



Trois résultats récents de la recherche sur les bases neurales des fonctions cognitives

Stanislas Dehaene

Point presse du 10 mars 2010

La compréhension des fonctions cognitives du cerveau est l'un des défis que doivent relever les neurosciences actuelles. Les enjeux en termes d'éducation ou de santé sont importants puisque cette compréhension pourrait permettre d'améliorer les méthodes d'apprentissage scolaires aussi bien du français et des mathématiques que des langues étrangères, d'adapter ces méthodes pour les enfants atteints de maladies telles que la dyslexie, ou d'améliorer la prise en charge de patients ayant subi un traumatisme physique ou psychologique se traduisant par une perte cognitive importante.

Pour mieux comprendre ces fonctions, les outils modernes de la neuro-imagerie viennent compléter les informations issues de la psychologie cognitive. Les chercheurs du laboratoire de neuro-imagerie cognitive de NeuroSpin, dirigé par le Professeur Stanislas Dehaene, analysent les bases cérébrales des fonctions cognitives, plus particulièrement pour 3 fonctions largement spécifiques du cerveau humain :

- la compréhension du langage écrit et parlé,
- les processus de calcul et de traitement mathématique,
- le traitement conscient de l'information

Pour ce faire, ce laboratoire exploite différentes méthodes d'imagerie cérébrale comme l'IRM fonctionnelle ou l'IRM de diffusion, ainsi que la magnétoencéphalographie (MEG).

Trois résultats récents illustrent les avancées récentes apportées grâce au plateau technique et aux compétences regroupées à NeuroSpin.

L'apprentissage du langage chez les nourrissons :

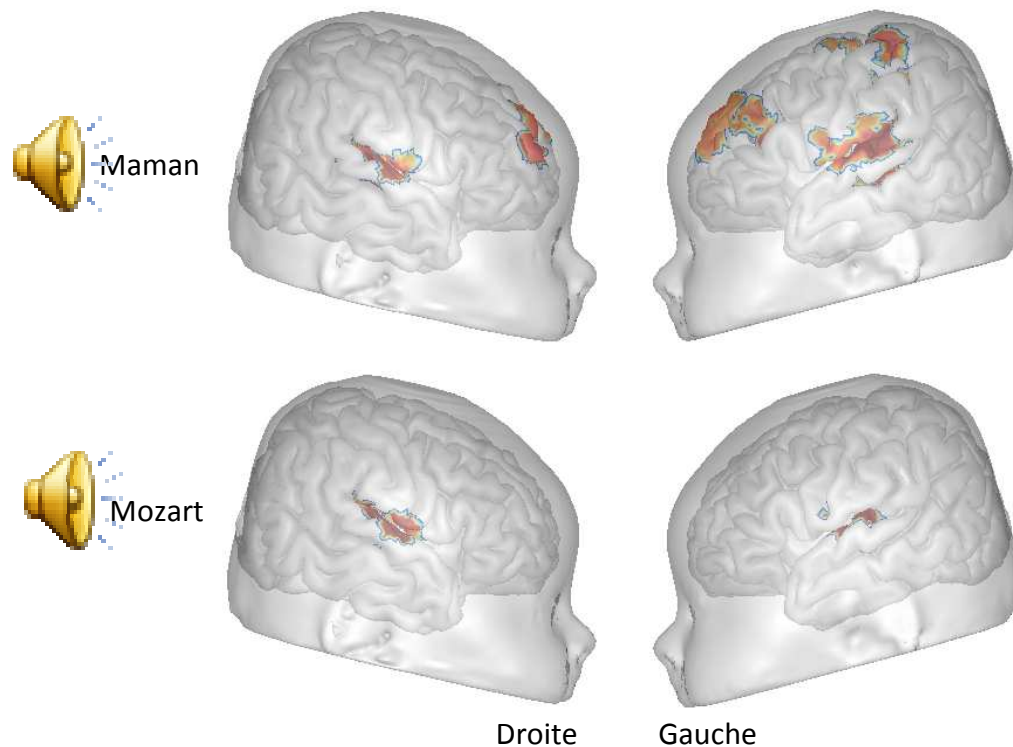
L'acquisition du langage chez le petit enfant est un processus complexe. Celui-ci doit en effet être capable de communiquer avec ces congénères dans sa langue maternelle. Pour cela il doit reconnaître les sons de sa propre langue, parvenir à extraire des mots parmi une parole constituée d'un ensemble de sons continus, et enfin combiner ces mots pour construire un message.

Pour comprendre les mécanismes d'acquisition du langage, les chercheurs de NeuroSpin s'intéressent aux bases cérébrales du langage et aux contraintes liées à la maturation cérébrale au cours de l'évolution du nourrisson. Cet axe s'est développé grâce à l'essor de l'imagerie fonctionnelle, technique non invasive qui peut être appliquée en toute sécurité sur des enfants de très bas âge. Des protocoles très pointus respectant les codes d'éthique et le bien-être de l'enfant (calme, protection contre le bruit, confort...) sont mis en place pour effectuer ce type d'études sur des nourrissons dès deux mois.

La reconnaissance de la voie maternelle : dans leur dernière étude, les chercheurs ont regardé comment réagissaient des nourrissons (de deux mois) à la voix, soit de leur maman, soit d'une autre femme. Ils ont clairement montré la reconnaissance de la voie de la maman par les nourrissons. Cette reconnaissance active au niveau cérébral non seulement les zones impliquées dans le langage, mais également celles impliquées dans les réponses émotionnelles, ce qui n'est pas le cas lorsqu'ils entendent une autre voix.

Une asymétrie du cerveau très précoce : les deux voix (maman et femme) déclenchent une activation prépondérante des régions qui codent pour la parole (avec une activation beaucoup plus forte pour la voix de la maman), activation asymétrique essentiellement de l'hémisphère gauche. En revanche, la musique, un autre stimulus complexe et structuré, active les deux hémisphères du cerveau. Cela signifie qu'il existe dans le cerveau du nourrisson une organisation particulière du côté

gauche du cerveau qui le rend particulièrement apte au langage. Et ceci dès l'âge de deux mois. Notre cerveau semble donc préprogrammé pour permettre au nourrisson d'apprendre relativement rapidement sa langue maternelle.



Légende : Activation cérébrale chez des nourrissons de 2 mois endormis à l'écoute de la voix de leur maman ou à des extraits des sonates pour pianos de Mozart.

Références :

Language or music, mother or Mozart? Structural and environmental influences on infants' language networks. Dehaene-Lambertz G, Montavont A, Jobert A, Alliol L, Dubois J, Hertz-Pannier L, Dehaene S. *Brain Lang.* 2009 Oct 26. *online*

L'apprentissage de la lecture chez les enfants

L'apprentissage de la lecture est un phénomène complexe qui fait intervenir plusieurs composantes : une étape visuelle pour reconnaître la forme écrite du mot, une étape de conversion phonologique qui transforme les graphèmes (symboles écrits) en phonèmes (éléments fondamentaux de la parole), enfin un accès au lexique pour associer un sens à ce mot et l'intégrer dans une phrase. La première étape, la composante visuelle de la lecture, est essentielle et pourrait être à l'origine de certaines des difficultés d'apprentissage rencontrées par les enfants. Lors de cet apprentissage, il n'est pas rare d'observer que les enfants âgés de 5-6 ans écrivent occasionnellement certains mots à l'envers, de la droite vers la gauche (écriture en miroir). Ils sont également capables de lire des mots écrits en miroir. Étrangement cette capacité observée, sans apprentissage, chez les enfants disparaît vers l'âge de huit ans et n'est plus retrouvée chez l'adulte, à quelques exceptions près comme Léonard de Vinci ! Et pourtant les adultes ont un système visuel toujours capable de reconnaître des images miroir pour les objets.

La reconnaissance miroir chez l'adulte : Dans leurs derniers travaux, les chercheurs de NeuroSpin se sont attachés à comprendre les mécanismes neuraux pouvant expliquer pourquoi les adultes sont capables de reconnaître les images miroir pour les objets mais pas pour les mots. Pour cela ils ont regardé comment s'active le cerveau d'adultes lorsqu'on leur présente des paires d'images miroir (ou non) représentant des objets identiques (ou non), et des mots. Ils ont confirmé que les adultes reconnaissent comme étant identiques des images miroir lorsqu'elles représentent des objets mais pas lorsqu'il s'agit de mots.

La zone du cerveau spécialisée dans la reconnaissance miroir : Avec l'IRM, les chercheurs ont mis en évidence le rôle essentiel d'une petite zone du cerveau localisée dans le gyrus fusiforme (hémisphère gauche du cerveau), l'aire de la forme visuelle des mots. Cette zone, véritable "boîte à lettres" du cerveau dédiée à la reconnaissance visuelle des mots, est impliquée dans l'apprentissage de la lecture. Ils ont en fait montré que cette zone est activée lors de la présentation d'images miroir d'objets mais pas de mots miroir.

Ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse des chercheurs qui pensent que la reconnaissance visuelle en miroir serait une propriété intrinsèque du cortex visuel, mais que cette capacité serait progressivement perdue pour les mots au fur et à mesure de l'apprentissage de la lecture. Pour tester cette hypothèse, les chercheurs mettent aujourd'hui en place des études complexes pour observer ce qui se passe chez des enfants au fur et à mesure de l'apprentissage de la lecture, ainsi que chez des adultes illettrés.

Ces recherches sont particulièrement importantes car cette compétence pour la reconnaissance miroir reste présente plus tardivement chez les enfants dyslexiques que chez les autres enfants. Cela suggère que cet apprentissage visuel et le désapprentissage de la généralisation par symétrie pourraient constituer chez certains enfants, en plus des anomalies du traitement phonologique, la source primaire de la dyslexie.

Référence :

Why do children make mirror errors in reading? Neural correlates of mirror invariance in the visual word form area. Dehaene S, Nakamura K, Jobert A, Kuroki C, Ogawa S, Cohen L. *Neuroimage*. 2010 Jan 15;49(2):1837-48.

Reconnaissance et l'utilisation des nombres chez l'adulte

Comment notre cerveau reconnaît-il les nombres et d'où vient notre faculté à les assembler pour effectuer des calculs ? Cette faculté est-elle innée ou totalement acquise lors de l'apprentissage ? Quel système de codage est mis en place par le cerveau ? Quelles sont les zones du cerveau qui sont activées lorsque nous effectuons un calcul ? Autant de questions auxquelles les chercheurs de NeuroSpin tentent de répondre, cette fois encore en s'appuyant sur l'imagerie médicale.

Un code numérique décrypté : les chercheurs viennent ainsi de « craquer » le code numérique utilisé par le cerveau. Ils peuvent désormais deviner, avec un taux de réussite qui dépasse le niveau du hasard, quel chiffre une personne vient de regarder, uniquement en analysant le profil d'activation de son cerveau obtenu par IRM. Dans cette étude, ils ont présenté à des volontaires soit des images composées d'un nombre variable de points (par exemple un cercle avec six points), soit des chiffres sous leur forme symbolique (par exemple le chiffre 6). Grâce à une analyse informatique complexe des profils obtenus par IRM, ils ont pu confirmer qu'il existe bien un code mis en place par le cerveau pour la reconnaissance des nombres : dans la région pariétale, à chaque nombre correspond un profil d'activation.

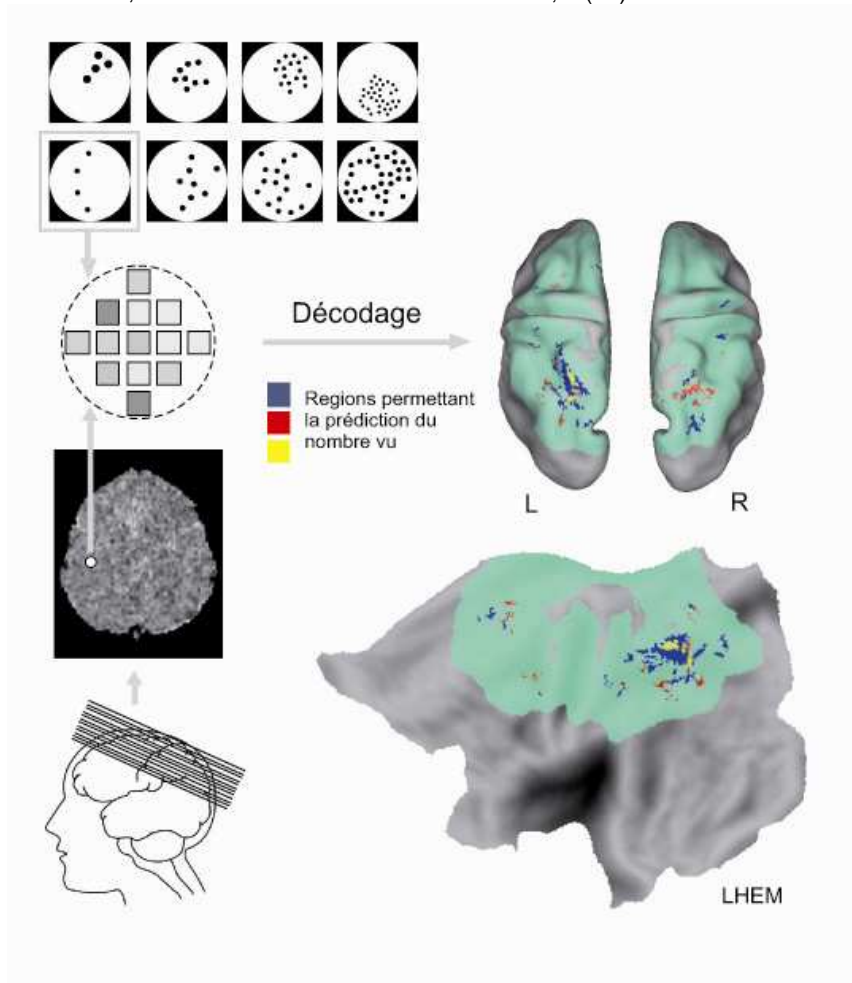
Un code complexe : cependant ce code est complexe puisque les profils d'activations varient d'une personne à l'autre et ne sont pas exactement les mêmes selon que le chiffre est présenté de façon imagée ou symbolique. Il existe cependant des correspondances partielles entre ces différents profils suggérant que les profils d'activation du cerveau obtenus pour les chiffres symboliques pourraient représenter une évolution à partir de ceux de la représentation quantitative, non symbolique, des chiffres (avec les points). Autre constatation importante, pour l'analyse des images constituées de points, les chercheurs ont observé que le profil d'activation du cerveau change de façon progressive, reflétant la notion d'ordre entre les nombres : par exemple le profil obtenu avec 6 points est intermédiaire entre ceux obtenus pour 4 points et 8 points. Ce n'est pas le cas pour les images contenant les chiffres symboliques, pour lesquelles ils n'ont pas pu détecter de graduation dans les

profils. Cela suggère l'existence d'un codage qui implique un nombre plus restreint de neurones pour les chiffres symboliques que celui utilisé pour le nombre de points.

Le décryptage de ces systèmes de codage n'en est encore qu'à son début mais ces résultats, obtenus pour la première fois chez l'homme, laissent penser qu'il sera bientôt possible de décrypter les mécanismes complexes mis en oeuvre pour effectuer des opérations mathématiques.

Références :

Deciphering cortical number coding from human brain activity patterns. Eger E, Michel V, Thirion B, Amadon A, Dehaene S, Kleinschmidt A. *Curr Biol.* 2009 Oct 13;19(19):1608-15.



Légende : Système de codage des nombres mis en place par le cerveau