

Quelques avancées récentes en neurosciences cognitives à NeuroSpin

Stanislas Dehaene

Collège de France, Paris

INSERM-CEA

Cognitive Neuroimaging Unit
NeuroSpin Center, Saclay

www.unicog.org



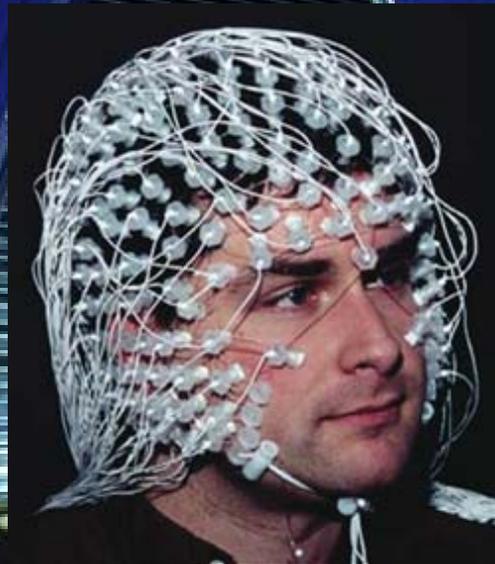
NeuroSpin France

Unité de Neuroimagerie Cognitive (INSERM-CEA)

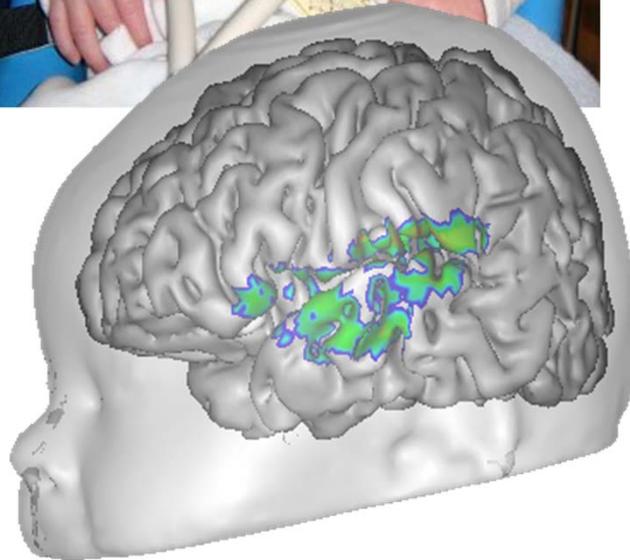
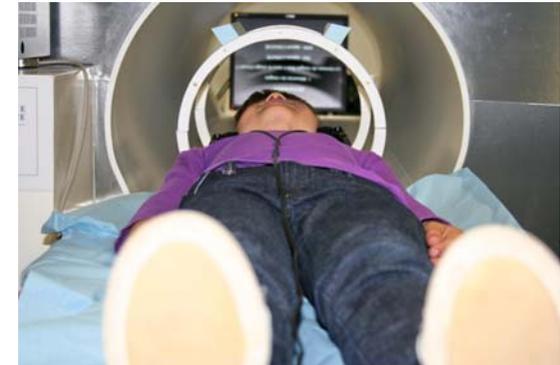
IRM fonctionnelle

Electroencéphalographie

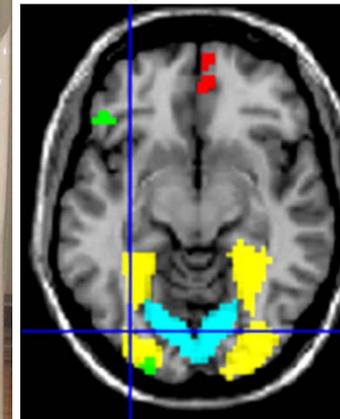
Magnétoencéphalographie



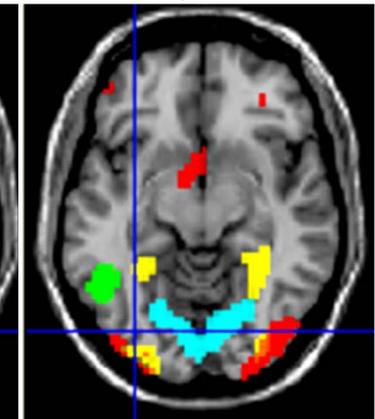
L'imagerie pédiatrique: un point fort de NeuroSpin



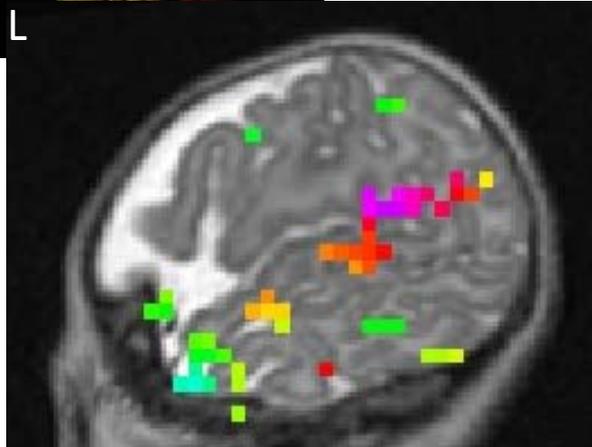
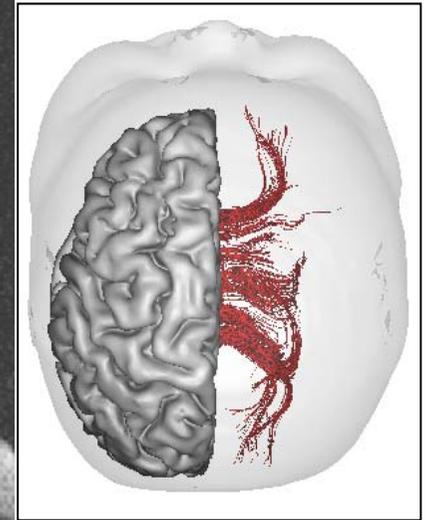
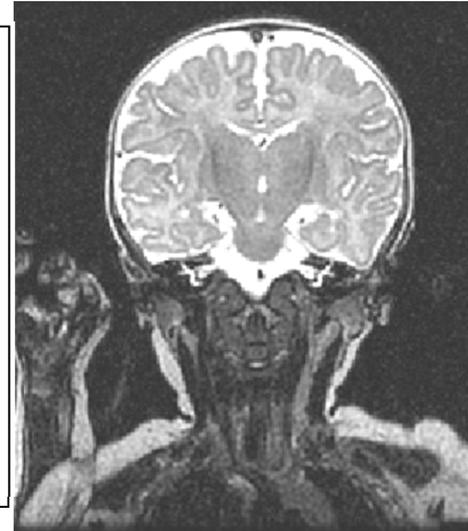
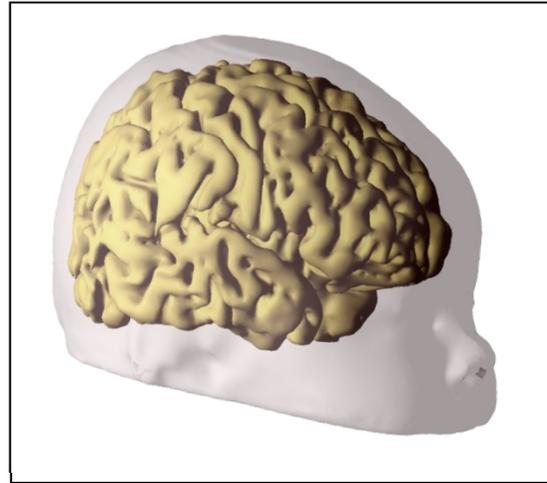
6 ans, non-lecteur



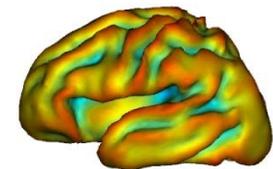
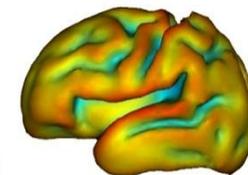
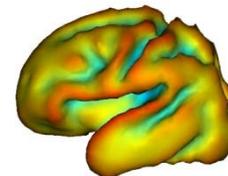
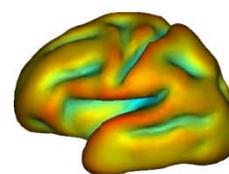
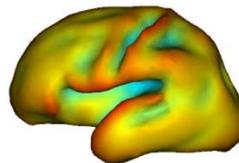
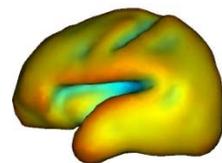
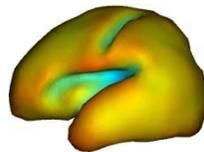
6 ans, lecteur



Première idée: le cerveau de l'enfant est structuré

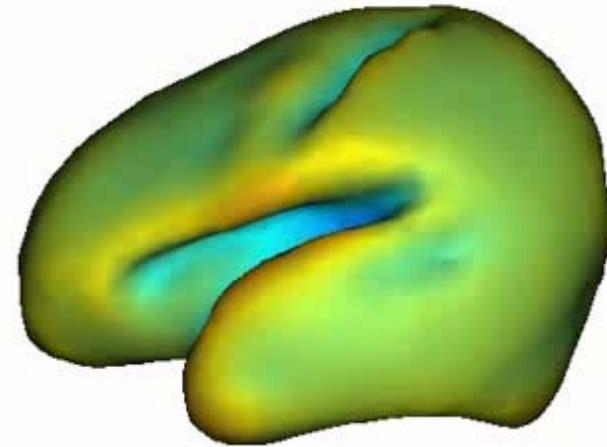


- Le cerveau est organisé dès la naissance. Il contient des connaissances innées, mais aussi des algorithmes sophistiqués d'apprentissage.



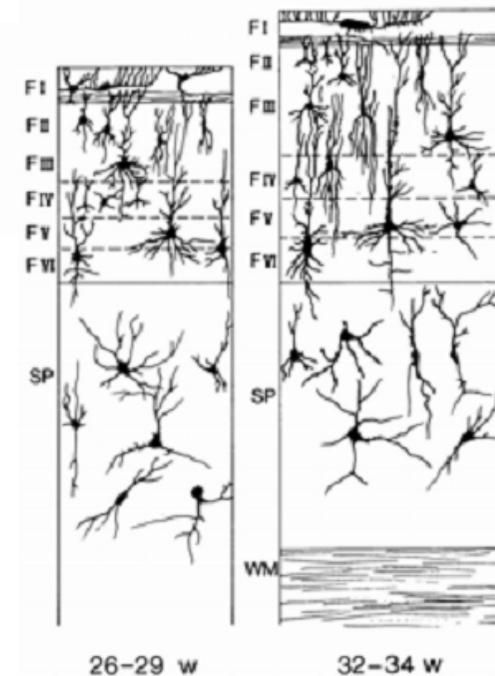
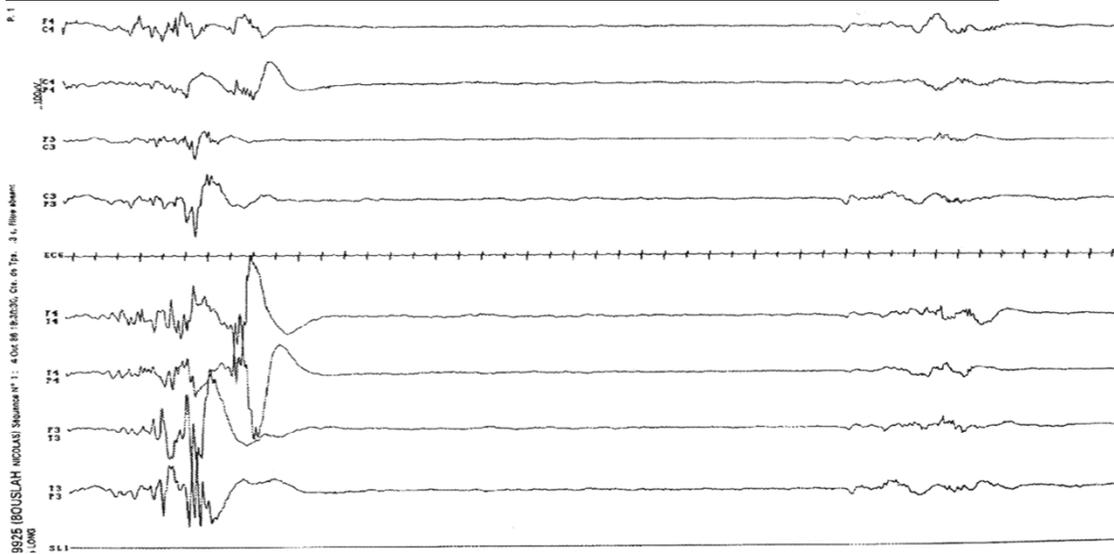
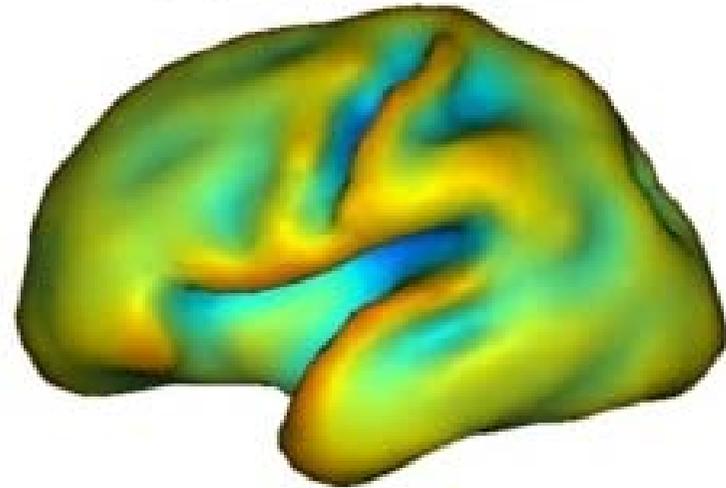
Une réponse à la nouveauté auditive chez le prématuré de 31 semaines

Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Godjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (PNAS, 2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers.



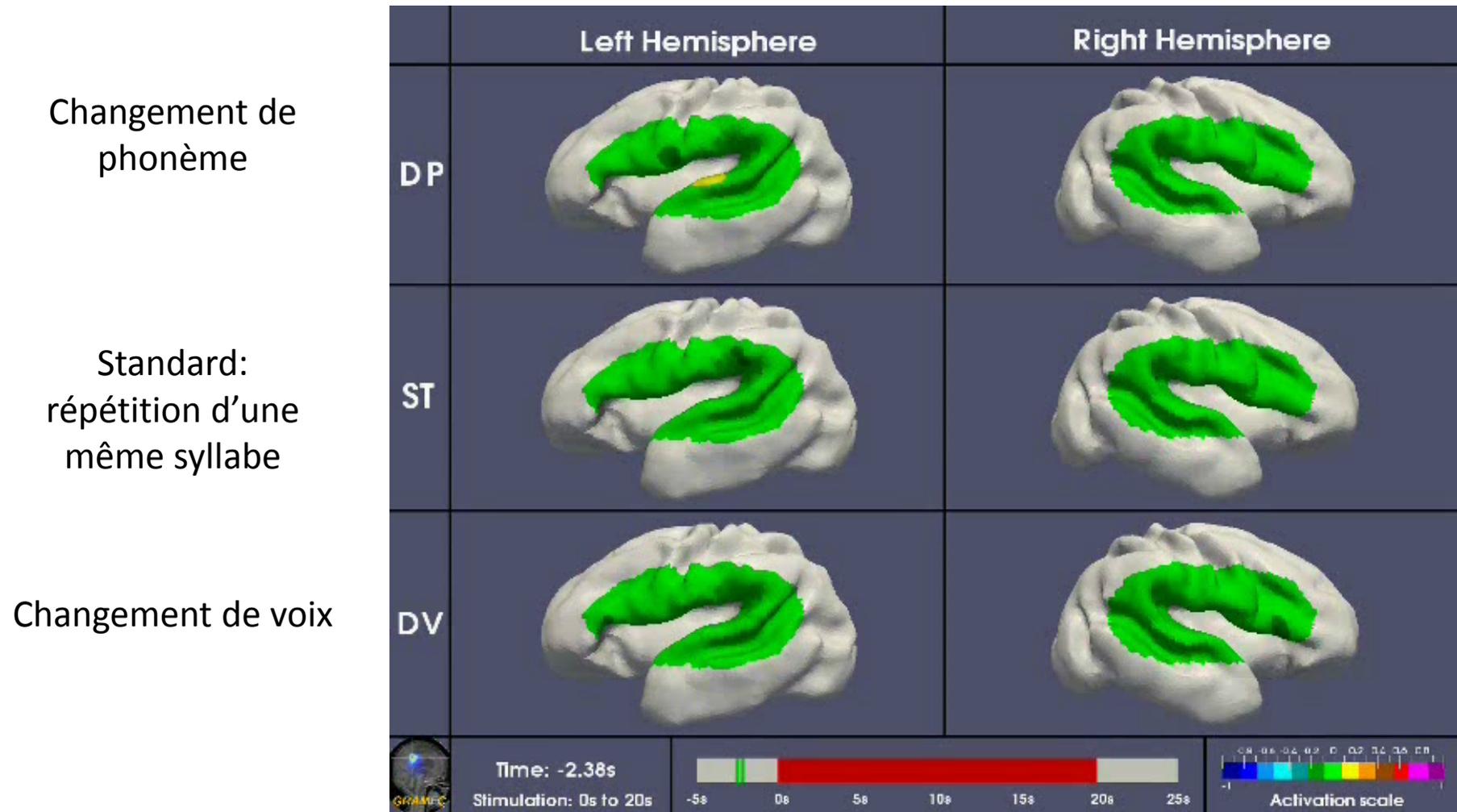
Une réponse à la nouveauté auditive chez le prématuré de 31 semaines

Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Godjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (PNAS, 2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers.



Une réponse à la nouveauté auditive chez le prématuré de 31 semaines

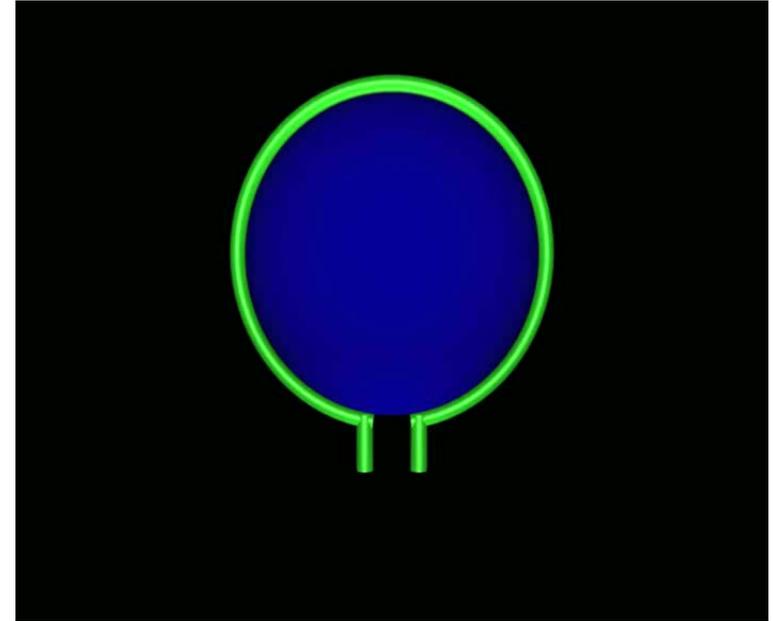
Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Godjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (PNAS, 2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers.



Concentration en hémoglobine oxygénée

Le bébé, machine à apprendre

- Le cerveau contient, dès la naissance, un **algorithme d'apprentissage statistique** extrêmement sophistiqué (apprentissage statistique Bayésien)
- L'enfant se comporte comme « un scientifique au berceau (Gopnik):
 - Le cerveau dispose, d'emblée, d'un jeu d'**hypothèses hiérarchiques**, qu'il projette sur le monde extérieur, et dont certaines sont très abstraites (exemples: « le monde est constitué d'objets rigides »; « principe de causalité »)
 - Il sélectionne ces hypothèses ou schémas mentaux en fonction de leur **plausibilité** au vu des expériences qu'il fait ou des entrées qu'il reçoit.
 - L'attention, la récompense, l'erreur, la curiosité, le sommeil, sont des éléments importants de cet algorithme encore imparfaitement compris.

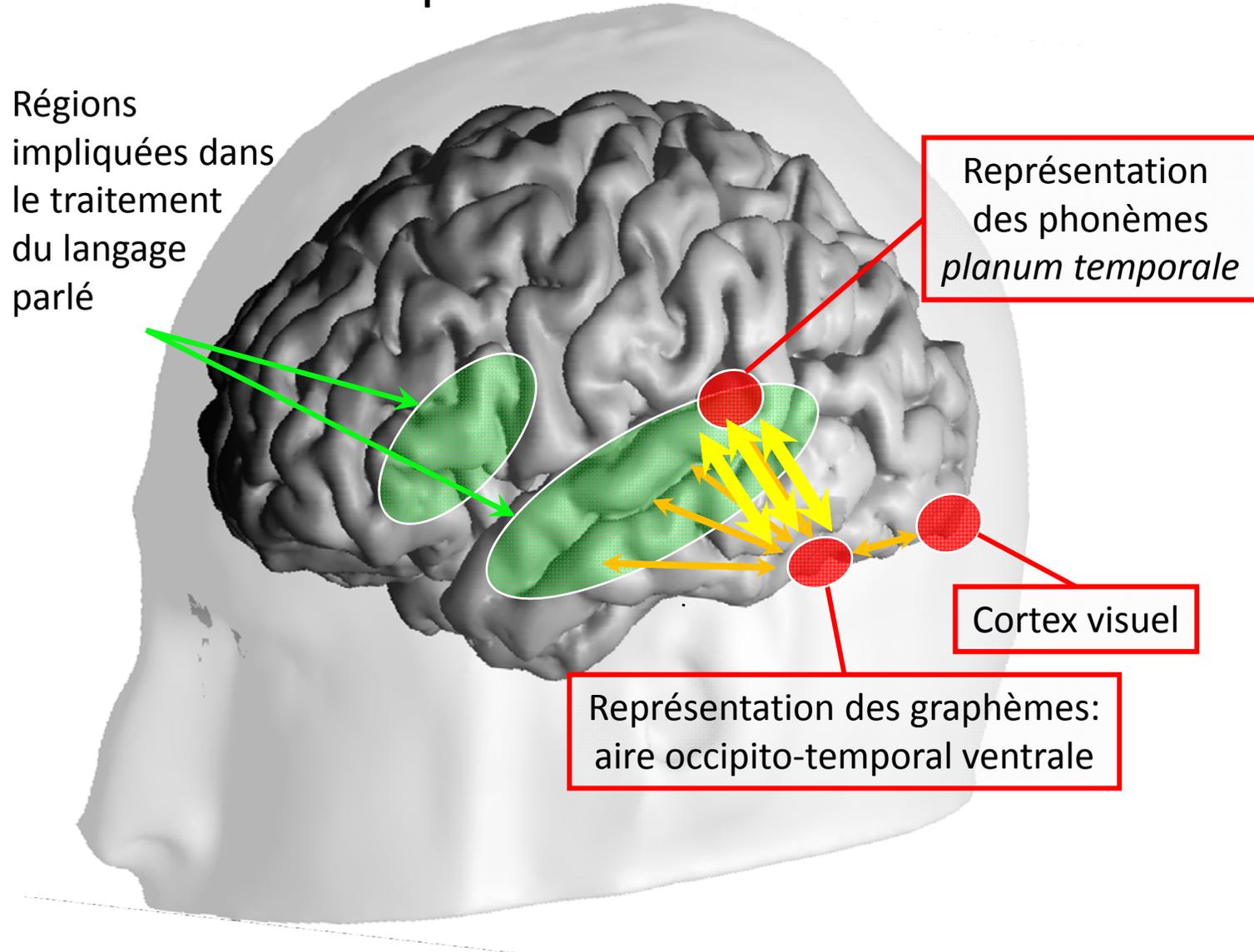


L'enfant regarde plus longtemps l'événement impossible

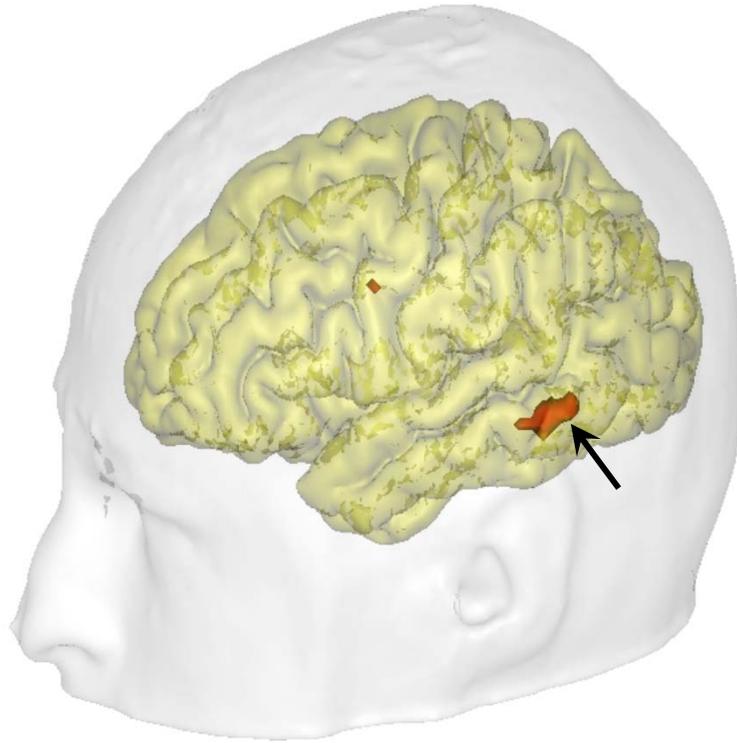


Conséquence: les circuits cérébraux qui sous-tendent les apprentissages sont fortement reproductibles.

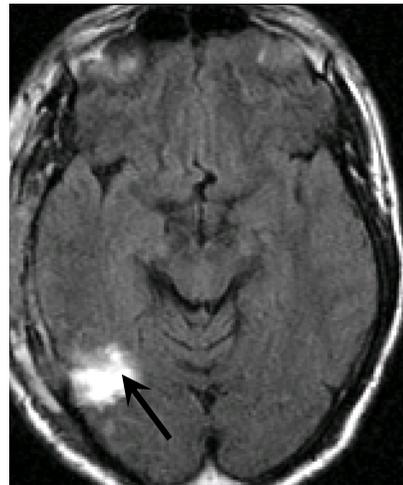
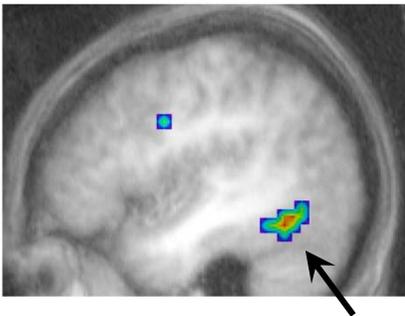
Exemple de la lecture



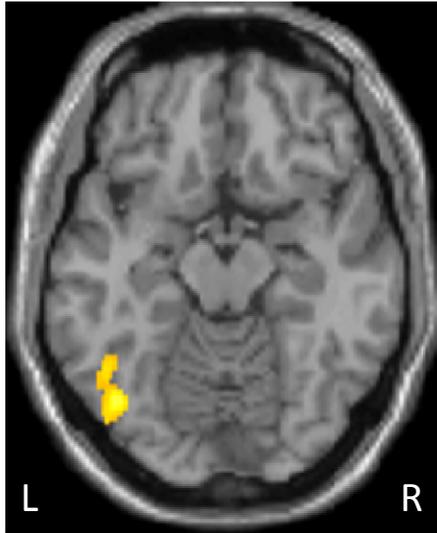
La « boîte aux lettres » du cerveau



- Une région détectable en quelques minutes d'IRM chez **tous les lecteurs**
- Située au même endroit, dans **toutes les cultures**
- Mais qui n'existe que chez les personnes qui ont appris à lire, et que pour les **écritures connues**
- Un site dont la **lésion** cause une « **alexie pure** », un trouble sélectif de la reconnaissance visuelle des mots



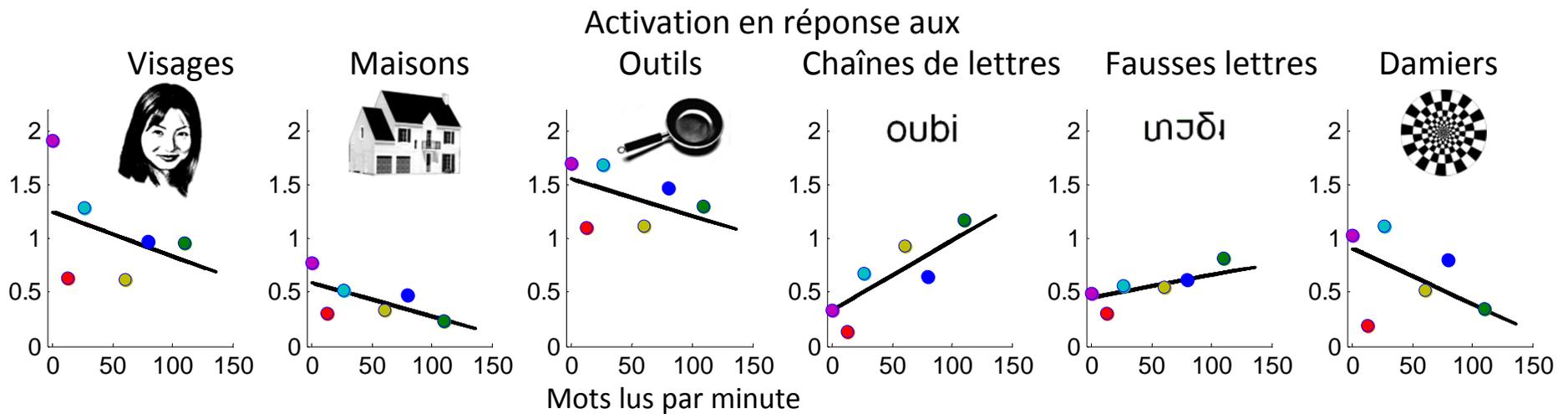
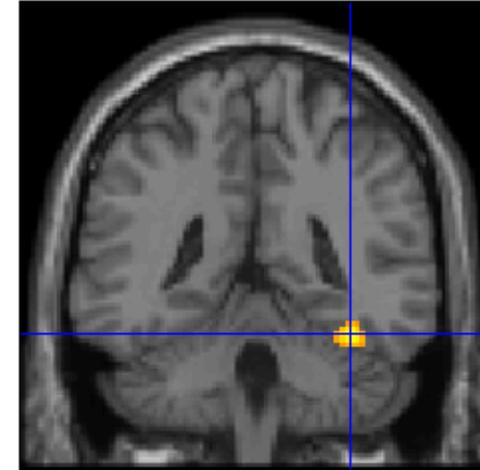
Que fait cette région avant d'apprendre à lire?



Chez les illettrés, elle répond massivement aux **visages** (et aussi aux outils et aux damiers)

Sa réponse aux visages décroît avec la compétence en lecture.

Les visages se déplacent en direction de l'hémisphère droit.



L'imagerie de la lecture chez l'enfant

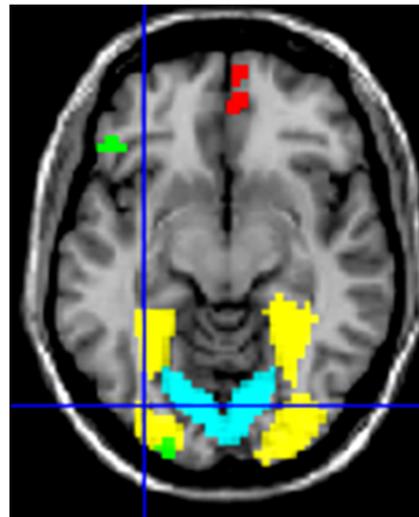


Le système visuel change quand l'enfant apprend à lire

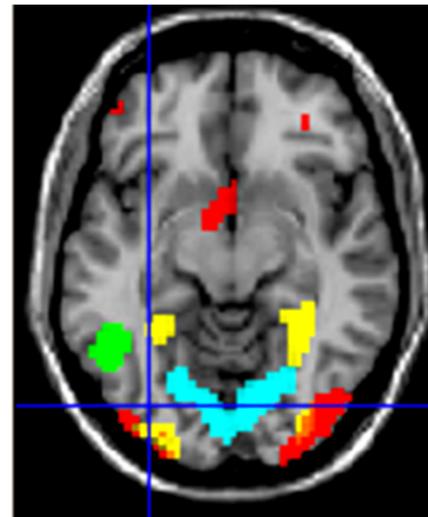
G. Dehaene-Lambertz, with Karla Monzalvo, C. Billard, S. Dehaene (NeuroImage, 2012)

- La VWFA, « boîte aux lettres du cerveau » spécialisée pour les mots écrits, apparaît au cours de la première année d'apprentissage.
- Son activation prédit les scores de lecture des enfants
- Les visages s'organisent et s'installent préférentiellement dans l'hémisphère droit.

6 ans, non-lecteur



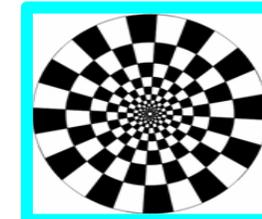
6 ans, lecteur



9 ans lecteur



Mots



Le système visuel est désorganisé chez les dyslexiques

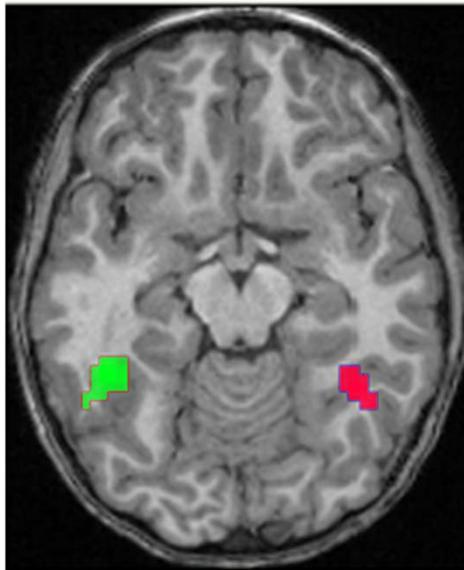
G. Dehaene-Lambertz, with Karla Monzalvo, C. Billard, S. Dehaene (NeuroImage, 2012)

- Les enfants dyslexiques, à 9 ans, montrent une activité réduite aux mots écrits dans la VWFA, et aux visages dans l'hémisphère droit (Fusiform Face Area).

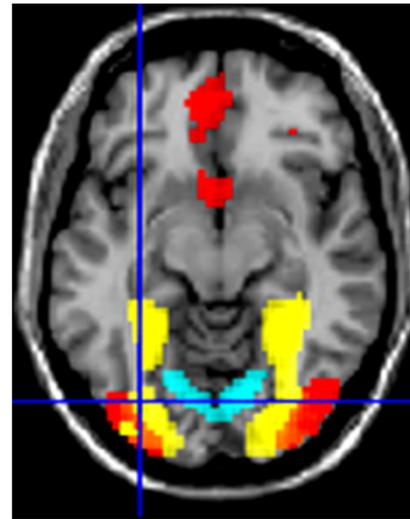
Activité supérieure chez
l'enfant normal que chez
l'enfant dyslexique

mots écrits

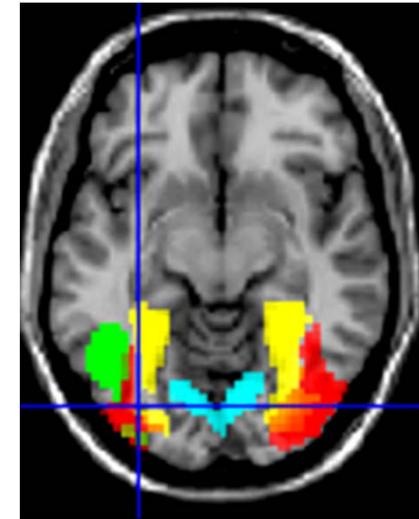
visages



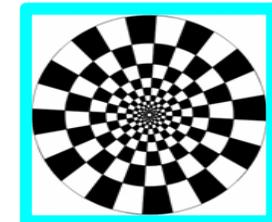
9 ans,
dyslexiques



9 ans,
lecteurs



Mots



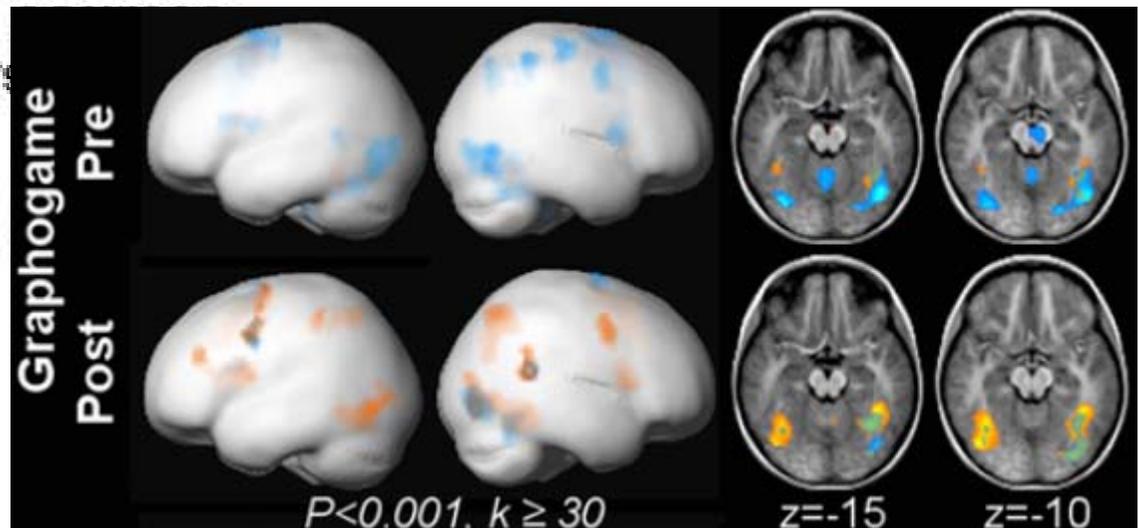
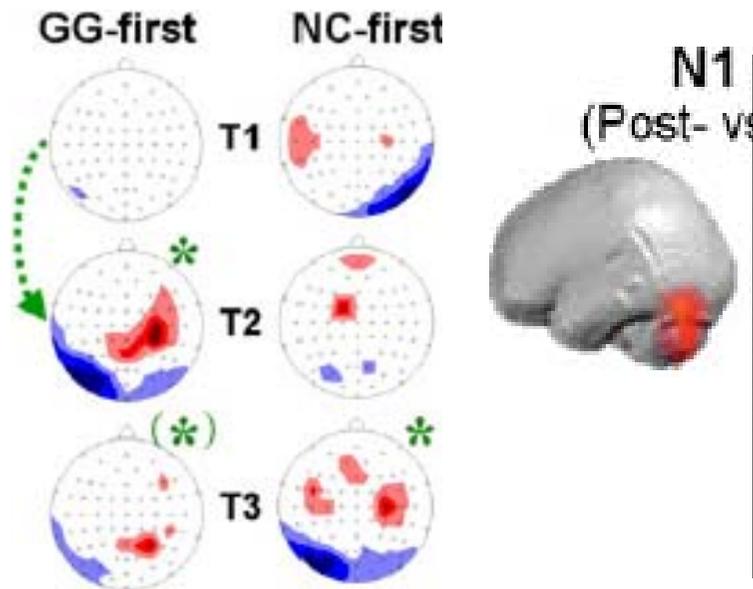
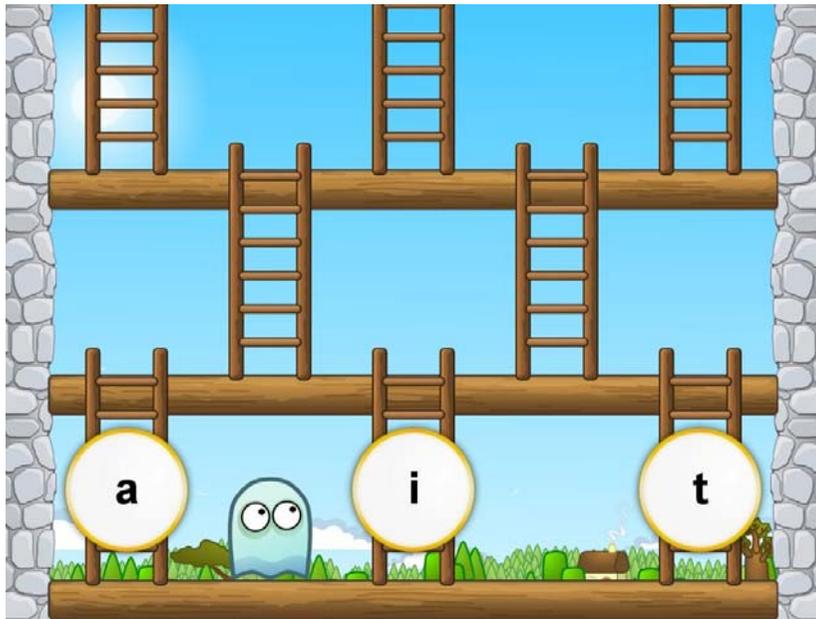
L'effet bénéfique des correspondances graphème-phonème

Brem et al., PNAS 2010

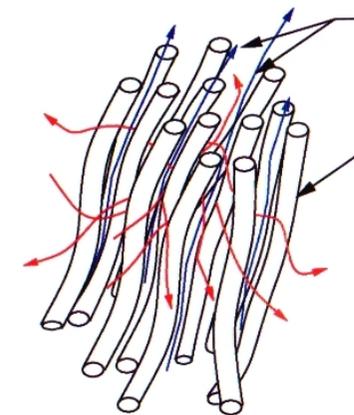
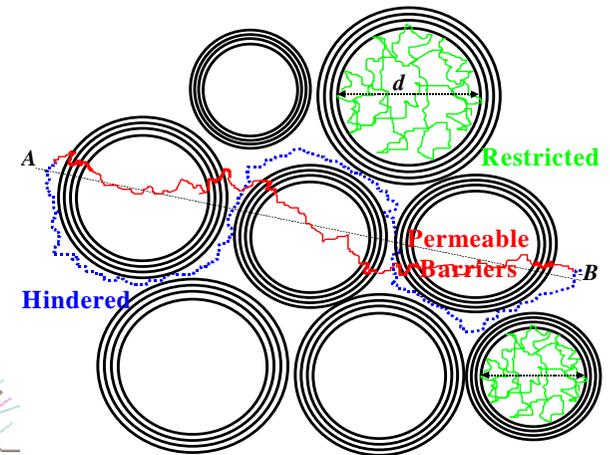
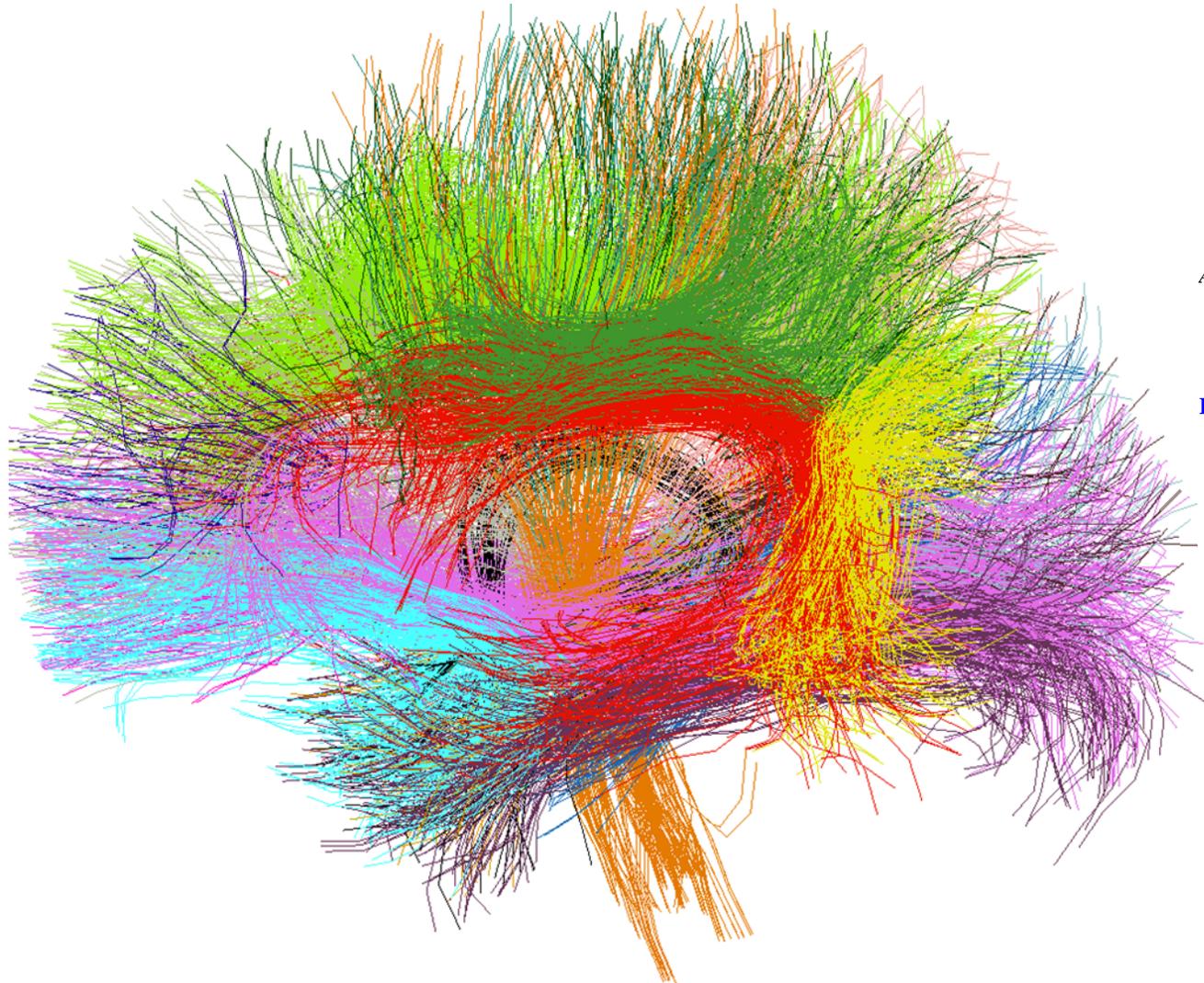
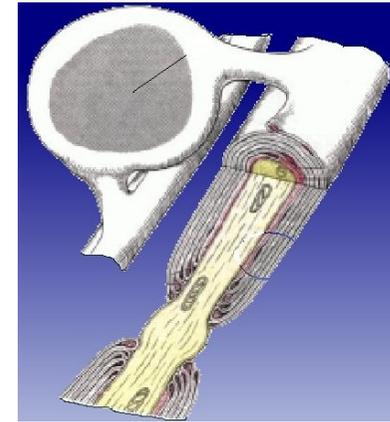
Lyytinen et ses collègues ont créé le **graphogame**, un logiciel de jeu qui enseigne les correspondances graphème-phonème.

Des enfants de maternelle ont été entraînés pendant 8 semaines (mais moins de 4 heures au total) avec le *graphogame* et un jeu mathématique de contrôle.

L'imagerie a révélé l'émergence très rapide des aires associées à la lecture.



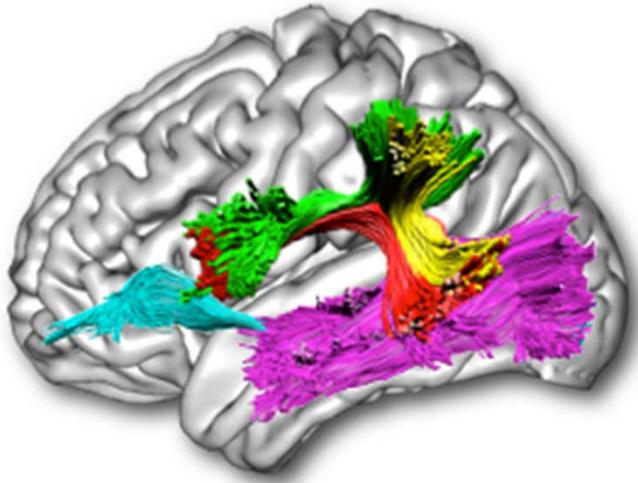
L'anatomie du cerveau change-t-elle lorsque nous apprenons à lire?



La lecture modifie les connexions cérébrales

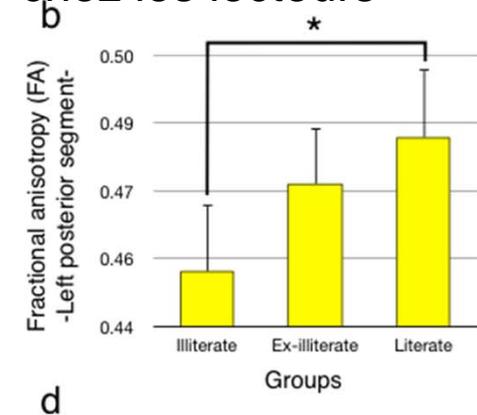
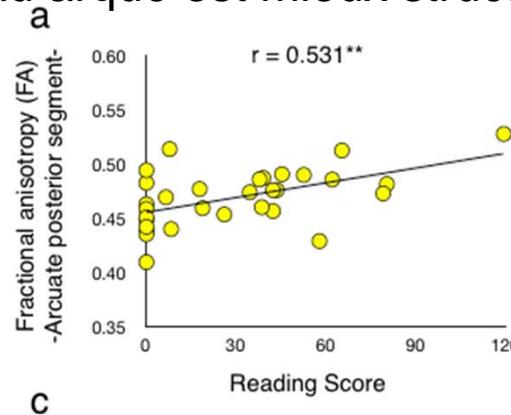
avec Michel Thiebaut de Schotten et Laurent Cohen (*Cerebral cortex*, 2013)

Le segment postérieur du faisceau arqué est mieux structuré chez les lecteurs

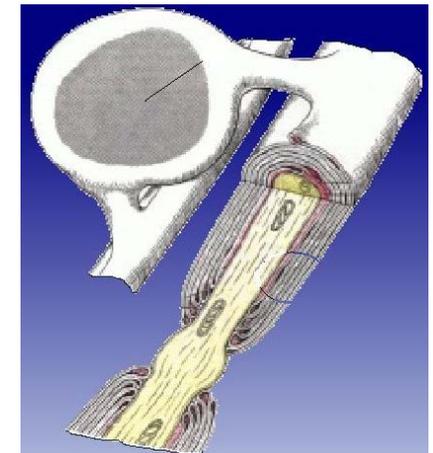


Anatomical connections

- Arcuate long segment
- Arcuate posterior segment
- Arcuate anterior segment
- Inferior fronto-occipital fasciculus
- Inferior longitudinal fasciculus

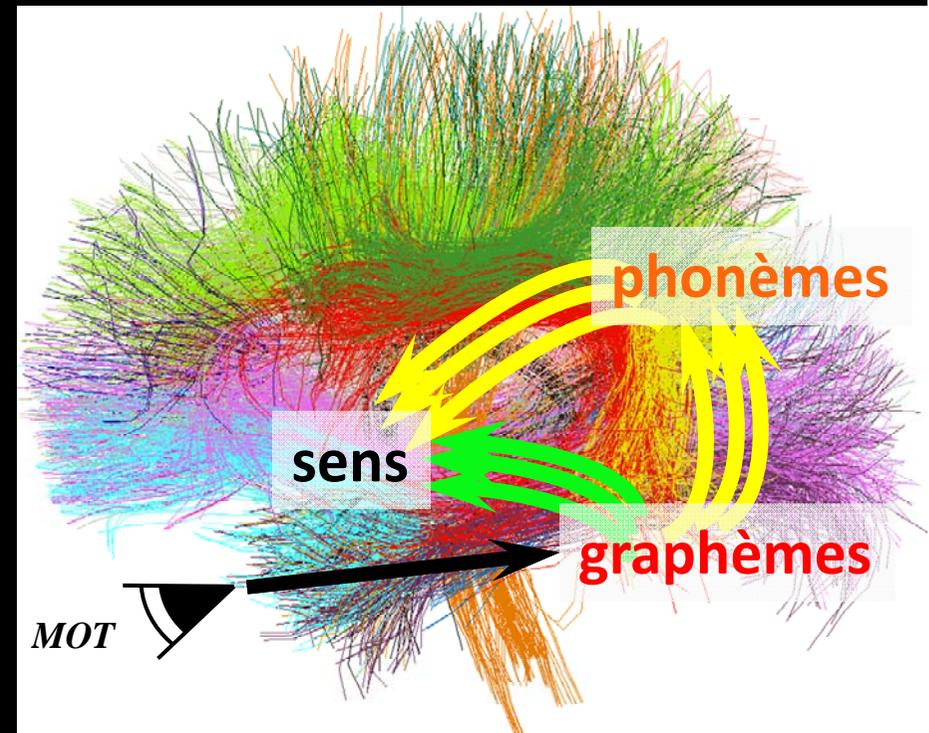


- Cet effet existe chez les ex-illettrés: l'apprentissage modifie le cerveau **adulte**.
- La diffusion transverse est modifiée, mais pas la longitudinale, ce qui suggère un changement de **myélinisation**.
- La quantité de modification est corrélée avec l'activation de la VWFA et du *Planum Temporale*.



Une vision simplifiée de l'apprentissage de la lecture

- L'apprentissage de la lecture spécialise une région du cortex visuel pour la **reconnaissance des chaînes de lettres (graphèmes)** et la connecte aux régions spécialisées dans le traitement des **sons du langage (phonèmes)**.
- Les règles de correspondance graphème-phonème ne vont pas de soi pour l'enfant: il faut les lui enseigner explicitement.
- **Au départ**, l'enfant « déchiffre » (**voie en jaune**): avec effort, il analyse le mot, en convertit, une par une, les lettres en sons, puis il « écoute » et comprend le mot.
- **Au fil des années**, la lecture s'automatise et emprunte une voie non-consciente (**en vert**): toutes les lettres sont reconnues simultanément, ce qui permet d'accéder rapidement au sens.
- L'enseignant doit se focaliser sur la voie jaune. La voie verte se développe spontanément avec la pratique.
- Trois variables clés prédisent la réussite: la **connaissance des phonèmes**, la **taille du vocabulaire oral**, et la **présence de livres dans l'environnement** de l'enfant.



L'aire de la forme visuelle des nombres: Une aire qui répond aux chiffres arabes

Shum et al, with Parvizi,
J Neuroscience 2013

Les enregistrements
intracrâniens ont
récemment mis en évidence
cette région jusqu'alors
ignorée, qui répond
sélectivement aux nombres,
plus qu'aux mots ou à
d'autres symboles.

