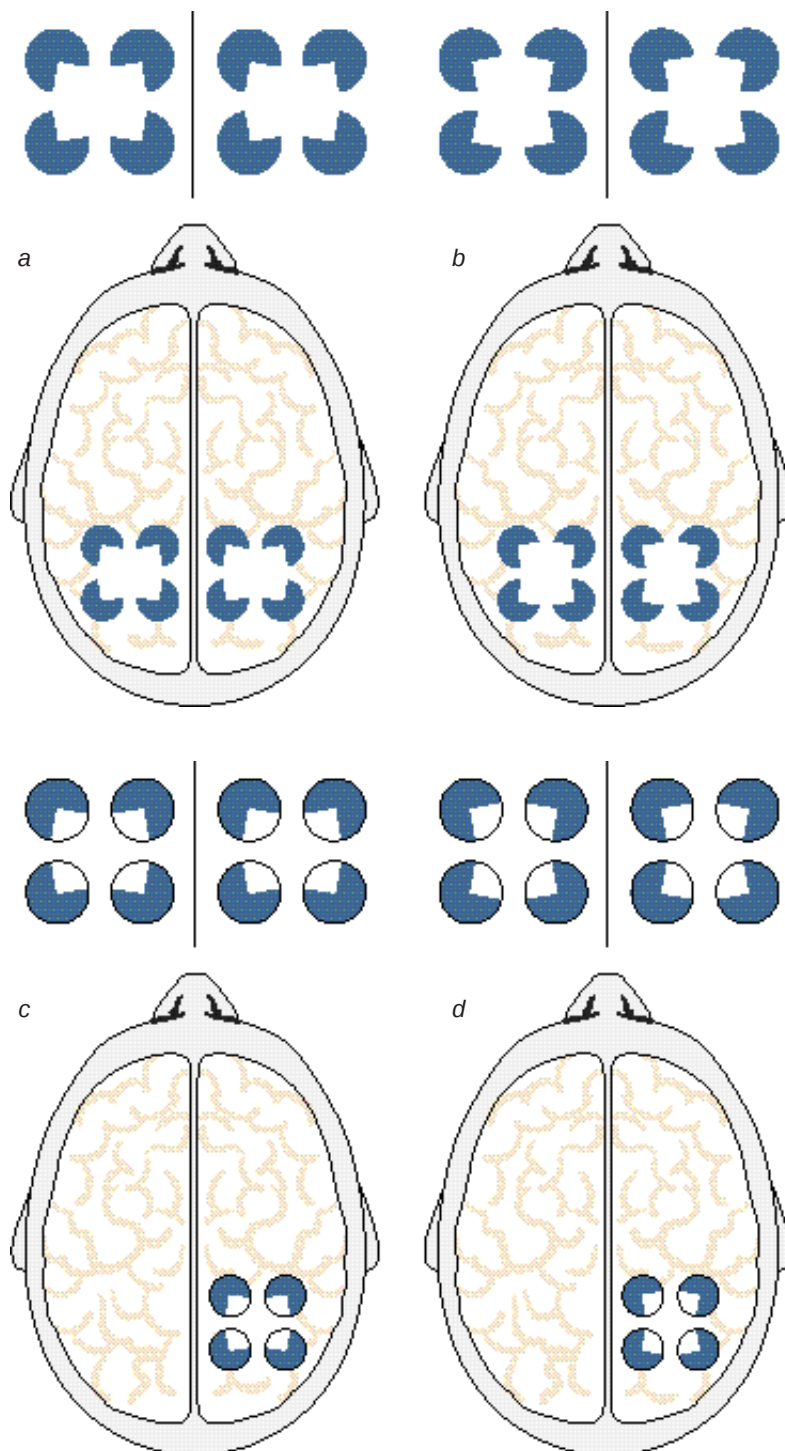
Le travail de George Wolkord, de l'Université de Dartmouth, corrobore cette hypothèse. Par un test simple où il fait deviner si un point lumineux apparaîtra en haut ou en bas d'un écran d'ordinateur, il observe que les personnes testées font montre d'inventivité. L'expérimentateur manipule le stimulus de sorte que la lumière apparaisse en haut de l'écran dans 80 pour cent des essais, mais selon une séquence aléatoire. Tandis qu'il devient rapidement évident que la lumière s'allume plus souvent en haut qu'en bas, les sujets essaient invariablement de prévoir la séquence d'allumage, et ils sont convaincus qu'ils en sont capables. Pourtant, cette stratégie ne leur fait donner des réponses correctes que dans 68 pour cent des essais. S'ils appuyaient toujours sur le bouton du haut, ils atteindraient une proportion de 80 pour cent.

Les rats et d'autres animaux effectuent mieux cette tâche que l'homme : ils apprennent à ne presser que le bouton supérieur. L'hémisphère droit se comporte de la même manière : il n'essaie pas d'interpréter son expérience

À la recherche d'illusions

L'analyse des illusions visuelles montre que certaines informations sont perçues par le cerveau humain droit, mais pas par l'hémisphère gauche. Les deux hémisphères peuvent « voir » si les illusions de rectangle de cette expérience sont écrasées (a) ou étirées (b). Toutefois, lorsque l'on ajoute les contours aux disques, seul le cerveau droit décèle une différence (c et d). Chez la souris, au contraire,

les deux hémisphères perçoivent systématiquement ces différences. Le fait qu'un rongeur obtienne de meilleures performances que l'espèce humaine suggère que certaines capacités ont été perdues par un hémisphère ou par l'autre, lors de l'évolution du cerveau humain. L'acquisition de nouvelles capacités semble avoir provoqué la disparition de facultés plus anciennes.



Laurie Graze

ni d'y trouver une signification plus profonde. Il continue de vivre uniquement dans l'éphémère présent et produit ainsi des réponses correctes dans 80 pour cent des cas. En revanche, l'hémisphère gauche à qui l'on demande d'expliquer pourquoi il essaie de deviner la séquence entière trouve toujours une théorie, aussi bizarre soit elle.

La théorie de l'évolution explique ce phénomène narratif : la sélection naturelle a progressivement doté d'adaptation le cerveau humain, tout comme elle a perfectionné le cerveau des autres espèces animales. Ces adap-

tations ont chacune leur propre siège : elles peuvent être latéralisées dans des régions ou dans des circuits cérébraux spécifiques. Dans le règne animal, les capacités ne sont pas latéralisées, mais se répartissent plutôt équitablement entre les deux hémisphères (bien qu'il existe chez le singe des signes de spécialisation latérale, ces derniers sont rares et mal établis). Pour ces raisons, la latéralisation du cerveau humain apparaît comme un avantage adaptatif supplémentaire.

Toutefois, nous avons eu récemment l'occasion d'observer une dissociation hémisphérique étonnante qui fait

douter de cette théorie. Selon ces nouveaux résultats, certains phénomènes de latéralisation résulteraient non d'un gain de capacité, mais d'une perte.

Au cours de l'évolution, l'espace cortical a sans doute été chèrement disputé : comment le cerveau pouvait-il acquérir de nouvelles capacités sans en perdre d'anciennes ? La latéralisation a peut-être été la solution de ce problème : comme les deux hémisphères sont connectés, des mutations d'une région corticale homologue pouvaient aboutir à une nouvelle fonction, sans coût pour l'animal, parce que l'autre côté restait inchangé.

Le cerveau divisé au masculin et au féminin

Si la latéralisation des fonctions cérébrale est fascinante, elle diffère selon le sexe : l'une des fonctions les plus latéralisées du cerveau humain, le langage, est latéralisée différemment chez l'homme et chez la femme.

Chez la majorité des individus, l'hémisphère gauche commande les principales fonctions du langage : l'expression orale et écrite, la perception des sons de la parole, la structure lexicale de la langue, etc. En utilisant la résonance magnétique fonctionnelle, Sally Shaywitz et ses collègues de l'Université Yale ont montré que certaines tâches linguistiques, comme la détermination de l'existence de rimes entre des mots entendus, font intervenir chacun des deux hémisphères de façon différente chez l'homme et chez la femme. Alors que cet exercice déclenche l'activation d'une région frontale gauche exclusivement chez les hommes (à gauche), une zone symétrique de l'hémisphère droit est également activée chez les femmes (à droite), ce qui indique une mise en jeu des deux hémisphères, chez la femme, dans cette tâche.

Cette particularité a pu être rapprochée d'une constatation faite de longue date par les neurologues : après une destruction accidentelle ou pathologique des aires du langage de l'hémisphère gauche, une femme récupère en moyenne plus vite qu'un homme de son trouble du langage (aphasie). Curieusement, une constatation similaire a été réalisée chez les gauchers (des deux sexes), chez qui l'hémisphère droit participe plus au langage que chez les droitiers.

Les chercheurs connaissent mal les raisons de cette différence d'organisation entre les sexes, mais elle serait liée à un développement différent des fibres du corps calleux, peut-être sous l'influence de la libération d'hormones sexuelles au cours de la croissance du cerveau. Ainsi on a montré que l'injection d'hormones mâles chez le rongeur nouveau-né modifie définitivement la taille du corps calleux. Chez l'homme, on mesure aisément cette

structure sur des clichés d'imagerie médicale : la taille du corps calleux varie en fonction du sexe de l'individu et de sa latéralité manuelle. Les hommes gauchers et les femmes droitiers ont des milliers de fibres nerveuses supplémentaires dans cette région qui unit les zones temporelles du langage de l'hémisphère gauche aux zones symétriques de l'hémisphère droit. Cette différence refléterait l'organisation plus bilatérale du langage chez les femmes et chez les gauchers.

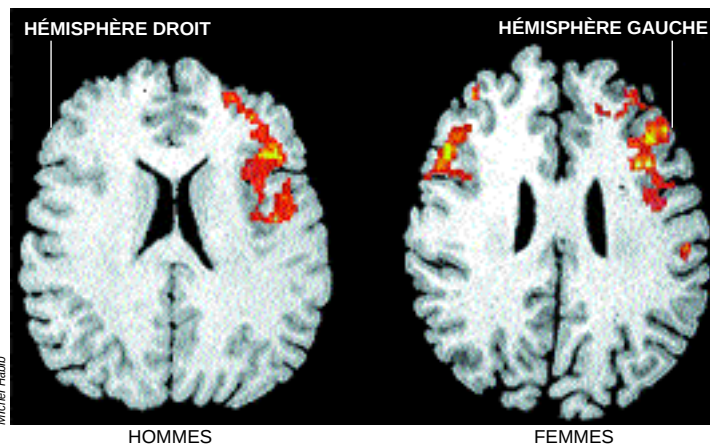
On explore également l'organisation du langage entre les hémisphères en utilisant des écouteurs. Dans cette méthode d'«écoute dichotique», on fait entendre à l'aide d'écouteurs deux mots différents, chacun dans une oreille, et on mesure le nombre de bonnes

réponses du sujet à qui l'on demande soit de répéter les deux mots entendus, soit de détecter une caractéristique de ces mots. La comparaison de la performance entre les deux oreilles informe sur la capacité de l'un ou de l'autre hémisphère à traiter l'information.

Dans une expérience, les sujets devaient soit détecter la présence d'un son (le phonème [b], par exemple), soit décider si l'un des mots était prononcé sur une tonalité émotionnelle donnée (la colère ou la tristesse, par exemple). Le traitement des aspects émotionnels de la

parole est l'une des «spécialités» bien connues de l'hémisphère droit. Dans la condition «verbale» (détecter un son), l'oreille droite se révèle plus performante que la gauche, témoignant de la supériorité de l'hémisphère gauche. Dans ce type de traitement linguistique, les sujets des deux sexes ont des résultats similaires. En revanche, quand on doit répondre sur le caractère émotionnel du mot, seules les femmes démontrent une supériorité de l'hémisphère droit (oreille gauche). Ainsi, lorsqu'il s'agit de traiter le caractère émotionnel de la parole, la participation hémisphérique droite du cerveau féminin semble se manifester plus nettement.

Michel HABIB, Service de neurologie, Hôpital de la Timone, Marseille



Chez les hommes (à gauche), seule une région frontale de l'hémisphère gauche s'active lorsqu'on leur demande de rechercher des rimes. Chez les femmes (à droite), une zone symétrique de l'hémisphère droit s'active également.

Ainsi, nous avons examiné comment les sujets au cerveau divisé perçoivent les illusions relatives aux contours. Des travaux plus anciens avaient suggéré que la perception des contours était assurée par l'hémisphère droit. Nos expériences ont réfuté cette hypothèse : les deux hémisphères perçoivent des contours illusoire, mais l'hémisphère droit peut saisir certains groupements qui échappent à l'hémisphère gauche. Si les deux hémisphères d'une personne au cerveau divisé peuvent juger que des rectangles illusoire sont en largeur ou en hauteur quand aucune ligne n'est dessinée autour des disques qui bordent ces rectangles (voir l'encadré page 77), seul l'hémisphère droit perçoit l'illusion lorsque les disques sont limités par une circonférence noire. Cette présentation est appelée version amodale du test.

Or, des souris réussissent ce test dans sa version amodale. Qu'une souris perçoive des groupements, alors que l'hémisphère gauche des humains n'en est pas capable, suggère qu'une capacité a été perdue au cours de l'évolution. L'émergence d'une capacité humaine, tel le langage – ou un mécanisme interprète – a-t-il chassé cette capacité perceptive de l'hémisphère gauche? Nous pensons que oui, et notre interprétation a des consé-

quences sur la conception des origines de la spécialisation latérale.

Nos habiletés spécifiquement humaines pourraient être produites par des réseaux neuronaux minuscules et circonscrits. Pourtant notre cerveau modulaire nous donne le sentiment d'être intégré et unifié. Comment une unité naît-elle de la modularité?

L'hémisphère gauche pourrait être l'unificateur : ne recherche-t-il pas des explications du pourquoi des événements? L'avantage d'une telle adaptation est clair : en allant au-delà de la simple observation des événements et en demandant pourquoi ils se sont produits, le cerveau sera plus à même de faire face à ces événements s'ils se produisent à nouveau.

L'analyse des forces et des faiblesses de chaque hémisphère nous conduits ainsi à nous intéresser à la conscience : après de nombreuses années de recherches passionnantes sur les cerveaux divisés, on découvre que l'hémisphère gauche, inventif et interprète, a une expérience consciente très différente de celle du cerveau droit, véridique et littéral. Bien que les deux hémisphères puissent être considérés comme conscients, la conscience de l'hémisphère gauche surpasse de très loin celle de l'hémisphère droit. Cette différence entre les deux consciences nous donnera du travail pour au moins trois autres décennies!

Michael GAZZANIGA est directeur du Centre de neurosciences cognitives à Dartmouth.

G. GEOFFROY, M. LASSONDE, F. DELISLE et M. DÉCARIE, *Corpus Callosotomy for Control of Intractable Seizures in Children*, in *Neurology*, n° 33, pp. 891-897, 1983.

M. PITTO et F. LEPORE, *Interocular Transfer in Cats with Early Callosal Transection*, in *Nature*, n° 301, pp. 513-515, 1983.

M. HABIB et A.M. GALABURDA, *Déterminants biologiques de la dominance cérébrale*, in *Revue Neurologique*, n° 142, pp. 869-894, 1986.

M. LASSONDE, H. SAUCRWEIN, G. GEOFFROY et M. DÉCARIE, *Effects of Early and Late Transection of the Corpus Callosum in Children*, in *Brain*, vol. 109, pp. 953-967, 1986.

M. HABIB, D. GAYRAUD, A. OLIVA, J. REGIS, G. SALAMON et R. KHALIL, *Effects of Handedness and Sex on the Morphology of the Corpus Callosum : a Study with Brain Magnetic Resonance Imaging*, in *Brain & Cognition*, n° 16, pp. 41-61, 1991.

M. LASSONDE, H.C. SAUCRWEIN, A.J. CHICOINE et G. GEOFFROY, *Absence of Disconnection Syndrome in Callosal Agenesis and Early Callosotomy : Brain Reorganization or Lack of Structural Specificity during Ontogeny?*, in *Neuropsychologia*, vol. 29, n° 6, pp. 481-495, 1991.

M.J. TRAMO, K. BAYNES, R. FENDRICH, G.R. MANGUN, E.A. PHELPS, P.A. REUTER-LORENZ et M.S. GAZZANIGA, *Hemispheric Specialization and Interhemispheric Integration*, in *Epilepsy and the Corpus Callosum*, deuxième édition, Plenum Press, 1995.

M. HABIB, *Bases neurologiques des comportements*. 3^e édition, éditions Masson, 1997.

Steven PINKER, *How the Mind Works*, W.W. Norton, 1997.

Michael S. GAZZANIGA, *The Mind's Past*, University of California Press, 1998.

Richard B. IVRY et Lynn C. ROBERTSON, *The Two Sides of Perception*, MIT Press, 1998.

M. HABIB et F. ROBICHON, *Dominance hémisphérique*, in *Encyclopédie médico-chirurgicale*, à paraître.

Ce magazine vous intéresse !



Vous y trouverez :

- ☐ Sciences-actualités
- ☐ L'actualité en astronomie
- ☐ Les actualités biomédicales
- ☐ Nouvelles de l'environnement
- ☐ Le texte intégral des conférences du samedi
- ☐ Le commentaire des expositions permanentes et temporaires
- ☐ Le programme des activités du Palais de la découverte

Je souscris un abonnement à la

REVUE DU PALAIS DE LA
DÉCOUVERTE

Je joins mon règlement par chèque à l'ordre du

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
(CCP 9065 48 J PARIS)

Tarif France : 170 F (10 numéros par an)

Tarif étranger : 200 F

par mandat international uniquement

(par avion, supplément de 80 FF)

Abonnement de soutien : 230 F

Nom (M., Mme, Mlle) :

Prénom :

Adresse :

.....

Ville :

Code postal :

Profession :

à retourner avec votre règlement à
Revue du PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
Av. Franklin-D.-Roosevelt - 75008 Paris.
Tél. : 01 40 74 80 00

