

L'exploration du cortex par son activité électromagnétique

BERNARD RENAULT • LINE GARNERO

Dans une nouvelle méthode d'exploration du cerveau, l'imagerie électromagnétique, on enregistre les signaux électriques et magnétiques produits par l'activation des neurones. On peut notamment observer des modifications de la représentation du corps dans le cortex.

En 1648, dans son *Traité de l'homme*, Descartes imaginait comment l'esprit, soufflant sur les mécanismes du cerveau, pourrait mettre en action toute la machinerie humaine : « Ainsi vous pouvez avoir vu, dans (...) les fontaines de nos Rois, que la seule force dont l'eau se meut en sortant de sa source est suffisante pour y mouvoir diverses machines, et même pour les y faire (...) prononcer quelques paroles. » Aujourd'hui, nos idées sur l'esprit ont beaucoup évolué, bien sûr, mais nous réalisons le rêve de Descartes : nous commençons à voir tourner les rouages d'un cerveau qui pense.

Cette prouesse nécessite des techniques qui nous révèlent l'intérieur du cerveau avec une grande précision temporelle (de l'ordre de la milliseconde) et une bonne résolution spatiale (inférieure à quelques millimètres cubes). Cela est désormais possible grâce à l'usage complémentaire de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et de l'imagerie électromagnétique : l'électroencéphalographie (EEG) et la magnétoencéphalographie (MEG). Ces techniques révèlent les zones du cerveau qui sont activées par des tâches sensorielles, motrices ou cognitives.

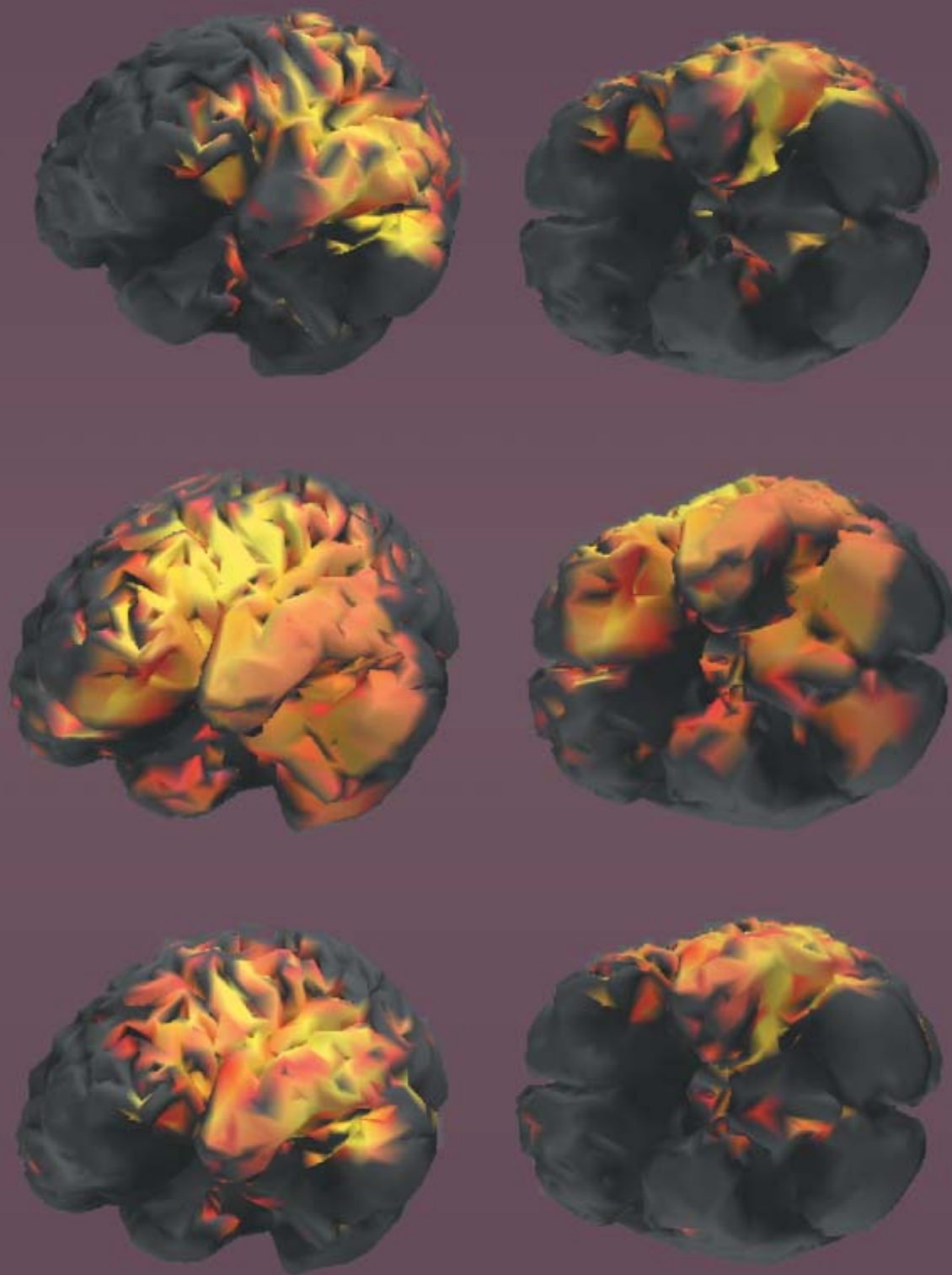
L'IRM fonctionnelle enregistre les variations locales du débit sanguin dans le cerveau (les activités cérébrales consomment de l'oxygène, de sorte que le débit sanguin augmente pour satisfaire les besoins). Cet enregistrement est réalisé sur l'ensemble du volume cérébral, ce qui nécessite un temps d'acquisition d'environ une demi-seconde. Ainsi, les images IRM sont séparées par des intervalles de temps longs, à l'échelle de l'activité neuronale, et les phénomènes mesurés ont eux-mêmes une grande inertie, de sorte que le « film » obtenu ne permet pas d'étudier avec une résolution temporelle suffisante l'évolution de l'activité neuronale dans le temps. En revanche, la résolution spatiale de ces images, de l'ordre du millimètre cube, est excellente.

Les méthodes électromagnétiques, quant à elles, enregistrent directement, en temps réel, sur le scalp et, par conséquent, à distance des sites actifs, les signaux électriques et magnétiques émis par des réseaux de neurones activés au cours de la tâche cognitive considérée. Ces enregistrements sont réalisés toutes les millisecondes, voire

plus rapidement si nécessaire. Comme pour l'IRMf, la résolution spatiale du MEG ou de l'EEG est de l'ordre de quelques millimètres cubes. Cependant de nombreuses difficultés pour localiser précisément les sources des signaux enregistrés ne permettent d'atteindre cette précision que lorsque la zone cérébrale responsable du signal est faiblement étendue, ce qui est rarement le cas. En général, on ne peut dire avec une grande précision où se trouvent les sources du signal capté en surface. Ainsi, les images électromagnétiques révèlent l'activité cérébrale en temps réel, mais ne peuvent préciser le nombre et la position des sites actifs comme le fait l'IRM fonctionnelle (voir *L'imagerie cérébrale : IRM et TEP*, par Bernard Mazoyer, page 42). Par conséquent, tout plateau d'imagerie fonctionnelle cérébrale humaine doit comprendre une IRM fonctionnelle et une machine MEG-EEG. En France, depuis 1998, il existe un système MEG-EEG réalisant des images de la tête entière, dédié à la recherche publique fondamentale et clinique, à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, où une IRM fonctionnelle de recherche devrait être bientôt disponible.

La source des signaux

Comment sont produits les champs détectés par les systèmes d'imagerie MEG et EEG ? L'excitation d'un neurone entraîne l'ouverture de canaux ioniques au niveau de sa membrane. La composition ionique à l'intérieur de la cellule est différente de celle de son environnement, aussi l'ouverture de ces canaux engendre-t-elle un mouvement de particules chargées, c'est-à-dire un courant électrique, dans les milieux intracellulaire et extracellulaire. Les courants intracellulaires sont aussi nommés « courants sources » ou « courants primaires » et se propagent le long de l'axone ou des dendrites du neurone. Les solutions ioniques devant rester partout électriquement neutres, les courants primaires provoquent des déplacements d'ions, dits secondaires ou volumiques, à l'extérieur de la cellule, c'est-à-dire des lignes de courant qui se ferment après circulation dans le volume entier de la tête (voir la figure 2). Un courant électrique engendre, dans l'espace qui l'entoure, un champ magnétique, et deux



Bernard Renault et Line Garnero, LEM/Hôpital Pitié-Salpêtrière

1. LA COMPLÉMENTARITÉ de l'électroencéphalographie et de la magnétoencéphalographie est illustrée par ces enregistrements réalisés simultanément avec les deux techniques. Sur la reconstruction réalisée d'après les mesures MEG (*en haut*), les zones activées sont plus restreintes que sur la reconstruction faite d'après l'EEG (*au milieu*). Ceci est dû au fait que les assemblées de neu-

rones situées dans la profondeur du cerveau contribuent très peu aux signaux MEG, tandis que la mauvaise résolution spatiale de l'EEG «lisse» à l'excès les zones réellement activées. La combinaison des deux types de données (*en bas*) révèle des zones difficilement détectables en magnétoencéphalographie et fournit une répartition des zones activées plus précise qu'en électroencéphalographie.