

1990 L'IRM fonctionnelle dévoile les secrets du cerveau

Avec la technique d'imagerie de l'IRM fonctionnelle, il est enfin possible d'observer le cerveau en action. Et de comprendre comment notre encéphale voit, entend, mémorise, raisonne, s'émeut... et se trompe.

Les progrès en imagerie cérébrale ont été une révolution dans le domaine des neurosciences. En particulier, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, ou IRM fonctionnelle, montre le cerveau «en action». Cette méthode d'imagerie est née à partir de 1990 grâce aux travaux du Japonais Seiji Ogawa, des laboratoires Bell, aux États-Unis. Il en a établi le principe et démontré l'efficacité expérimentale.

Mais en quoi consiste l'imagerie par résonance magnétique? Cette technique repose sur un phénomène physique: la résonance magnétique nucléaire (RMN), découverte en 1938 par le physicien américain Isidor Isaac Rabi. Certains atomes présentent un moment magnétique nucléaire, ou spin. C'est le cas notamment de l'hydrogène, constituant de la molécule d'eau qui représente jusqu'à 80% de la composition du cerveau. Lorsque ces atomes sont plongés dans un champ magnétique intense, leur spin s'aligne avec ce champ. En envoyant des impulsions électromagnétiques en radiofréquences, on perturbe cet alignement. Et le retour à l'état initial aligné s'accompagne d'une émission électromagnétique à des fréquences

très précises. Grâce aux progrès fulgurants de l'informatique et de l'électronique durant les années 1970 et 1980, il est devenu possible d'appliquer cette technique à un patient placé dans un fort champ magnétique. Les chercheurs mesuraient les ondes émises lors du réalignement des spins et, en traitant les données, reconstituaient une image fine des tissus mous du corps du patient, et notamment de son cerveau. On parle d'IRM anatomique.

LE CERVEAU EN ACTION

Ces images de la structure des organes sont cependant statiques. Pour voir le cerveau en action, Seiji Ogawa s'est appuyé sur un résultat connu depuis 1936, obtenu par le chimiste américain Linus Pauling et son compatriote Charles Coryell: l'hémoglobine du sang présente des propriétés magnétiques différentes selon qu'elle est oxygénée ou non. Or, d'après les travaux des Britanniques Charles Roy et Charles Sherrington (qui reçut le prix Nobel en 1932 pour ses travaux sur les neurones), l'activité métabolique dans le cerveau s'accompagne d'une variation de l'afflux sanguin: les neurones des régions sollicitées pour accomplir une tâche cognitive ont besoin de plus de glucose (sucre) et d'oxygène

L'AUTEUR



OLIVIER HOUDÉ
professeur de psychologie
à l'université Sorbonne-Paris-Cité,
directeur du LaPsyDÉ (CNRS)



pour fonctionner. En 1990, Seiji Ogawa a montré qu'en principe, il était possible de mesurer les perturbations de l'activité magnétique de l'hémoglobine sur le signal IRM. En mesurant cet effet, il devenait dès lors envisageable de mettre en évidence les zones du cerveau sollicitées lorsque l'individu effectue une action, ou plus exactement une opération mentale.

Deux ans plus tard, avec la collaboration de Ken Kwong, John Belliveau, Bruce Rosen et d'autres au département de radiologie du Massachusetts General Hospital, Seiji Ogawa a confirmé l'efficacité de cette technique. En l'utilisant sur un individu soumis à des stimulations visuelles, l'équipe a montré que le signal IRM dans le lobe occipital, déjà connu pour son rôle dans la vision, dépendait de l'oxygénation du sang – on parle de signal Bold (pour *Blood Oxygen Level Dependent* en anglais). Avec cette technique de l'IRM dite fonctionnelle, on voyait bien le «cerveau en action»!

En pratique, les perturbations magnétiques de l'hémoglobine sont de faible intensité. On ne peut dès lors les mettre en évidence et les mesurer qu'en présence d'un aimant très puissant. Dans les dispositifs d'IRM utilisés aujourd'hui, le champ magnétique est

L'IRM fonctionnelle a une résolution spatiale de l'ordre du millimètre

typiquement de 1,5 à 3 teslas, soit 60 000 fois le champ magnétique terrestre.

L'IRM fonctionnelle n'est pas la seule technique hémodynamique d'imagerie cérébrale. La tomographie par émission de positrons (TEP) a aussi été développée dans les années 1990. Dans le cas de la TEP, on mesure le débit sanguin cérébral dans différentes régions du cerveau par le biais de la concentration d'un traceur portant un atome radioactif injecté au patient (la dose très faible de radioactivité artificielle est sans danger). En se désintégrant, l'atome émet un positron qui s'annihile immédiatement avec un >

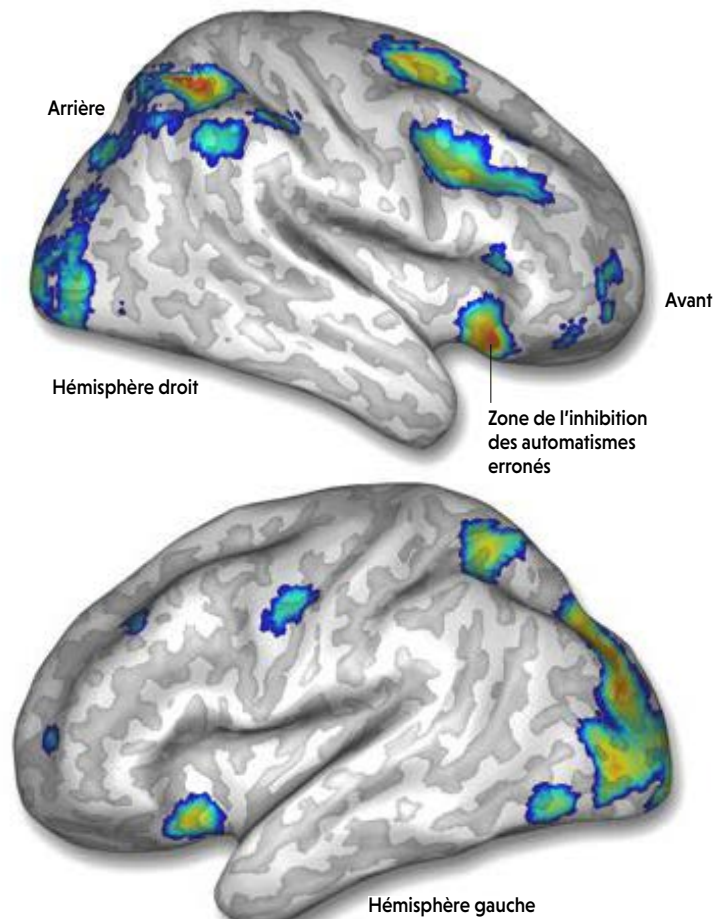
▷ électron environnant dans l'organisme. Des photons sont alors produits et leur détection permet de déterminer leur point d'origine dans le cerveau. Cette technique, en choisissant le bon traceur, est très efficace comme outil de diagnostic, notamment pour identifier des tumeurs.

L'IRM fonctionnelle présente cependant l'avantage d'être non invasive et indolore (car sans injection), contrairement à la TEP. C'est pour cette raison qu'elle est, depuis le début des années 2000, la technique d'imagerie la plus utilisée dans le domaine des neurosciences cognitives. Par ailleurs, la résolution (précision) spatiale de l'IRM fonctionnelle est très bonne, de l'ordre du millimètre. Sa résolution temporelle, cependant, est de l'ordre de la seconde, ce qui n'est pas toujours suffisant en psychologie expérimentale. Afin d'obtenir, en complément, une résolution temporelle maximale (en millisecondes), on utilise d'autres techniques (la magnétoencéphalographie ou l'électroencéphalographie à haute densité).

Le champ des applications de l'IRM fonctionnelle est vaste. Elle est par exemple utilisée pour étudier la perception, la mémoire, le raisonnement, la conscience, les émotions, etc. d'un point de vue cognitif chez l'adulte sain. Il est aussi possible de suivre le début et la progression de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer. Autre application, avant une opération chirurgicale délicate du cerveau, l'IRM fonctionnelle peut être utilisée pour localiser les régions du langage et de la motricité du patient. Ou pour un diagnostic après un choc crânien.

NEUROÉDUCATION

Dans des laboratoires, tel que le mien, nous nous intéressons à la question des apprentissages à l'école (lecture, mathématiques, raisonnement, etc.), ainsi qu'à la psychologie du développement du cerveau d'enfants d'âge préscolaire et scolaire. C'est le domaine de la « neuroéducation » ou « neuropédagogie ». Il s'agit de comprendre comment les apprentissages sont contraints par les lois de fonctionnement du cerveau – que les professeurs doivent donc connaître – et, en retour, comment l'environnement, l'école en particulier, ou telle pédagogie, telle méthode, telle pratique modifient et font progresser le cerveau des enfants. On observe, par exemple, qu'en apprenant à des élèves à surmonter (inhiber) leurs automatismes erronés, les enfants progressent bien mieux qu'en utilisant d'autres méthodes (par l'explication uniquement logique et rationnelle du problème ou par la simple répétition de la tâche). Pour apprendre à un enfant à inhiber ses erreurs, il faut utiliser un jeu attentionnel « d'attrape pièges » où il doit glisser sous une zone hachurée (zone d'inhibition) les cartons-réponses correspondant aux automatismes erronés. C'est ce



signal stop dont le cerveau a besoin. Un exemple d'erreur classique est la phrase : « Elle les manges. » L'enfant apprend en général qu'après l'article « les », il doit mettre un « s » au mot suivant. Ainsi, pour ne pas faire cette faute, l'enfant doit inhiber ce réflexe. Autre exemple, en mathématiques, l'enfant confond parfois le nombre des éléments à compter et l'espace occupé par ces éléments. Il doit alors inhiber le réflexe longueur=nombre. Que se passe-t-il dans le cerveau des enfants avant et après apprentissage de l'inhibition ? L'IRM fonctionnelle (voir la figure ci-dessus) met très bien en évidence que, suite à cet apprentissage, l'enfant active des régions préfrontales qui sont dédiées au contrôle attentionnel, en particulier à l'inhibition des automatismes cognitifs, en plus des autres régions du cerveau (par exemple pariétales pour le nombre et le comptage).

Pour le futur, un centre comme celui de NeuroSpin à Saclay, près de Paris, vient de se doter d'un instrument d'IRM de 11,7 teslas, le plus puissant du monde en recherche humaine ! Les chercheurs espèrent ainsi trouver l'existence d'un code neural et mieux comprendre le développement du cerveau, ainsi que les pathologies neurologiques. Mais les meilleurs progrès scientifiques viendront peut-être, avec l'IRM 3 teslas, déjà utilisée dans beaucoup de laboratoires, de l'ingéniosité des expériences psychologiques elles-mêmes afin de mieux comprendre comment le cerveau change en fonction des émotions, des situations sociales et des cultures. ■

Sur ces images d'IRM fonctionnelle, lorsque l'enfant a appris à inhiber ses erreurs, des zones préfrontales (à l'avant du cerveau) s'activent en plus des zones pariétales du nombre à l'arrière du cerveau.

BIBLIOGRAPHIE

O. Houdé et al., **Functional MRI study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children**, *Journal of Experimental Child Psychology*, vol. 110, pp. 332-346, 2011.

S. Ogawa et al., **Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation [...]**, *PNAS*, vol. 89, pp. 5951-5955, 1992.

S. Ogawa et al., **Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation**, *PNAS*, vol. 87, pp. 9868-9872, 1990.