

STANISLAS DEHAENE

LES NEURONES
DE LA LECTURE



préface de
Jean-Pierre Changeux



La présentation sera en grande partie basée sur ce livre de Stanislas Dehaene.



Publié en 2007

+ une petite mise à jour vers la fin :

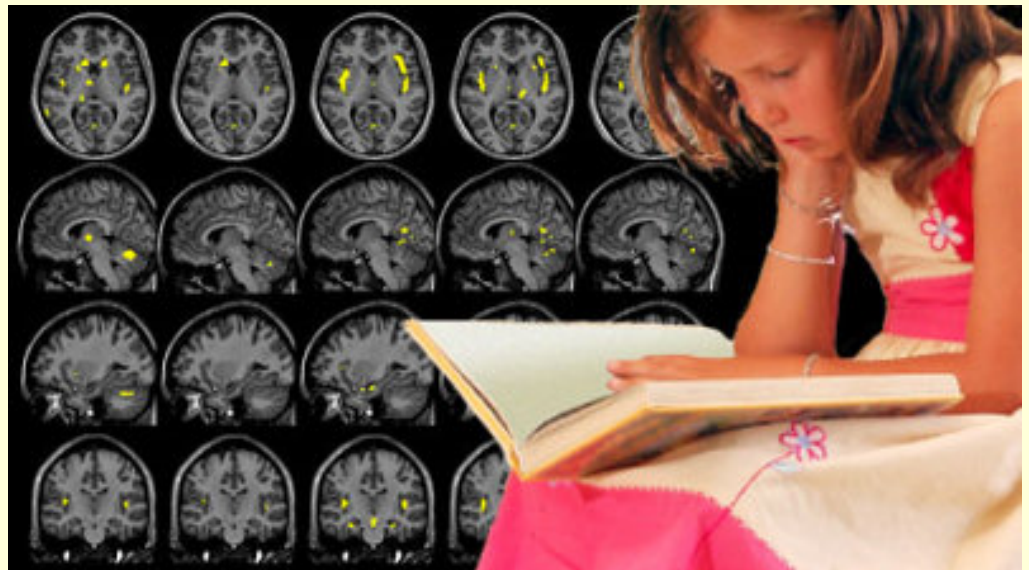
**The Interactive Account
of ventral occipitotemporal contributions
to reading,**

Trends in Cognitive Sciences, June **2011**, Cathy J.
Price, Joseph T. Devlin

Qu'est-ce que lire ?



Qu'est-ce que lire pour un neurobiologiste ?



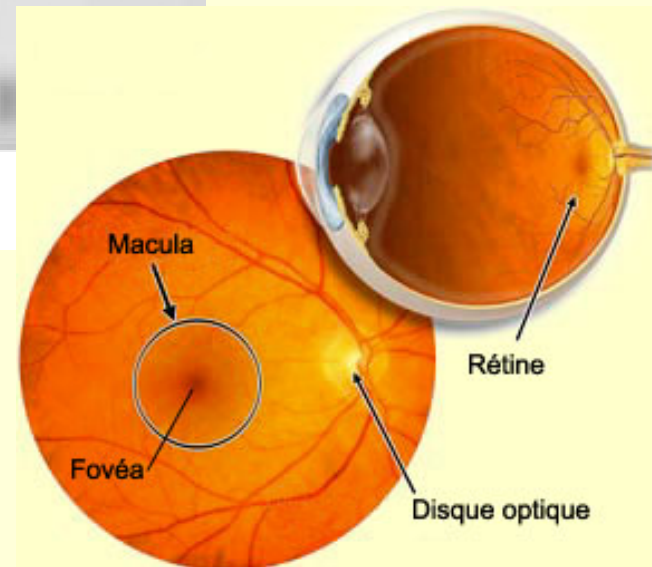
Ce que nous voyons d'une page de Proust...

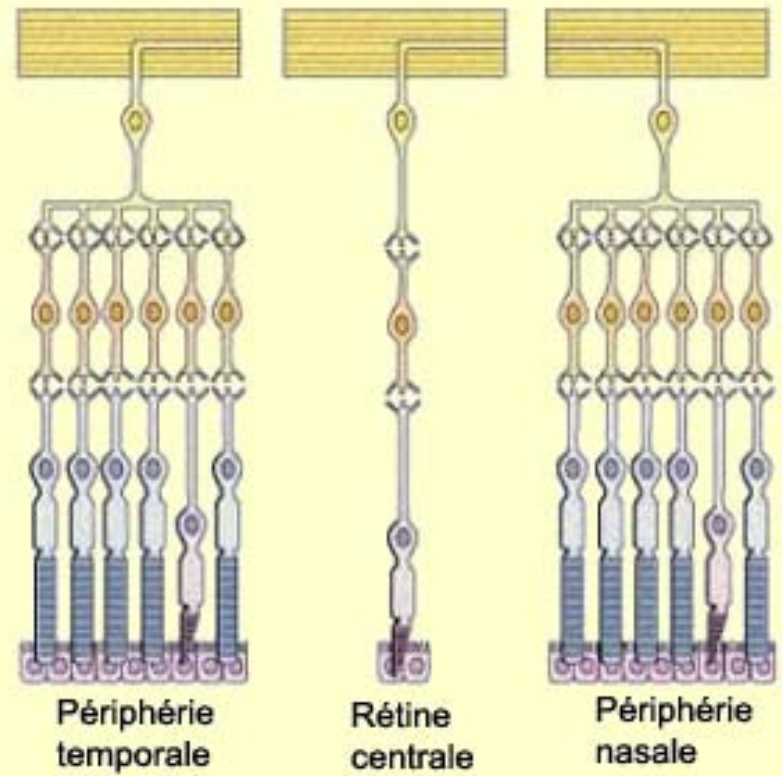
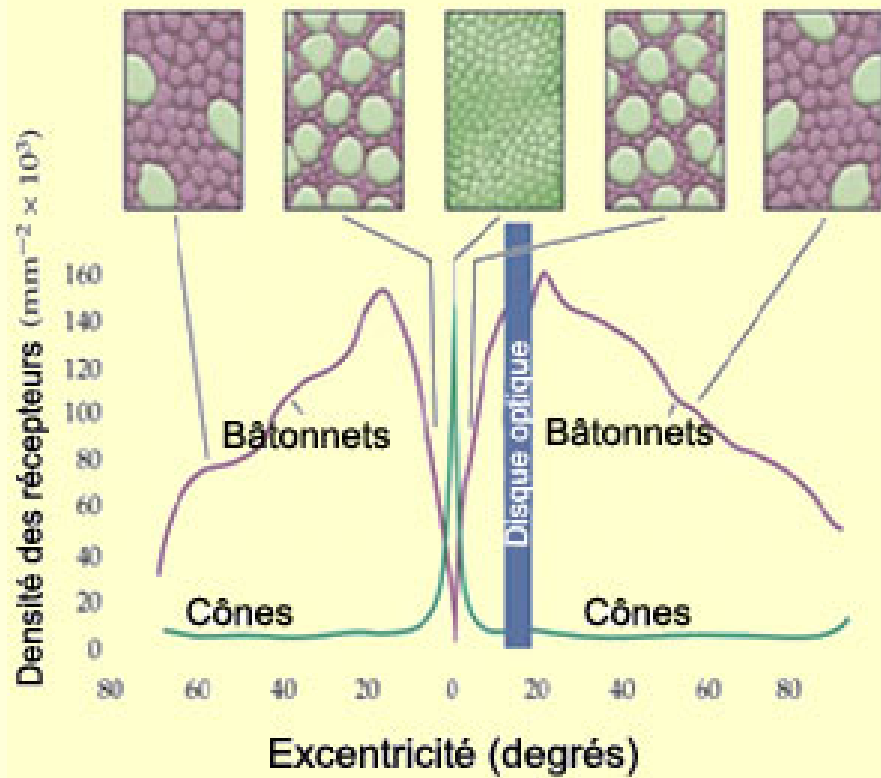
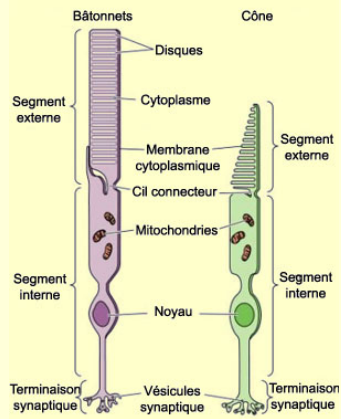
Il n'y a peut-être pas de jours de notre enfance que nous avons
plaisamment vécus que ceux que nous avons cru laisser sans les vivre,
que nous avons passés avec un livre préféré. Tout ce que, semblant à
nous-mêmes pour les autres, et que nous écartions comme un obstacle
à un plaisir divin : le jeu pour lequel un ami nous avait choisis.

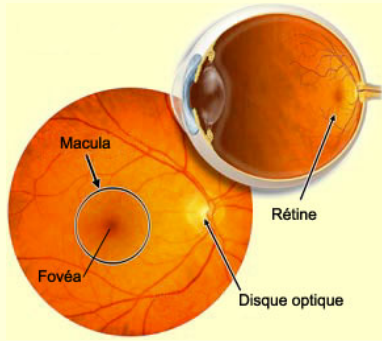
us que ceux que nous avons cru laiss
passés avec un livre préféré. Tout e
r les autres, et que nous écartion

Sere, Marendaz & Héroult, Perception (2000)

La petite zone claire et précise
correspond à la **fovea** sur la rétine.







Comme la **fovea** n'occupe qu'environ **15 degrés** du champ visuel,

notre regard **doit se déplacer constamment** quand nous lisons.



DANS, KÖN OCH JAGPROJEKT

På jakt efter ungdomars kroppsspråk och den "synkretiska dansen", en sammansmältning av olika kulturers dans, har jag i mitt fältarbete under hösten rört mig på olika arenor inom skolans värld. Nordiska, afrikanska, syd- och östeuropeiska ungdomar gör sina röster hörda genom sång, musik, skrik, skraff och gestaltar känslor och uttryck med hjälp av kroppsspråk och dans.

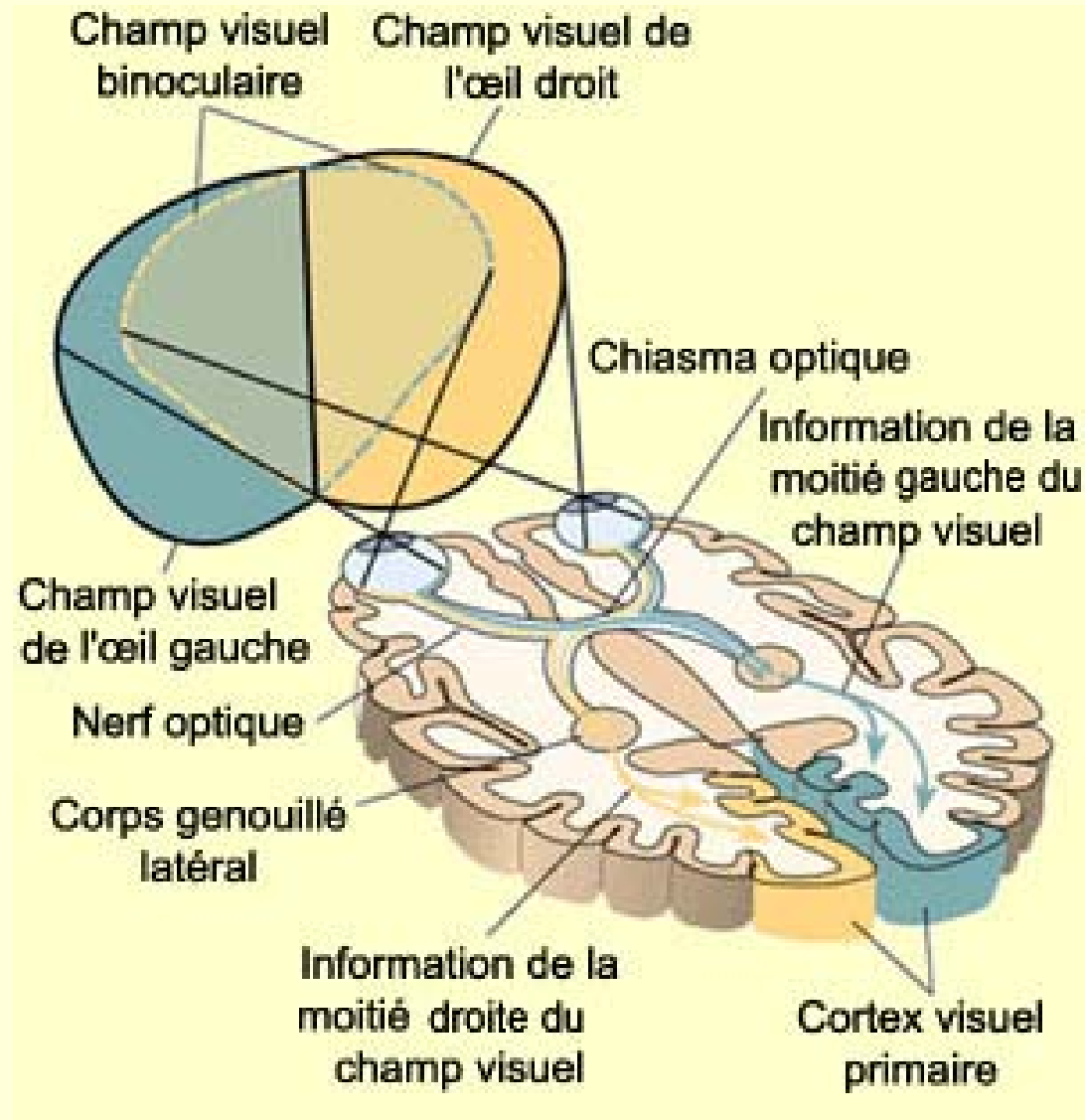
Den individuella estetiken framträder i kläder, frisyrer och symboliska tecken som förstärker ungdomarnas "jagprojekt" där också den egna stilen i kroppsrörelserna spelar en betydande roll i identitetsprövningen. Upphållsrummet fungerar som offentlig arena där ungdomarna spelar upp sina performanceliknande kroppsspråk.

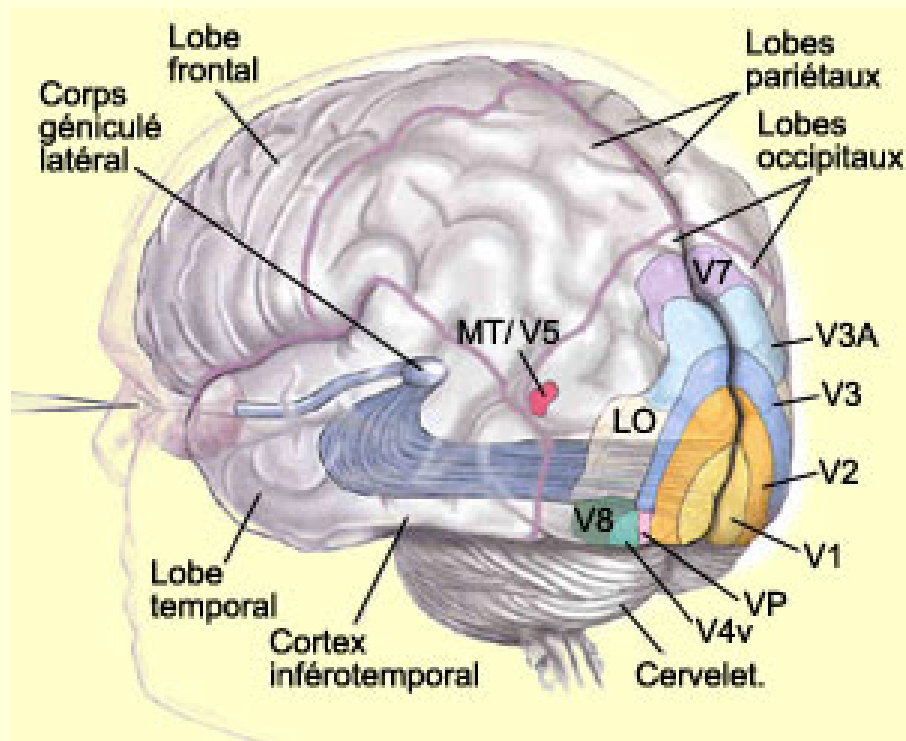
- tous les mots à contenu doivent être fixés;

- on identifie vraiment que de **dix à douze lettres par saccade**:

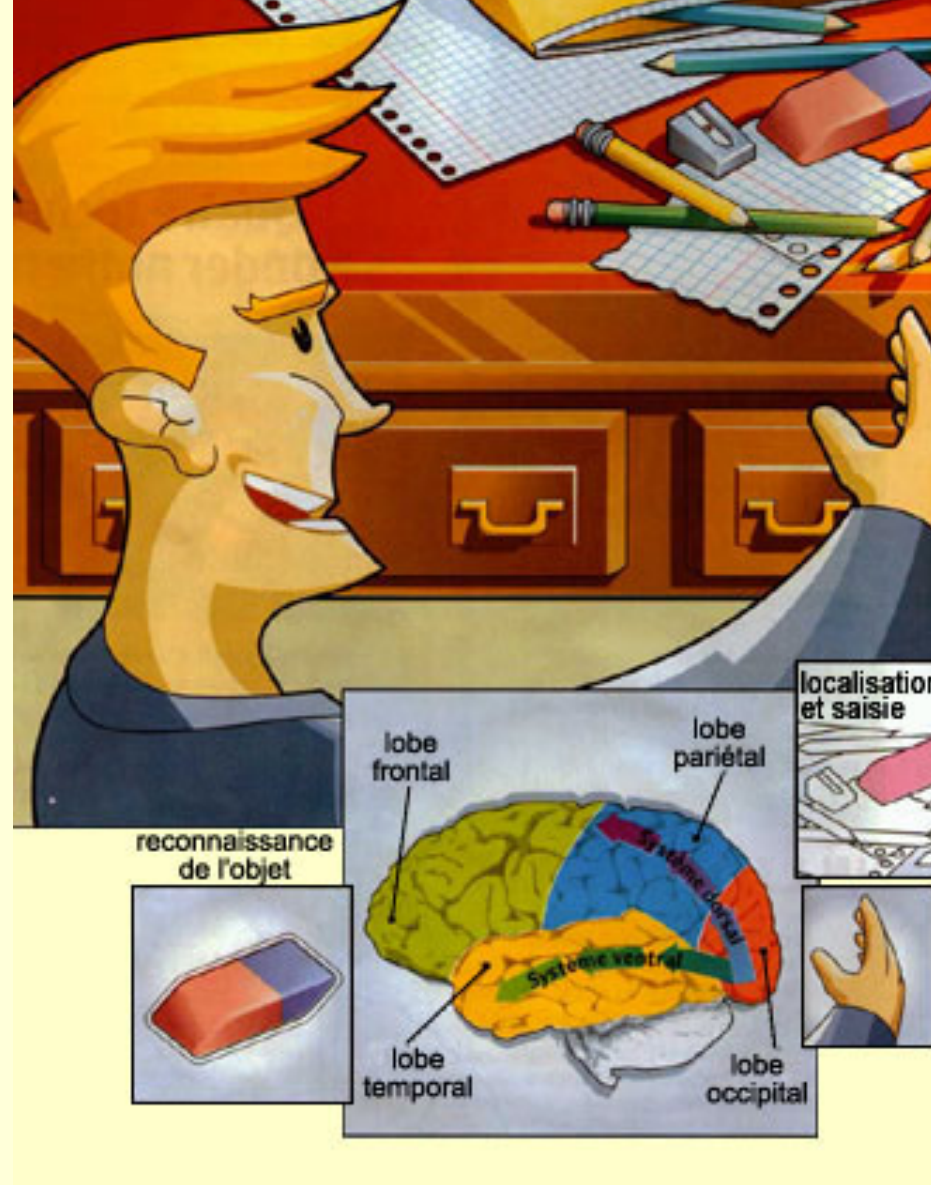
Ensuite:

De la rétine
au cortex
visuel



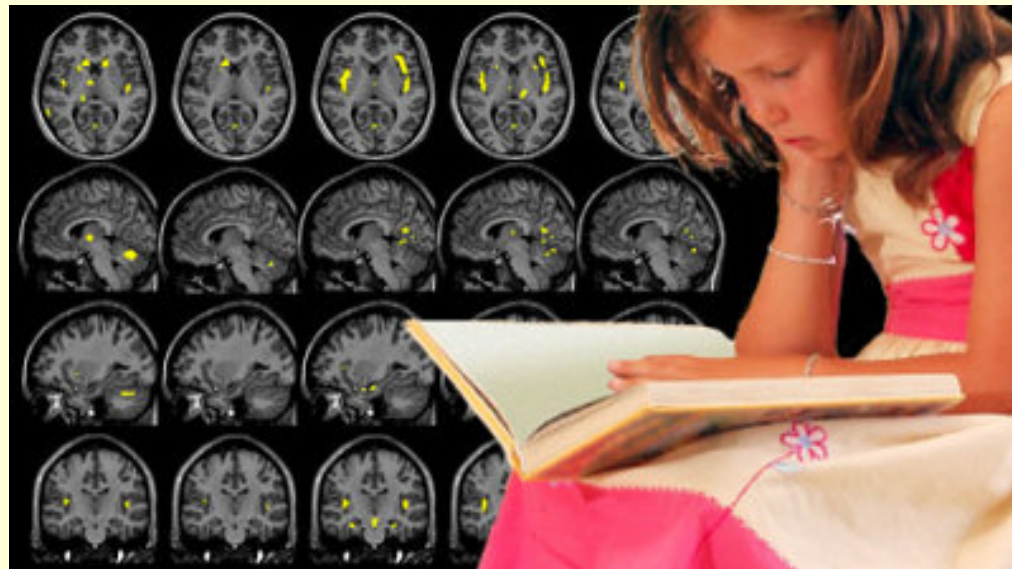


Quelques grandes aires visuelles dans le cortex occipital.



C'est la voie ventrale qui sera impliquée dans la reconnaissance des mots.

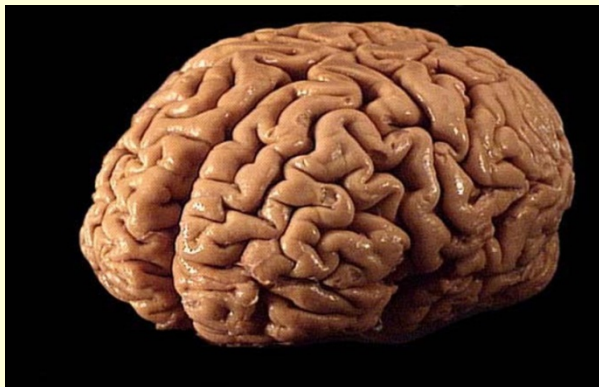
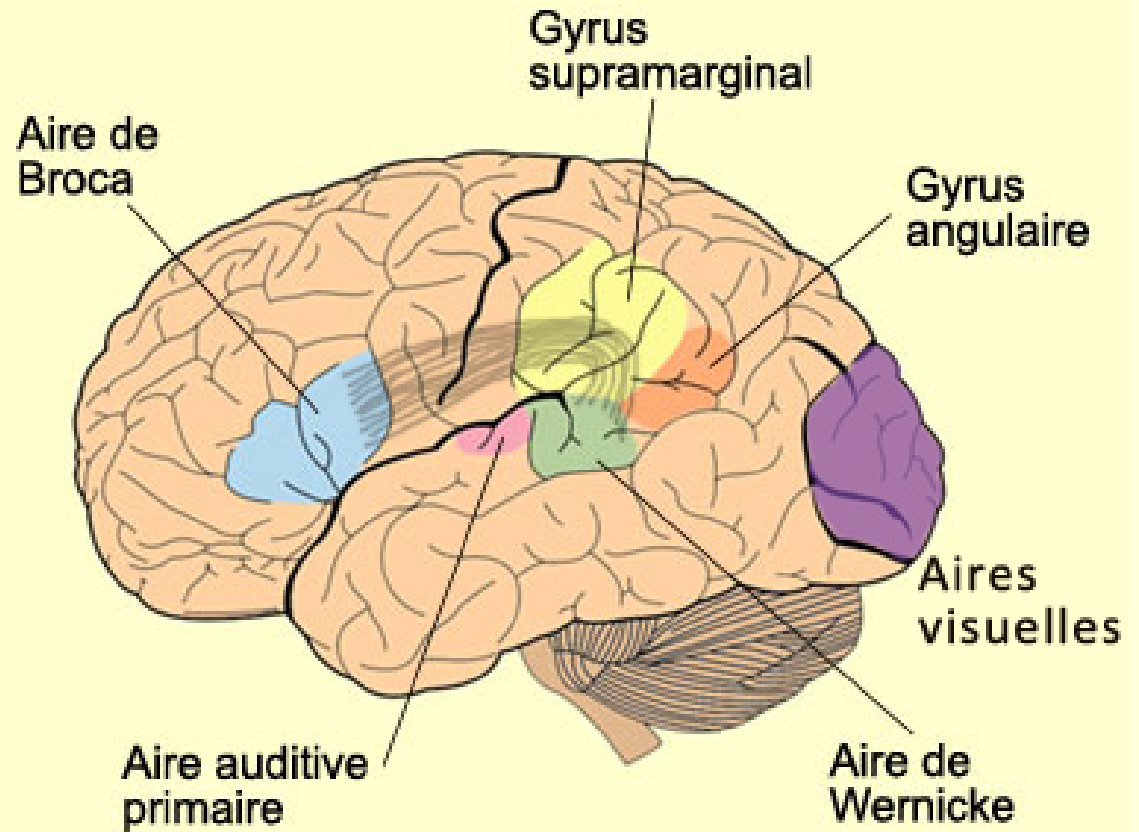
Qu'est-ce que lire pour un neurobiologiste ?



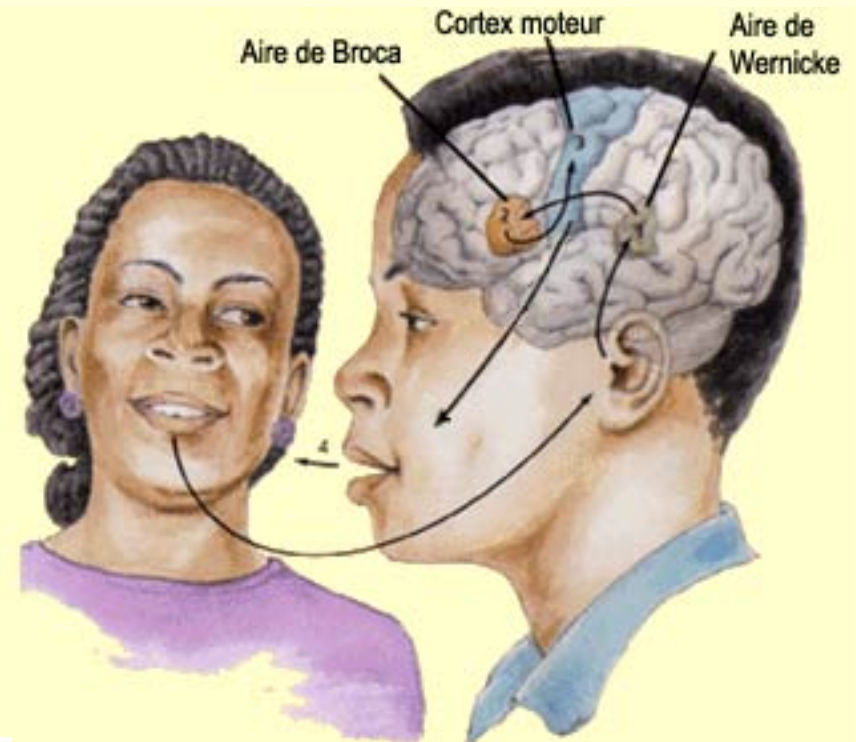
C'est donner
accès à ces
aires visuelles...

...aux **aires du
langage**

de l'hémisphère
gauche.



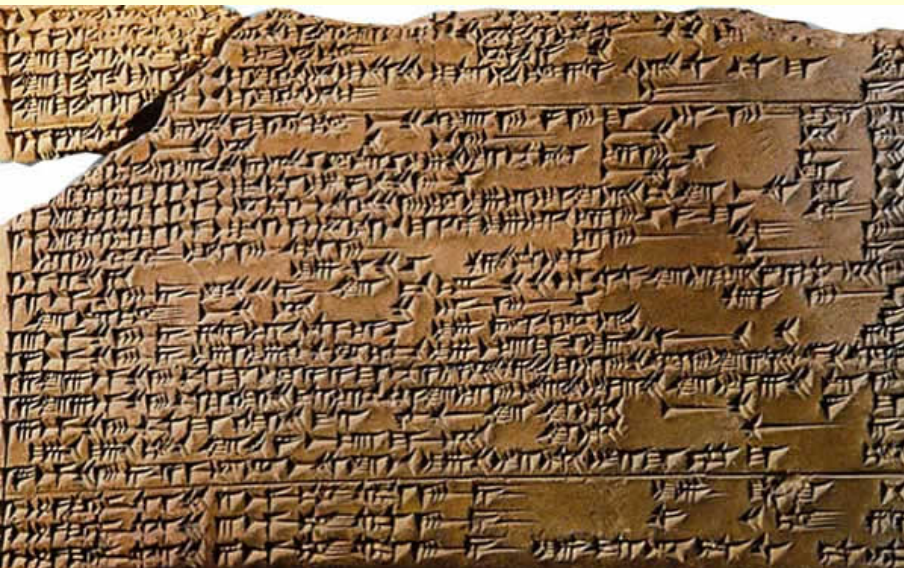
Parce que si des circuits
cérébraux pour le **langage oral**...



...ont pu être **sélectionnés**
durant l'hominisation...

(quelques millions d'années)

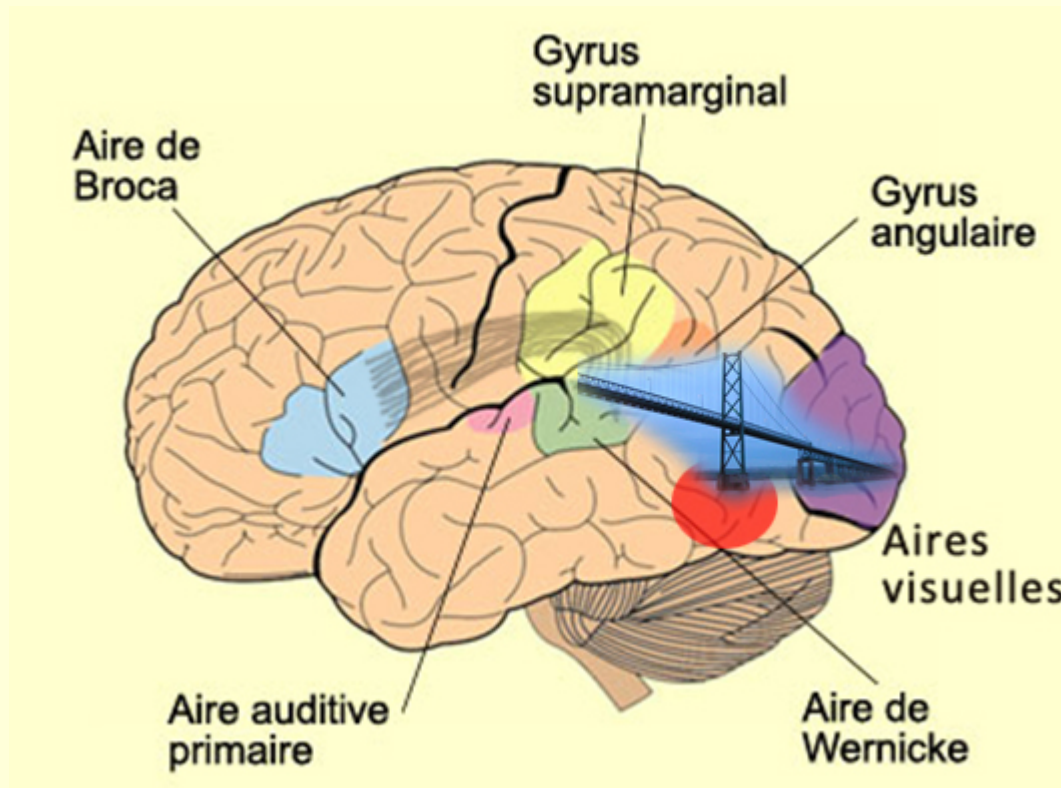
...il est difficile d'imaginer
des circuits cérébraux
sélectionnés pour l'écriture...



...apparue il n'y a que 5 ou 6000 ans
(chez les Babyloniens, par exemple)

Comment alors expliquer que le cerveau humain arrive à lire ?

...à faire le pont entre les aires visuelle et les aires du langage ?

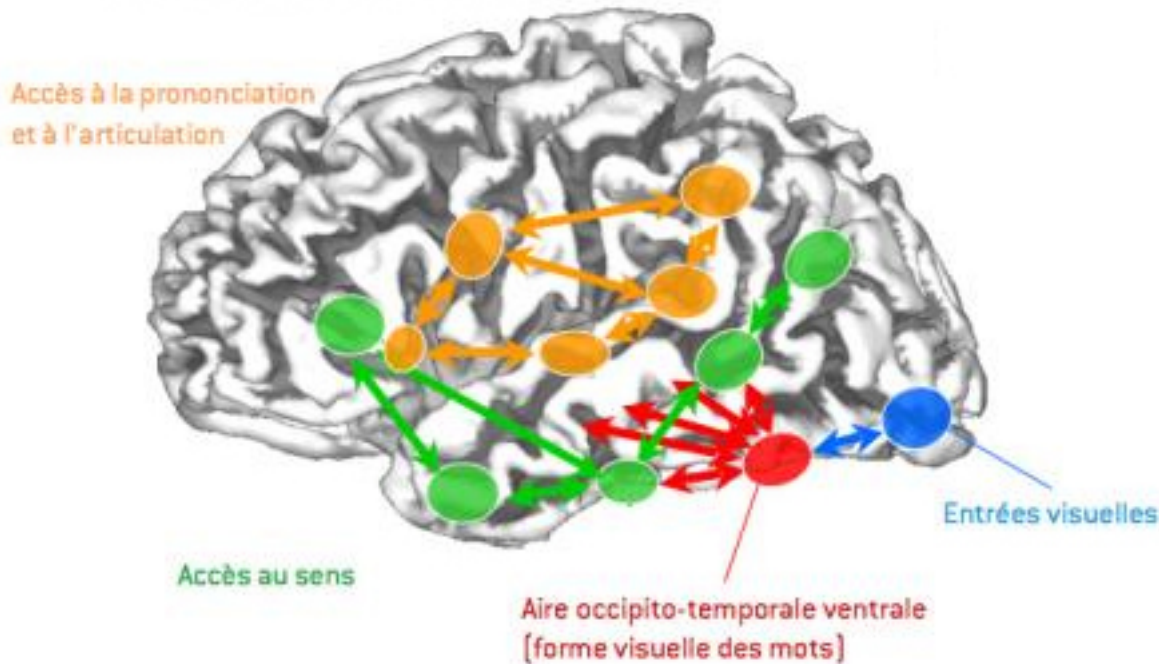


Selon Dehaene
et ses collègues :

grâce à une région
**spécialisée pour la
reconnaissance
visuelle des mots...**

L'architecture cérébrale de lecture

Reconnaissance d'un mot en 300 ms



Durant la lecture, l'activation débute dans le **pôle occipital**, vers 100 ms,

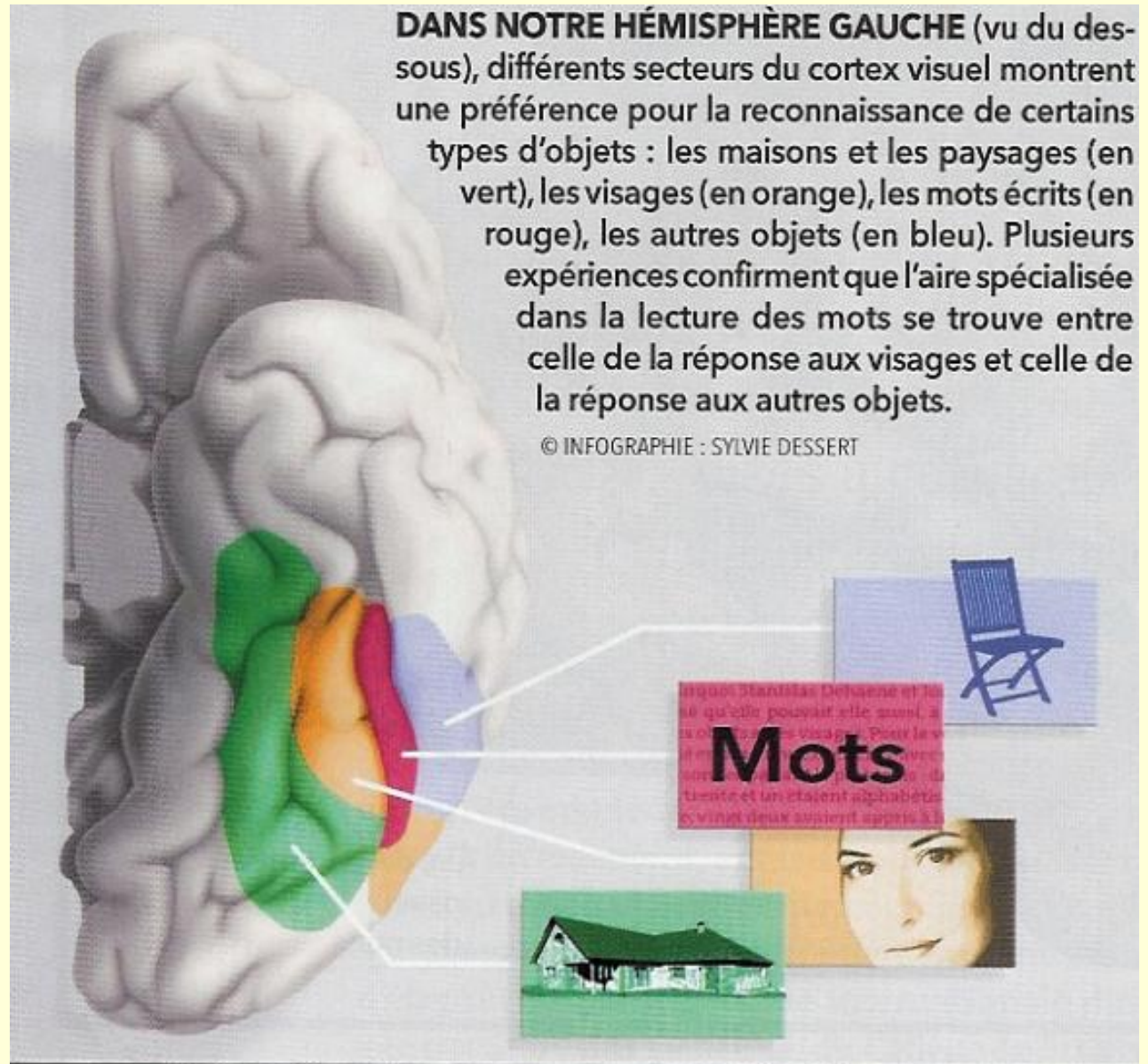
puis vers 170 ms elle s'étend à la région **occipito-temporale gauche**.

Ensuite : explosion d'activité dans de multiples régions **temporales** et **frontales** partagées avec l'audition des mots.

Cette région qui répond [entre autres] aux **mots écrits** se situe au milieu d'une mosaïque d'aires de

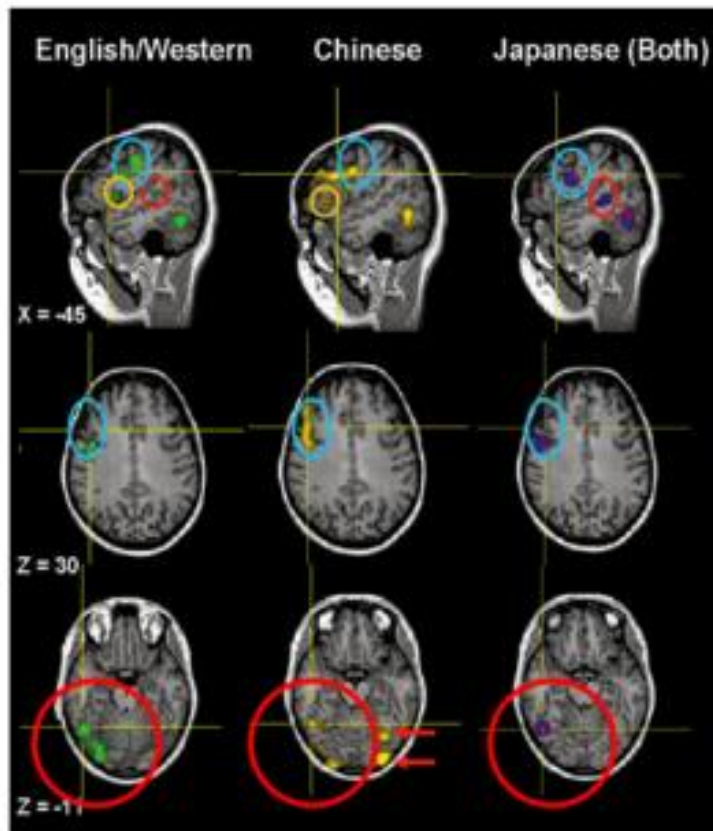
la voie ventrale de la vision dans le

cortex occipito-temporal ventral gauche.



Cette région est pratiquement **au même endroit** pour tout le monde, peu importe la langue dans laquelle vous lisez.

Universalité des réseaux de la lecture dans différents systèmes d'écriture



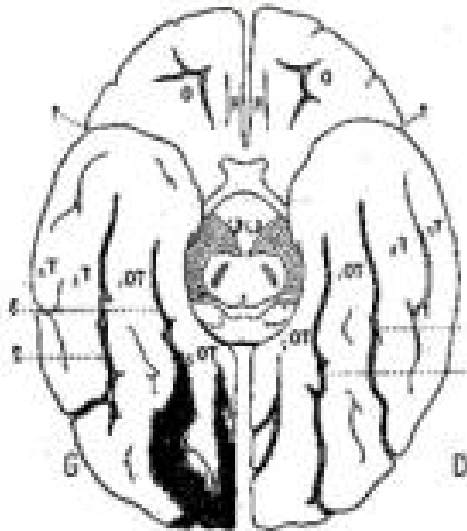
Remarquable recouvrement des activations dans la région occipito-temporale gauche [« aire de la forme visuelle des mots »]

Coordonnées proposées par Cohen et al. (2002): -42, -57, -12

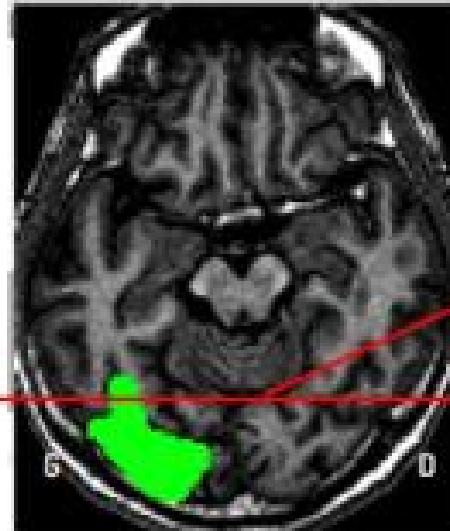
Stimuli	x	y	z
Western words	-46	-56	-15
Chinese characters	-49	-53	-10
Japanese Kana	-46	-55	-8
Japanese Kanji	-47	-58	-9
Average (SD)	-47.2 (1.3)	-55.2 (1.9)	-11.6 (3.6)

La lésion de cette région entraîne une « **alexie pure** »

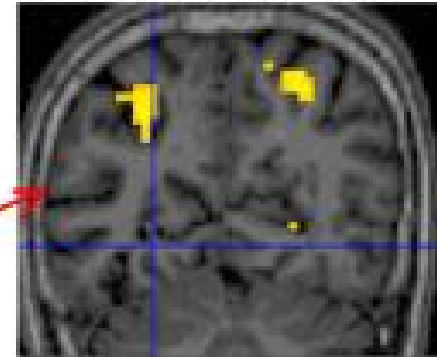
Déjerine, 1892



Cohen et al, 2002



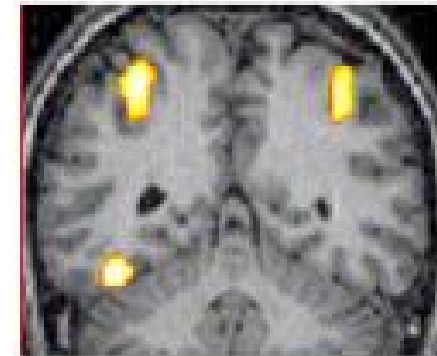
Lecture chez le patient



Alexie pure : incapacité à lire.

Et pas d'autres problèmes apparents :
la personne reconnaît les visages,
comprend, parle, et même écrit.

Mais quelques secondes après ne peut pas se relire !



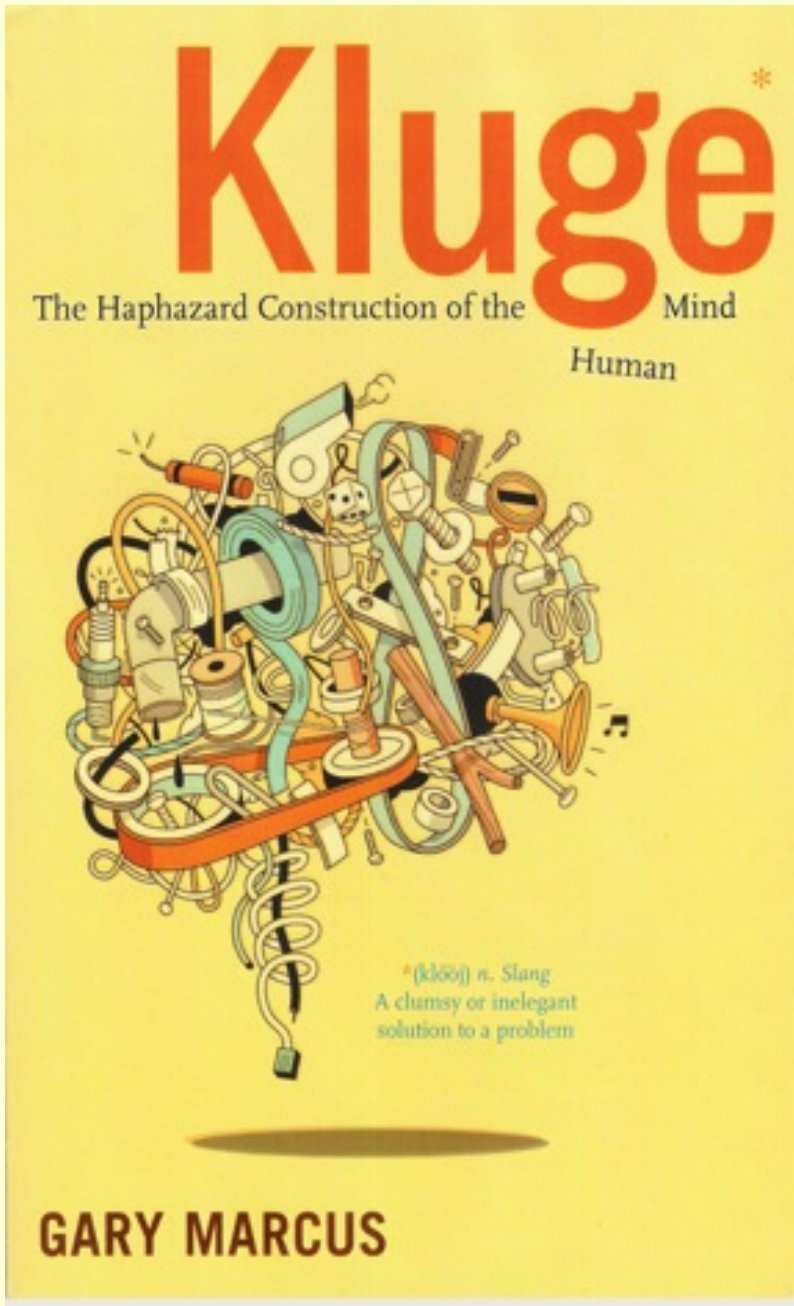
Sujet normal

Mais comment peut-on avoir une région aussi spécialisée
pour une chose pour laquelle nous n'avons pas évolué ?

L'hypothèse de Dehaene et ses collègues :
on aurait **recyclé** cette région qui s'est
d'abord mise en place pour jouer un rôle
plus ancien et fondamental qui est la
reconnaissance visuelle des formes,

pour l'adapter à la reconnaissance des
formes **des lettres des systèmes**
d'écriture.





Il s'agit d'un phénomène général plus large :

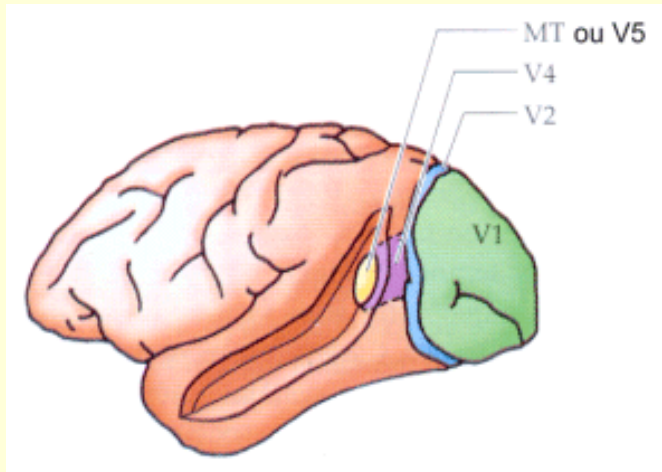
le détournement de fonctions cognitives
autrefois employées à d'autres fins
vers une nouvelle utilisation.

Le « bricolage de l'évolution ».

- François Jacob

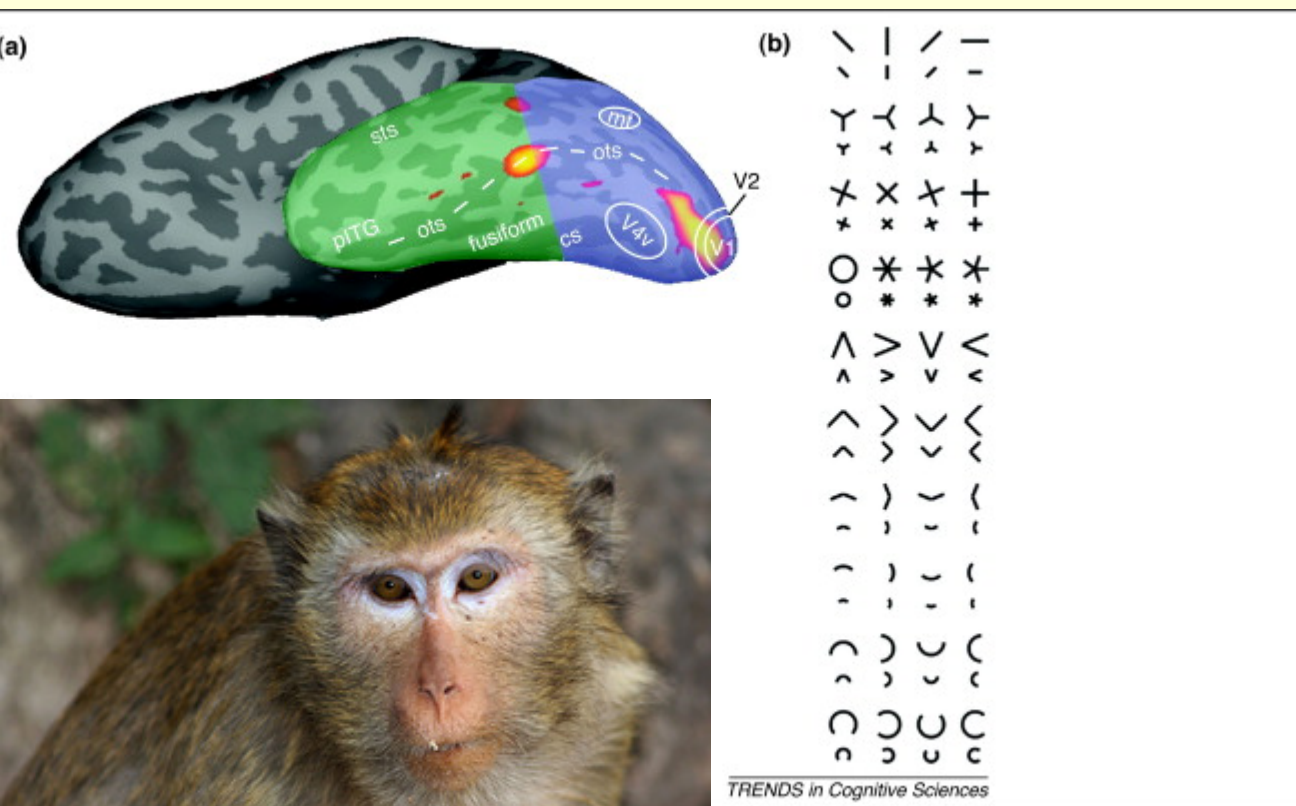
Données qui appuient cette proposition de « **recyclage neuronal** »

Chez le singe macaque :



- Similitudes avec nos aires visuelles, dont la **présence de l'aire occipito-temporale ventrale**
- L'enregistrement dans un neurones de cette aire montre une réponse seulement pour un objet sur 100 (une chaise, par exemple)
- Répond en fait à **certaines propriétés de ces objets**
(ex : si un neurone répond à un cube, on lui présente une forme en T et il répond autant sinon plus)

Or, plusieurs de ces formes simples ressemblent à nos lettres, pourrait être des lettres...



Il y a donc déjà, dans le cerveau du singe, des neurones répondant à un véritable alphabet de ces **formes simples**

qui l'aident à percevoir les objets multiformes présents dans la nature.

Par exemple, si vous avez **un objet qui en cache un autre**,
la jonction des arrêtes va former un T,

ce qui nous aiderait à déterminer quelle forme est devant telle autre.

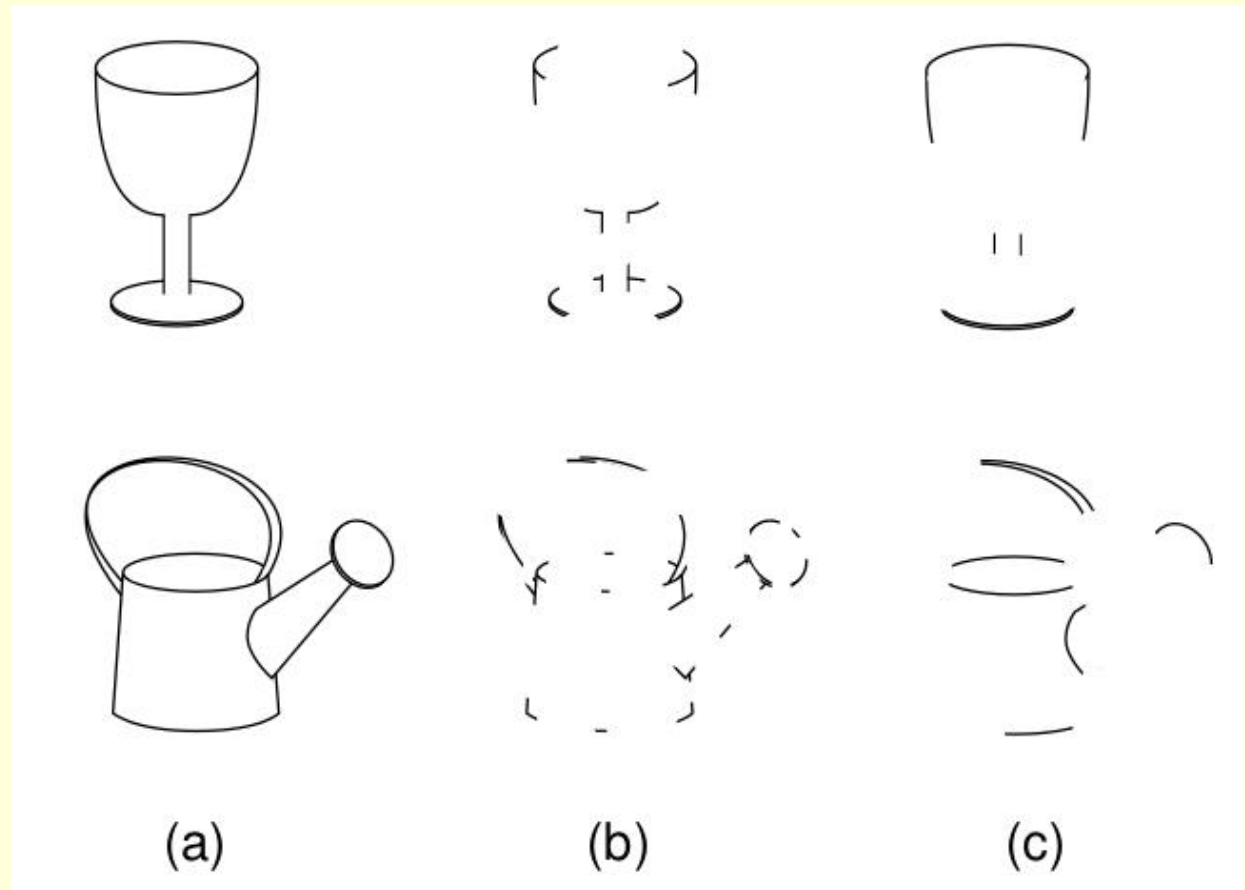


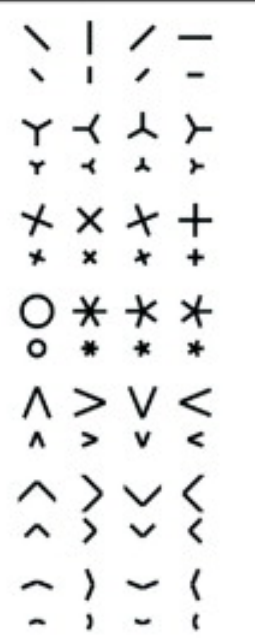
Chez l'humain aussi, ces jonctions de lignes sont très importante dans la reconnaissance visuelle.

Irving Biederman, **1987**.

Il est plus **facile** de reconnaître un dessin si l'on cache de longues sections des lignes du dessin (b)

que si l'on cache seulement les intersections de ces lignes (c).





Notre région **occipito-temporale ventrale**, déjà présente chez nos cousins primates, va donc nous permettre de reconnaître les arrêtes et les jonctions des lettres de nos alphabets.

D'où l'idée que **ce n'est pas tant notre cerveau qui a évolué pour lire**, mais que c'est nous qui, culturellement, avons **favorisé certaines formes arbitraires dans nos alphabet**

afin de mieux pouvoir recycler les capacités de notre **aire occipito-temporale ventrale**.

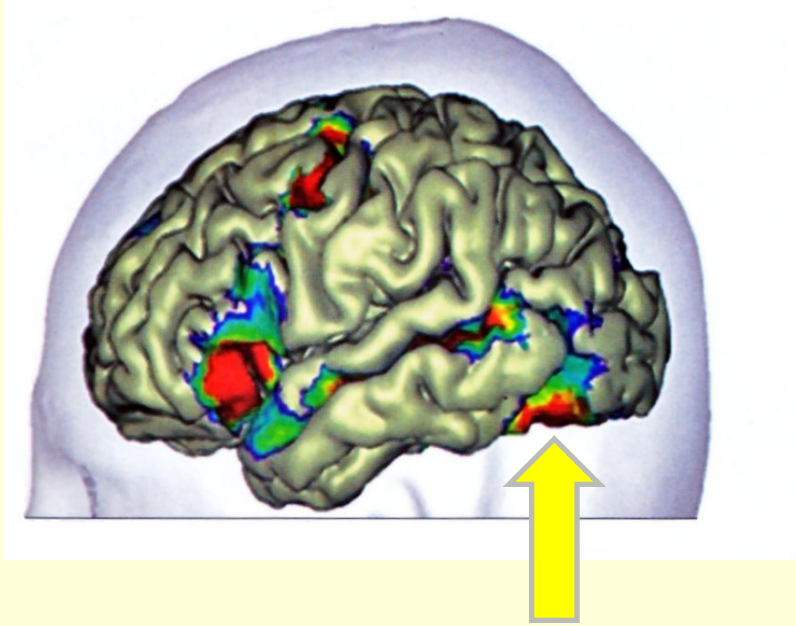
English	Theban	Malachin
A	𐤀	𐤀
B	𐤁	𐤁
C	𐤂	𐤂
D	𐤃	𐤃
E	𐤄	𐤄
F	𐤅	𐤅
G	𐤆	𐤆
H	𐤇	𐤇
I	𐤈	𐤈
J	𐤉	𐤉
K	𐤊	𐤊
L	𐤋	𐤋
M	𐤌	𐤌
N	𐤍	𐤍
O	𐤎	𐤎
P	𐤏	𐤏
Q	𐤐	𐤐
R	𐤑	𐤑
S	𐤒	𐤒
T	𐤓	𐤓
U	𐤔	𐤔
V	𐤕	𐤕
W	𐤖	𐤖
X	𐤗	𐤗
Y	𐤘	𐤘
Z	𐤙	𐤙

Or une étude de l'institut Caltech en Californie a pris un très grand nombre d'écritures dans le monde et a compté combien de fois on trouve des jonctions particulières (ex. L, T, X (avec leur rotation)).

Elle constate une régularité remarquable dans la distribution de ces traits pour toutes les langues ($L > T > X$).

Une régularité qu'on ne retrouve pas au hasard (gribouillage sur feuille de papier, allumettes lancées au hasard, etc).

Mais une régularité statistique qu'ils retrouvent cependant dans les images de la nature !



La région occipito-temporale ventrale gauche **répond avec plus d'intensité** :

- aux lettres de l'alphabet de votre **langue maternelle** qu'aux autres alphabets;
- pour un **vrai mot** de votre langue que pour une chaîne de caractères qui sonne comme un mot, mais n'en est pas un. (ex.: « taxi » versus « taksy »)
- pour des chaînes de caractères inexistantes, **à mesure que la probabilité d'apparition augmente** pour une langue donnée (ex : « ohuc », « ouch », « ough », en anglais)

Comment cette aire visuelle occipito-temporale ventrale va-t-elle « coder » ou « représenter » ces chaînes de caractères que constituent les **mots** ?

Dehaene propose le schéma hiérarchique suivant

(il s'agit d'un domaine moins connu, plus spéculatif...)

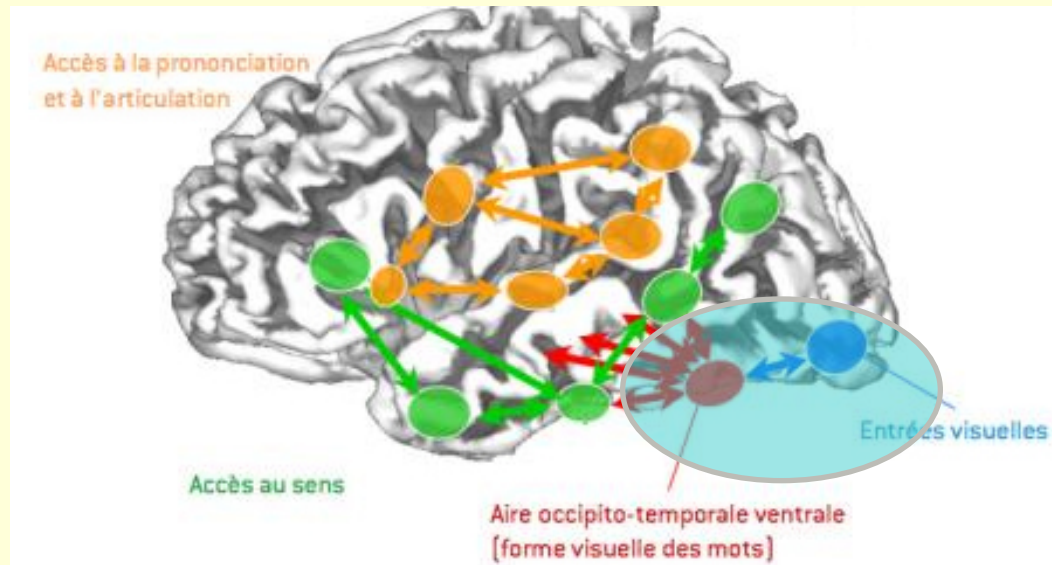
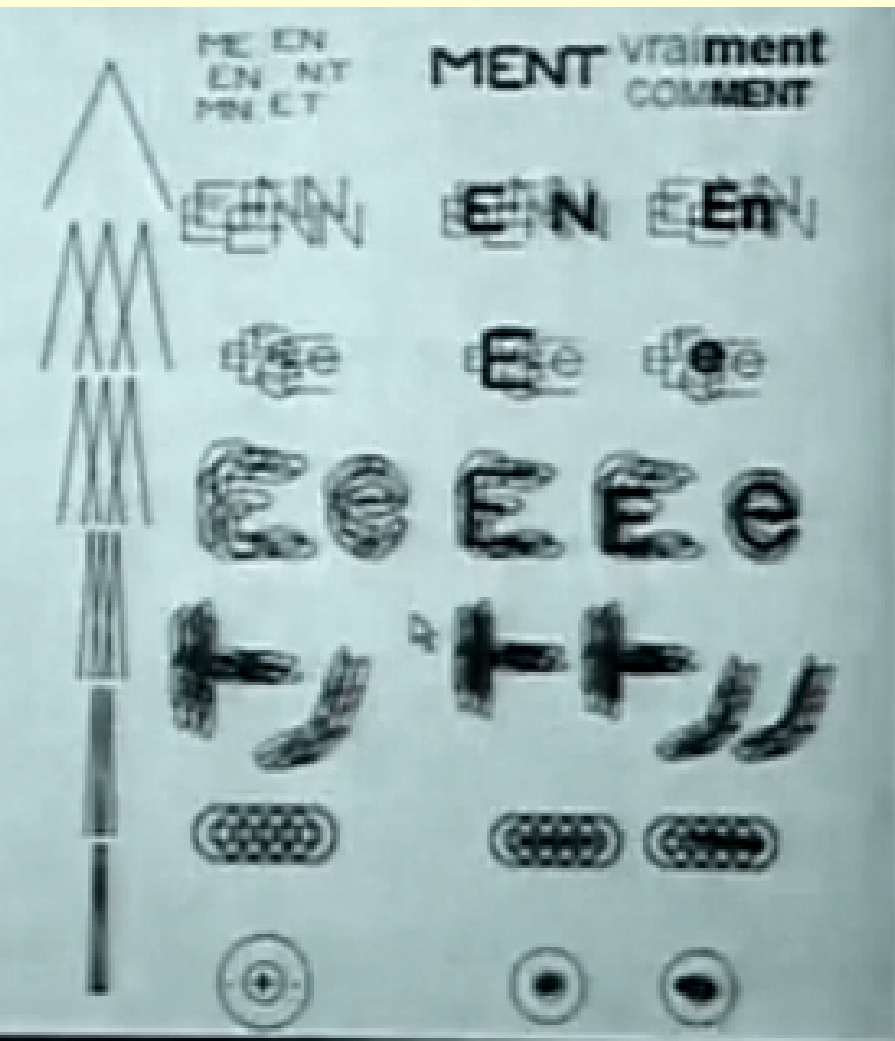


Schéma hiérarchique pour le traitement des mots lus dans les aires visuelles.



et au plus haut niveau, on va être capable de reconnaître des mots.

les c. d'une lettre avec les c. d'une autre lettre des « bigrammes »

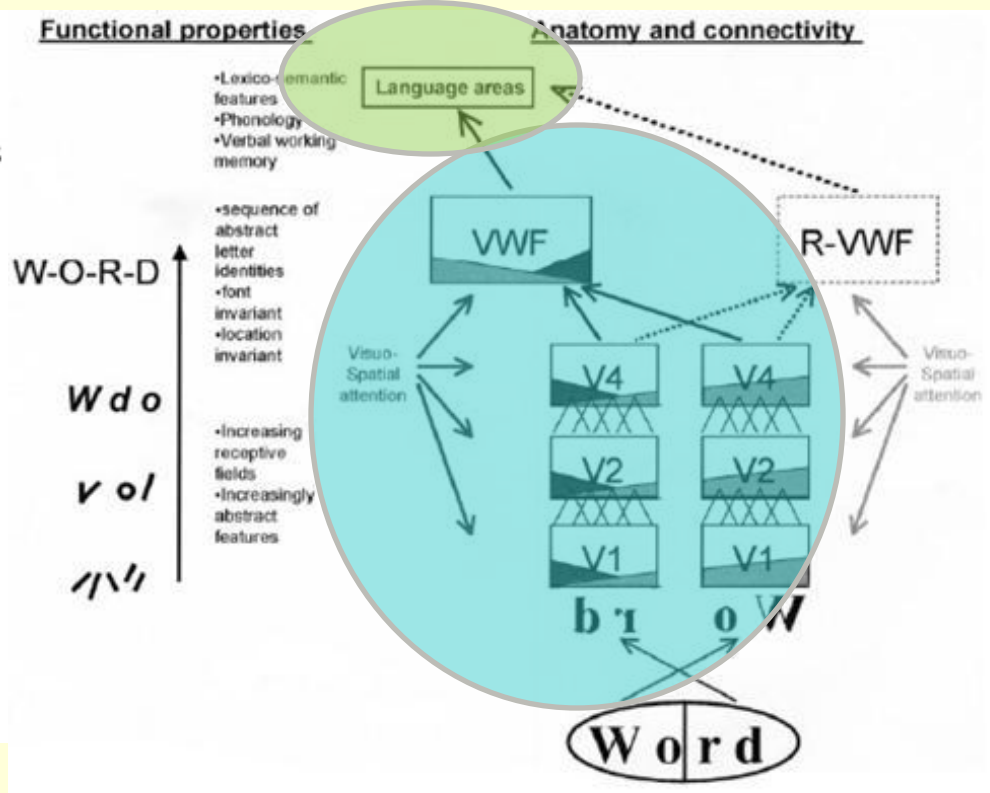
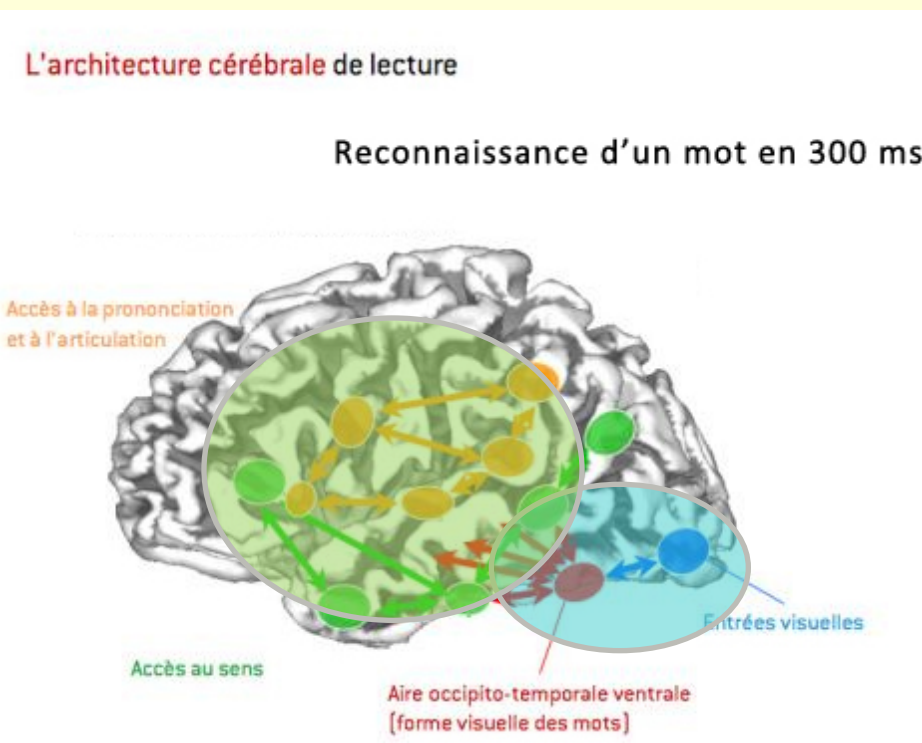
la même chose mais indépendamment de la forme (majuscule ou minuscule...),

des c. de ces c. de ces c. des formes élémentaires de lettre e;

des c. de ces c. des intersections de traits,

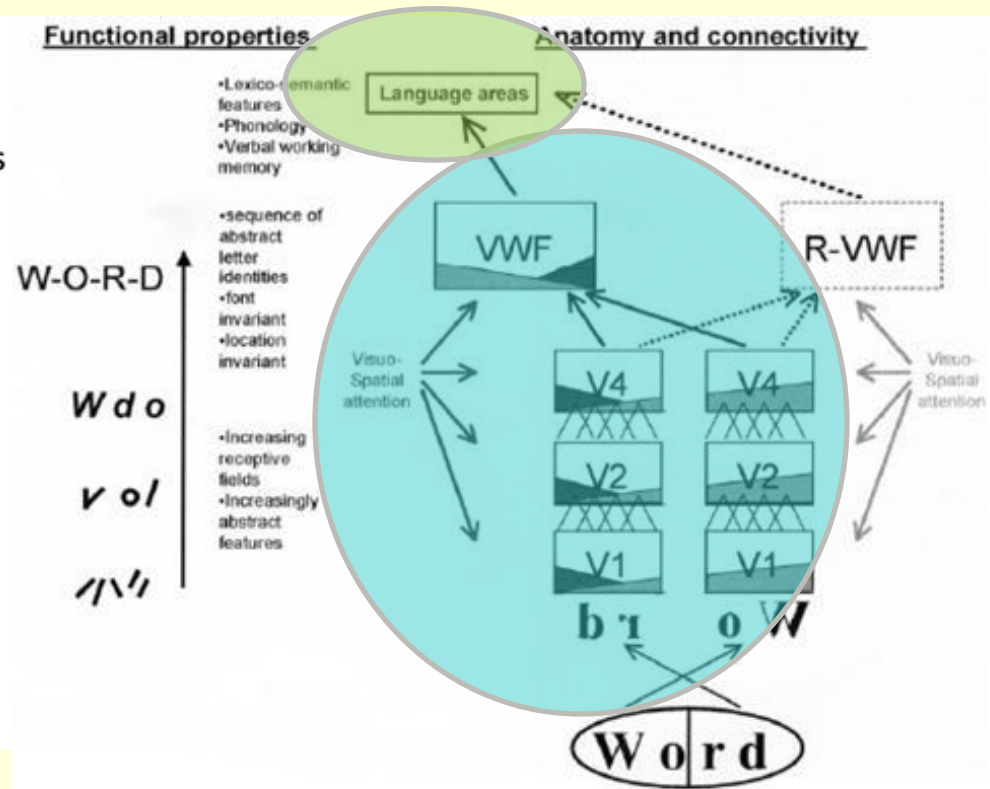
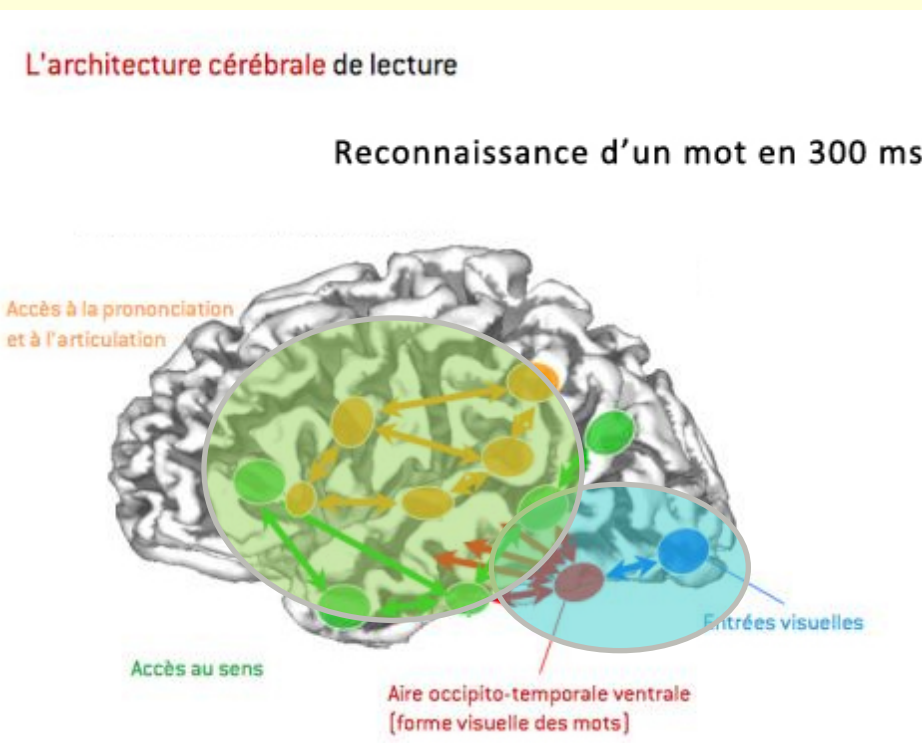
Des combinaisons (c.) de neurones vont permettre de reconnaître des traits,

Schéma hiérarchique pour le traitement des mots lus dans les aires visuelles.



Ce qu'on vient de décrire se passe dans la région en bleu, puis le traitement se poursuit dans la région en vert.

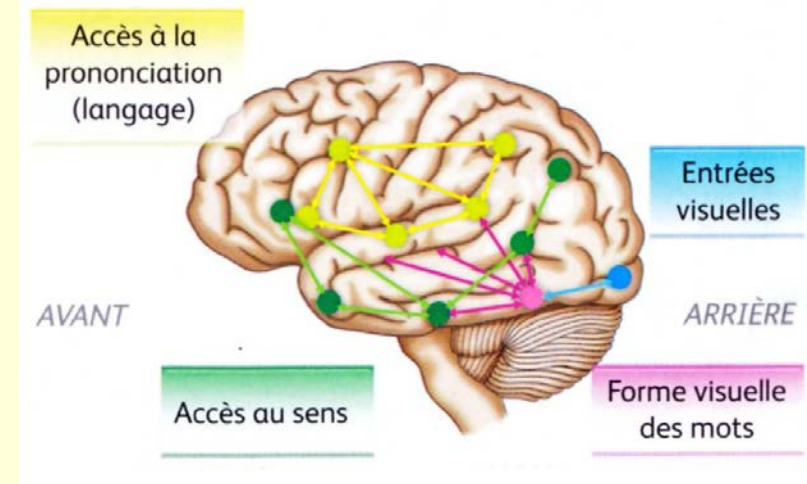
Schéma hiérarchique pour le traitement des mots lus dans les aires visuelles.



Et toute cette pyramide va être sujette à un **apprentissage** important pour encoder entre autre les régularités statistiques d'occurrence des lettres d'une langue particulière

(ex. « en » en français, « ough » en anglais...)

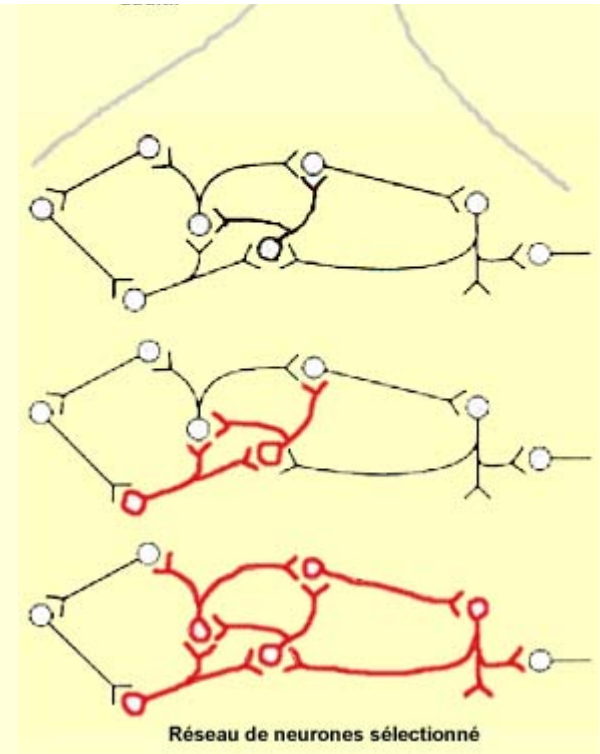
À chaque étape, ce sont donc des **assemblées de neurones** qui vont coder pour des propriétés progressivement de plus en plus abstraites permettant de reconnaître un mot particulier.



C'est un modèle théorique pour l'instant, mais il y a quand même des **données qui l'appuient**.

Par exemple :

En IRMf, si on présente des stimuli des plus élémentaires vers les mots, ce qu'on observe c'est une activation progressive **de l'arrière vers l'avant !** (de manière cumulative)



Et l'hémisphère droit ne fait pas ça, c'est canalisé vers le gauche.

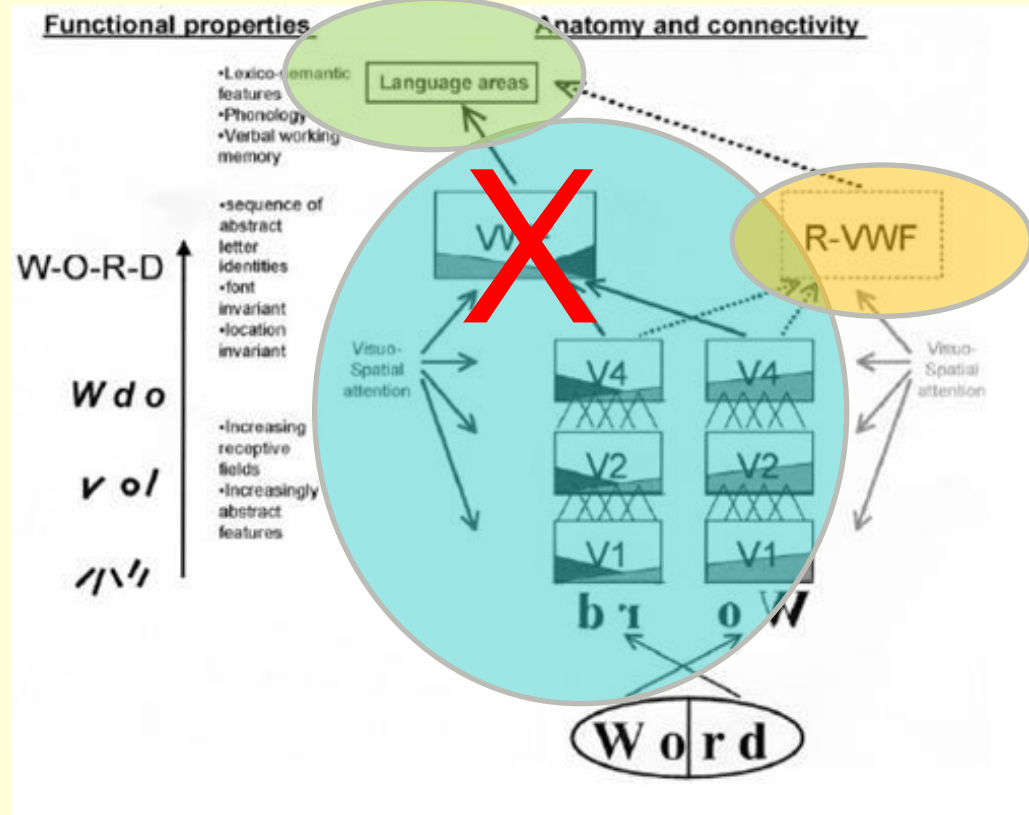
Pourquoi l'hémisphère gauche :



Le système visuel de l'**hémisphère gauche** est meilleur pour la discrimination des petites formes locales, tandis que le droit préfère les formes globales.

Les projections vers les aires du langage (situées dans l'hémisphère gauche) sont **les plus nombreuses** et **les plus directes**, et donc plus **rapides**, parce que du même côté.

Pourquoi l'hémisphère gauche :



Fait à noter :

En cas d'ablation chirurgicale de la région occipito-temporale gauche durant les années d'apprentissage de la lecture, c'est **la région symétrique de l'hémisphère droit** qui prend le relais.

Par exemple, une enfant de 4 ans s'est fait enlever une tumeur au cerveau et avec elle l'aire occipito-temporale ventral gauche. Elle a ensuite quand même réussi à lire quasiment normalement et à 11 ans a passé un scan : l'aire analogue mais du côté droit s'activait lors de la lecture !

En résumé :

La lecture est un phénomène extrêmement contraint par notre cerveau, par sa longue histoire évolutive qui a « bricolé » ses différentes régions spécialisées.

Des contraintes toutefois couplées à une grande plasticité quand on apprend à lire car le cerveau se trouve encore dans une période d'élimination synaptique importante.

Et donc on « **recâble** » avec les mots de notre langue maternelle (dont l'alphabet a été « adapté » aux capacités particulières de nos aires visuelles), ces régions du cerveau qui sont alors prêtes à s'y ajuster plus finement grâce à cette plasticité.



+ une petite mise à jour :

Trends in Cognitive Sciences

The Interactive Account of ventral occipitotemporal contributions to reading

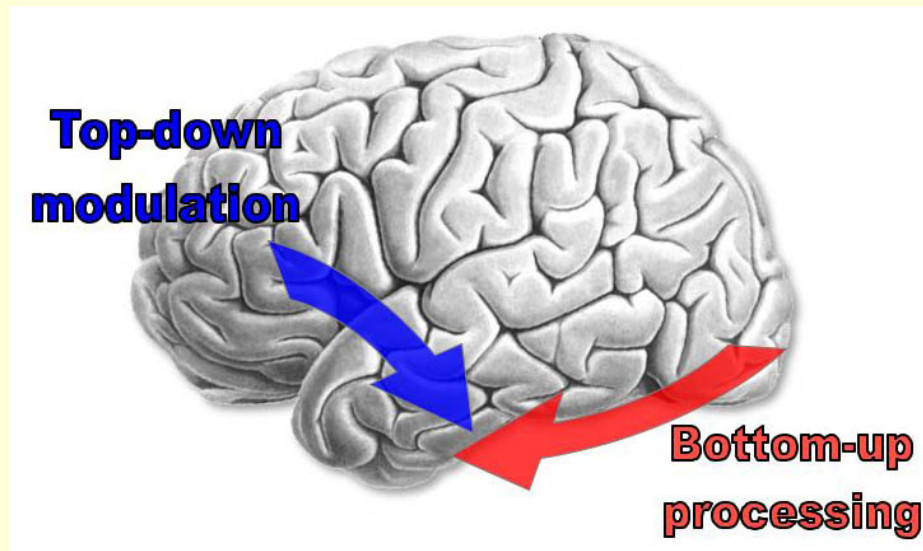
Volume 15, Issue 6, June **2011**, Pages 246–253

[http://www.psychologie.uzh.ch/fachrichtungen/angpsy/life-fall-academy-2013/
Price11_TiCS_reading_interactive.pdf](http://www.psychologie.uzh.ch/fachrichtungen/angpsy/life-fall-academy-2013/Price11_TiCS_reading_interactive.pdf)

Cathy J. Price¹,
Joseph T. Devlin²
University College London,
University of London

Leur conception interactive de l'aire occipito-temporale ventrale gauche s'appuie sur :

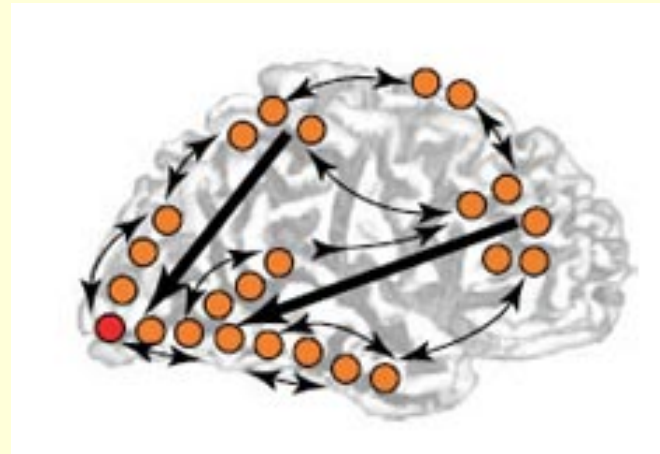
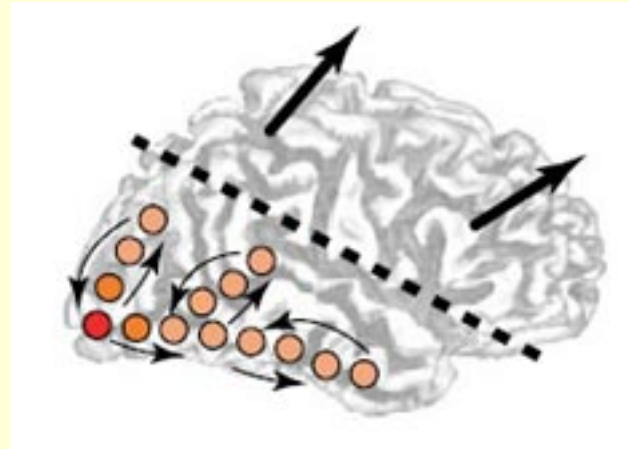
- des études démontrant que cette aire est aussi activée dans **d'autres situations** que la reconnaissance visuelle des mots (lire le Braille ou répéter des mots entendus, par exemple)
- la prémisse que toute **perception** résulte de la **synthèse de l'input sensoriel de bas en haut** avec les **prédictions de haut en bas** qui sont générées automatiquement à partir de notre expérience antérieure.



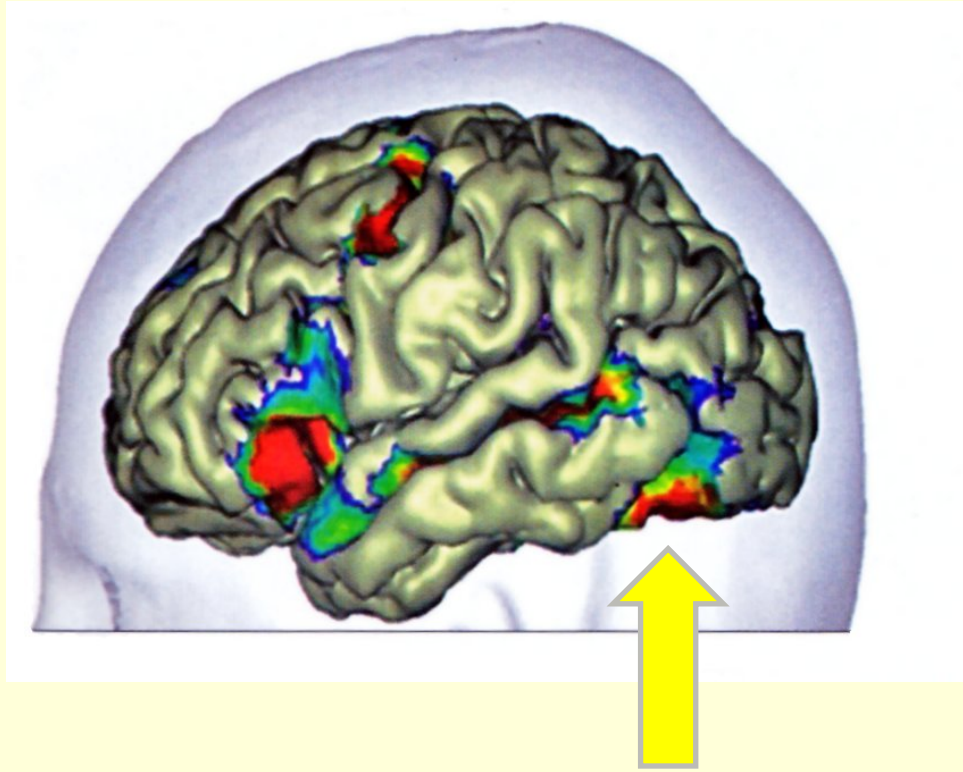
Ils proposent donc que l'aire occipito-temporale ventrale gauche **intègre** les caractéristiques visuospatiales extraites de l'input sensoriel (les mots lus]

AVEC

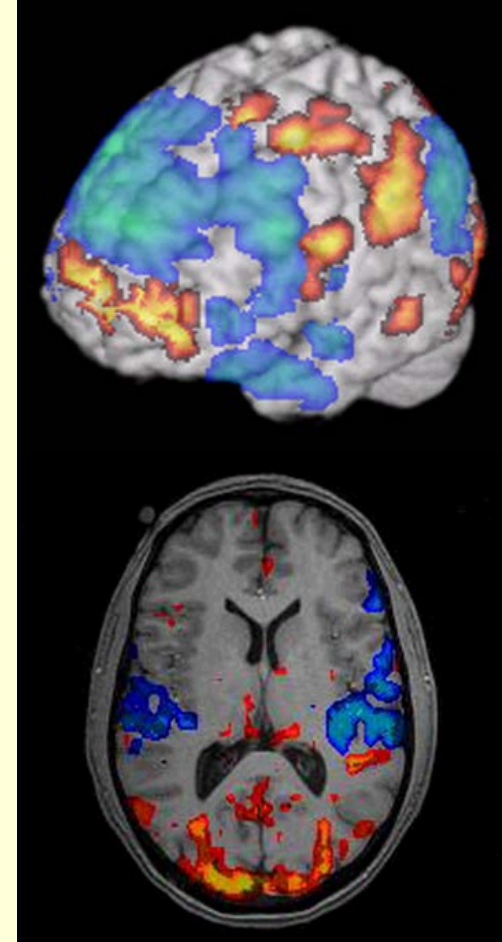
les associations d'ordre supérieur (comme la prononciation ou le sens des mots).



Dans ce contexte, la spécialisation pour l'orthographe **émergerait de l'interaction régionale SANS** toutefois assumer que l'aire occipito-temporale ventrale gauche est spécifique aux mots lus.



L'aire occipito-temporale ventrale gauche contribuerait plutôt à plusieurs fonctions différentes au gré de ses **interaction** avec d'autres régions du cerveau.



Et il serait difficile de lui attribuer une étiquette fonctionnelle unique expliquant toute ses réponses.

Et même Dehaene va un peu en ce sens avec...

Neuroimage

Specialization for written words over objects in the visual cortex

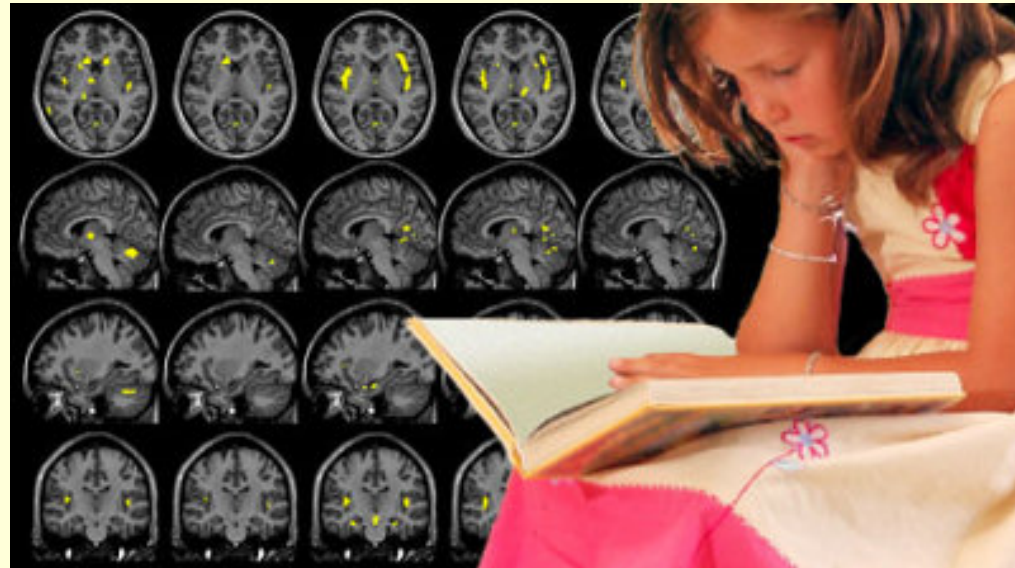
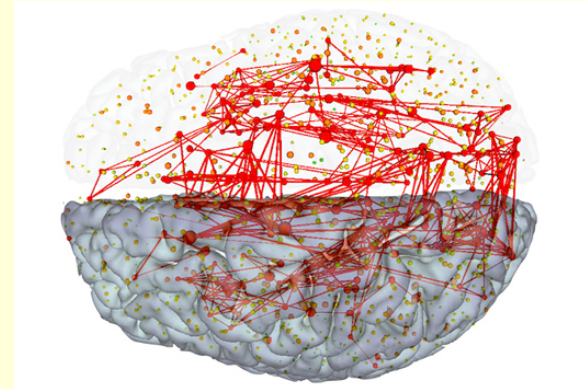
http://www.unicog.org/publications/szwed_et_al_Neuroimage_2011.pdf

Janvier 2011

Marcin Szwed, **Stanislas Dehaene**,
Andreas Kleinschmidt, Evelyn Eger,
Romain Valabrègue, Alexis Amadonc,
Laurent Cohen

Leurs résultats indiquent que le traitement préférentiel des mots peut être observé dans **différentes** régions du cortex visuel

même dans le **cortex visuel primaire**, ce qui reflète un important apprentissage perceptuel vers un traitement en **parallèle** rapide encore plus nécessaire pour la lecture que pour tout autre processus cognitif.



Merci d'avoir lu toutes ces diapos avec moi...