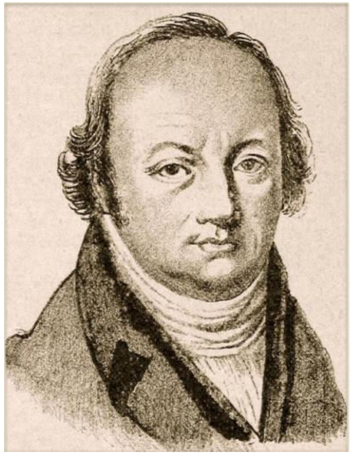
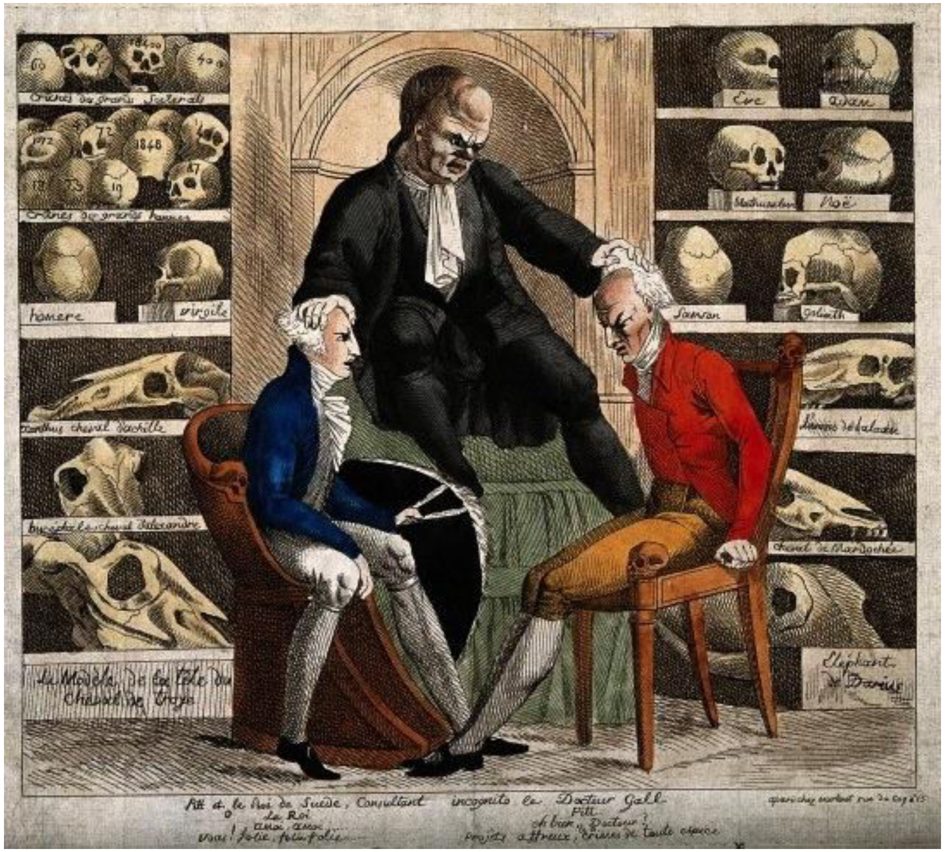
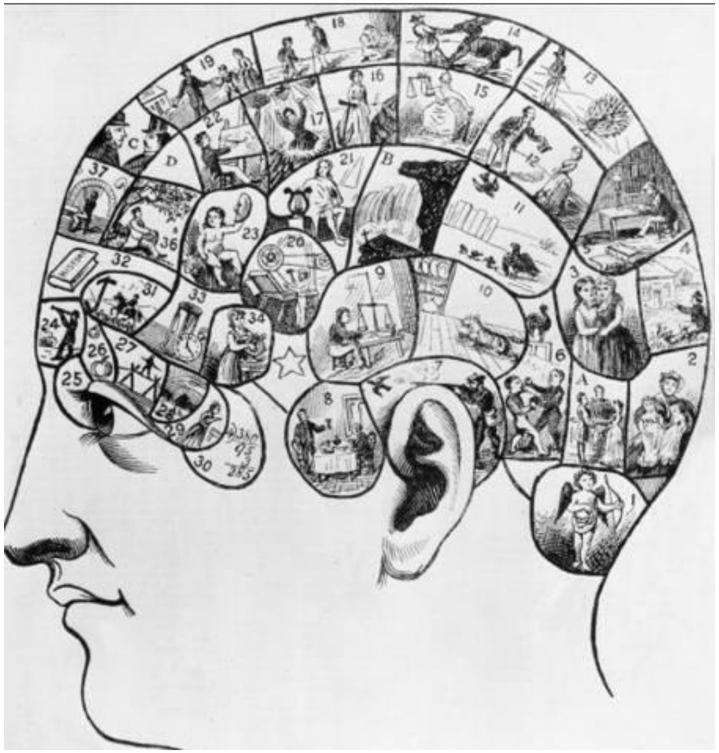
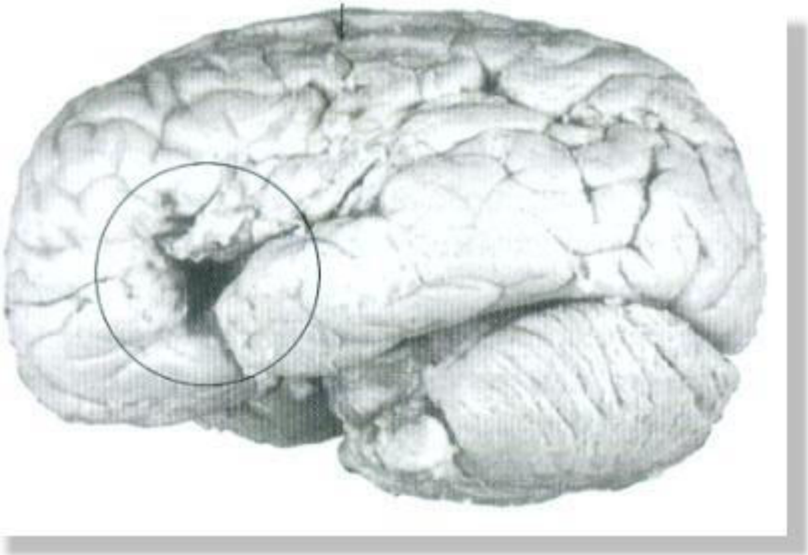
Imagerie cérébrale et Langage

Introduction : Langage et cerveau

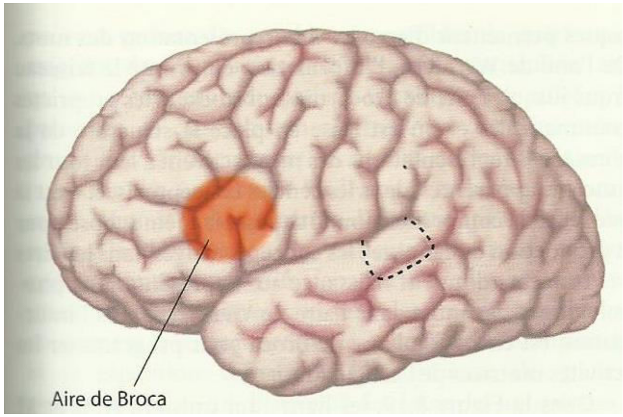


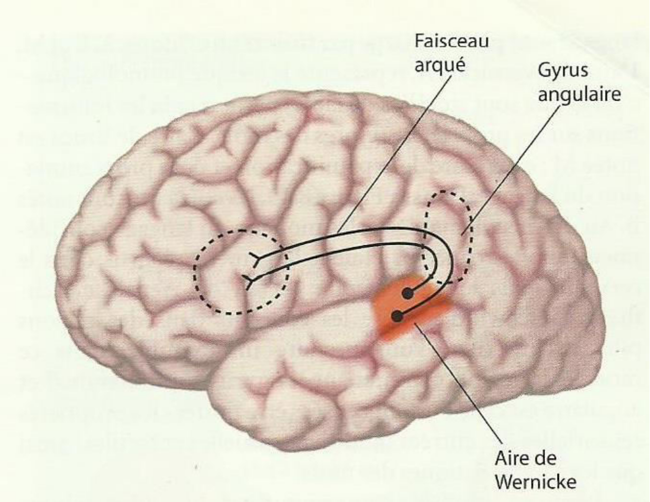

Crânes des grands Scélérats
Crânes des grands hommes
homere
virgile
Xanthus cheval d'Achille
Bucéphale cheval d'Alexandre
Le Modèle de la tête du Cheval de Troye
Eve
adam
Mathusalem
Noë
Samson
Goliath
Ânesse de Balaam
cheval de Mardochée
Eléphant de Darius
Pitt et le Roi de Suede, Consultant incognito le Docteur Gall
le Roi
aïe, aïe, ...
oui! folie, folie folie....
Pitt
eh bien, Docteur?
projets atroces, crimes de toute espèce


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
36
37
A
B
C
D



Aphasies et langage


Aire de Broca


Faisceau arqué
Gyrus angulaire
Aire de Wernicke

Hémisphère GAUCHE
Gyrus frontal inférieur (3eme circonvolution frontale; aires 44 et 45)

Hémisphère GAUCHE
partie postérieure du gyrus temporal supérieur (cortex auditif « associatif », aire 22 de Brodmann)

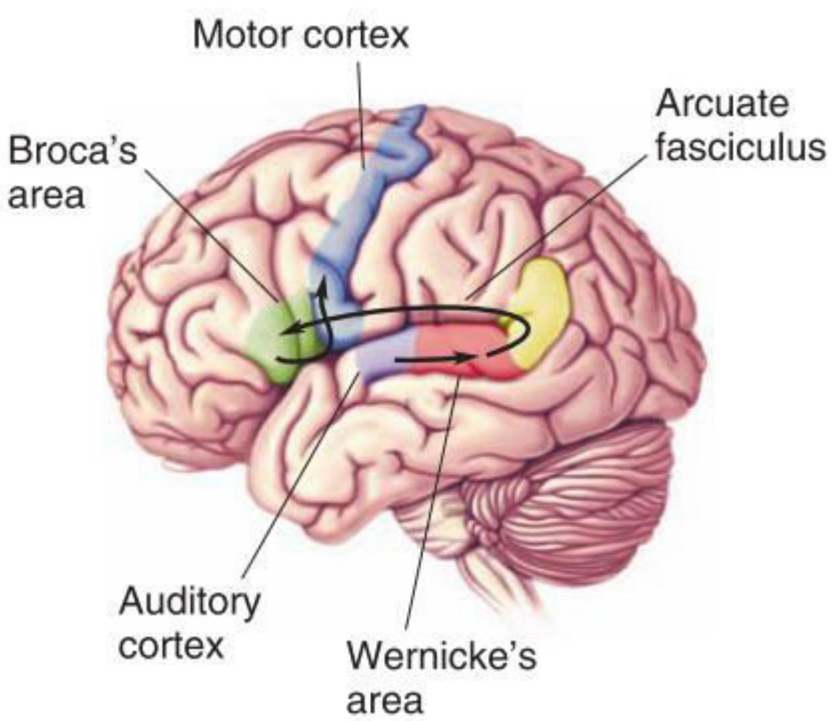

Motor cortex
Arcuate fasciculus
Broca's area
Auditory cortex
Wernicke's area

Figure 20.2 bear, faisceau arqué. Cheminement de l'information pour la répétition d'un mot

Modèle de Wernicke Geschwind

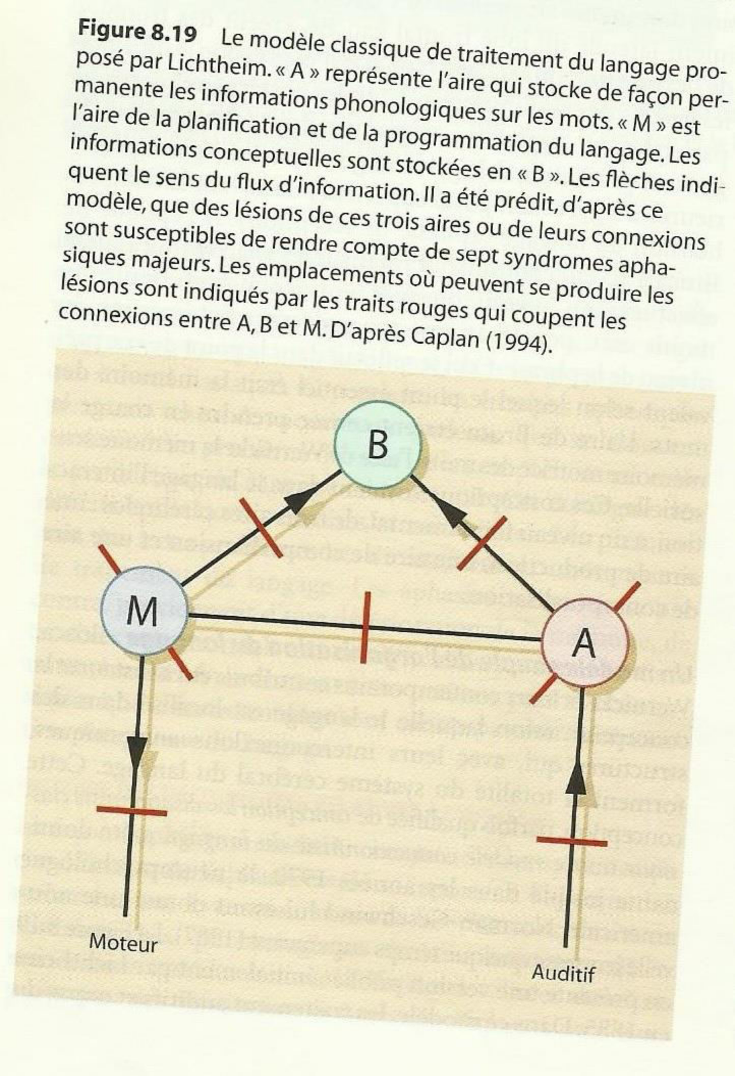


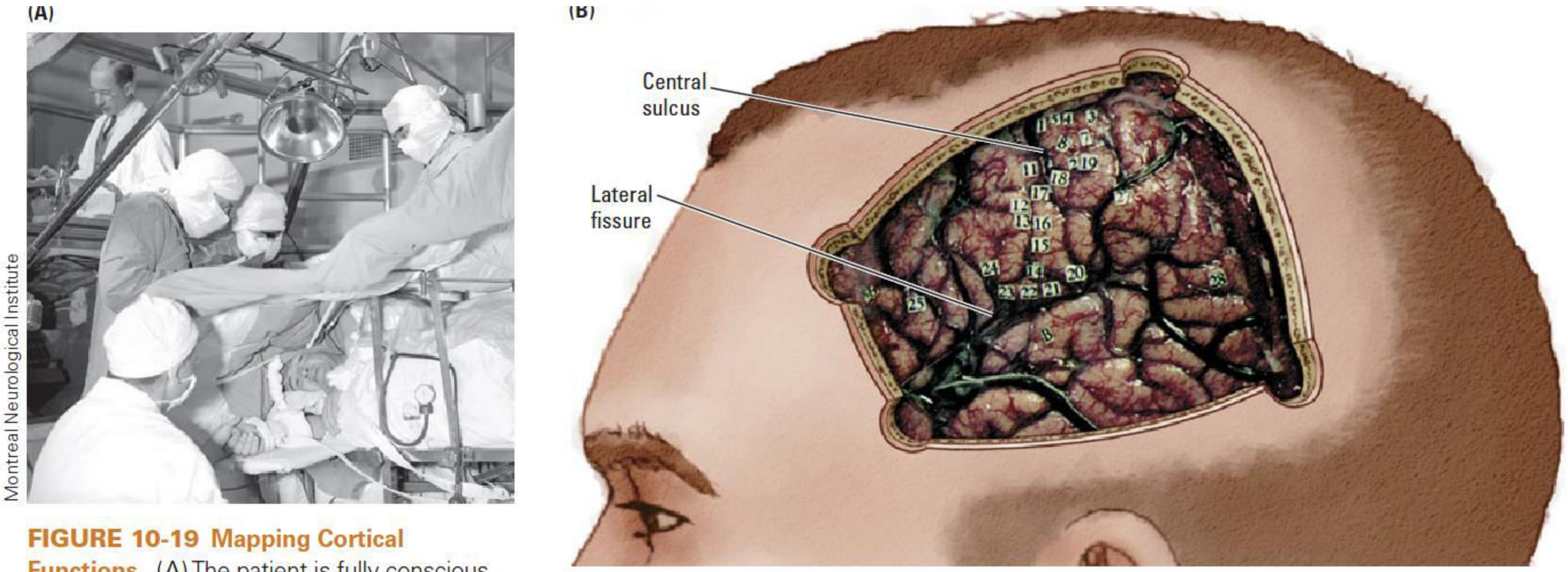
Figure 8.19 Le modèle classique de traitement du langage proposé par Lichtheim. « A » représente l'aire qui stocke de façon permanente les informations phonologiques sur les mots. « M » est l'aire de la planification et de la programmation du langage. Les informations conceptuelles sont stockées en « B ». Les flèches indiquent le sens du flux d'information. Il a été prédit, d'après ce modèle, que des lésions de ces trois aires ou de leurs connexions sont susceptibles de rendre compte de sept syndromes aphasiques majeurs. Les emplacements où peuvent se produire les lésions sont indiqués par les traits rouges qui coupent les connexions entre A, B et M. D'après Caplan (1994).

B
M
A
Moteur
Auditif

B- Localisation du langage Quelques problèmes avec le modèle de Lichteim

- Les aphasiques de Broca ont des difficultés de compréhension et inversement
- La sévérité des aphasies de Broca et Wernicke dépend de l’étendue de la lésion
- L’aphasie est influencée par les dommages dans les structures sous-corticales (par exemple thalamus)
- Les cas d’aphasie après excision d’une tumeur ou d’une zone épileptique sont en général plus légers que les aphasies après AVC, qui impliquent des régions plus étendues
- Il y a souvent récupération après un AVC car d’autres parties du cerveau non atteintes peuvent compenser

Stimulation cérébrale



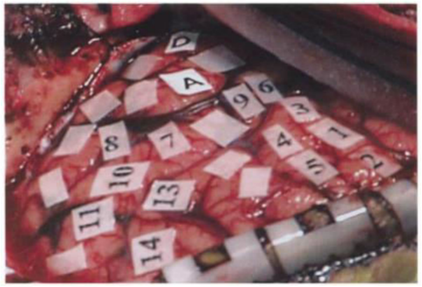
Montreal Neurological Institute

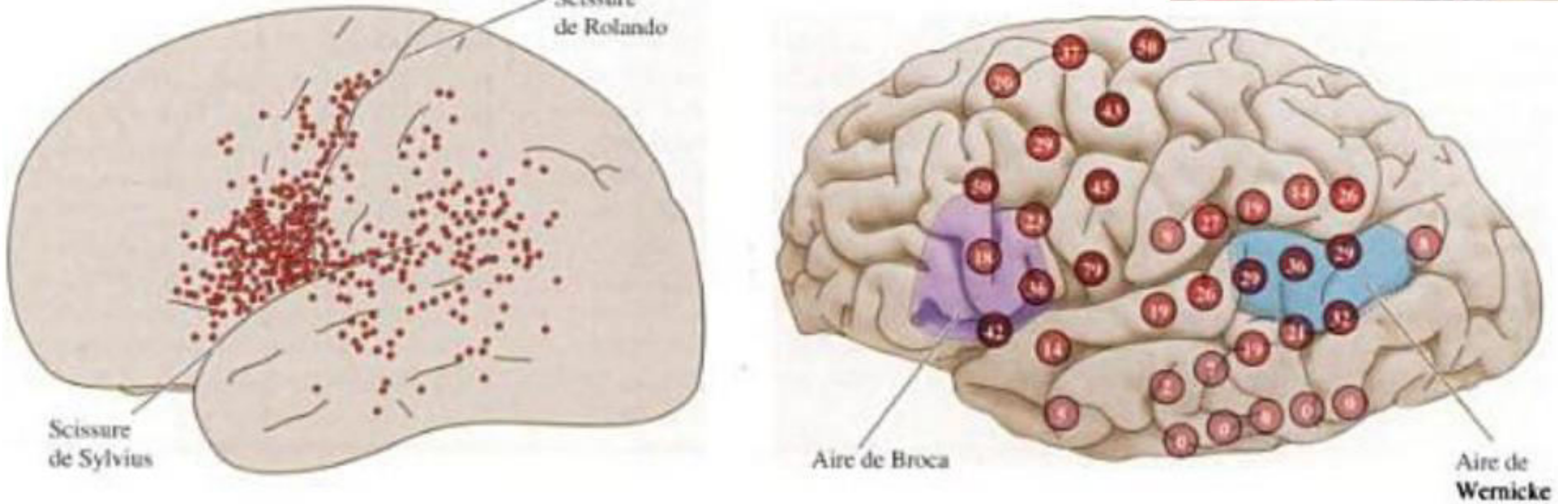
FIGURE 10-19 Mapping Cortical Functions. (A) The patient is fully conscious during neurosurgery for intractable epilepsy,

Stimulation du mortex moteur: arrêts de la parole ou parfois vocalisations

Stimulations d’autres parties du cerveau pendant la parole: arrêts, hésitations, confusions, difficultés à trouver le mot

Stimulations électriques du cortex cérébral pour la cartographie des aires du langage au cours de la dénomination d’images


D
A
9
6
8
7
4
3
10
13
5
2
11
14
1


(A)
Scissure de Rolando
Scissure de Sylvius
(B)
Aire de Broca
Aire de Wernicke

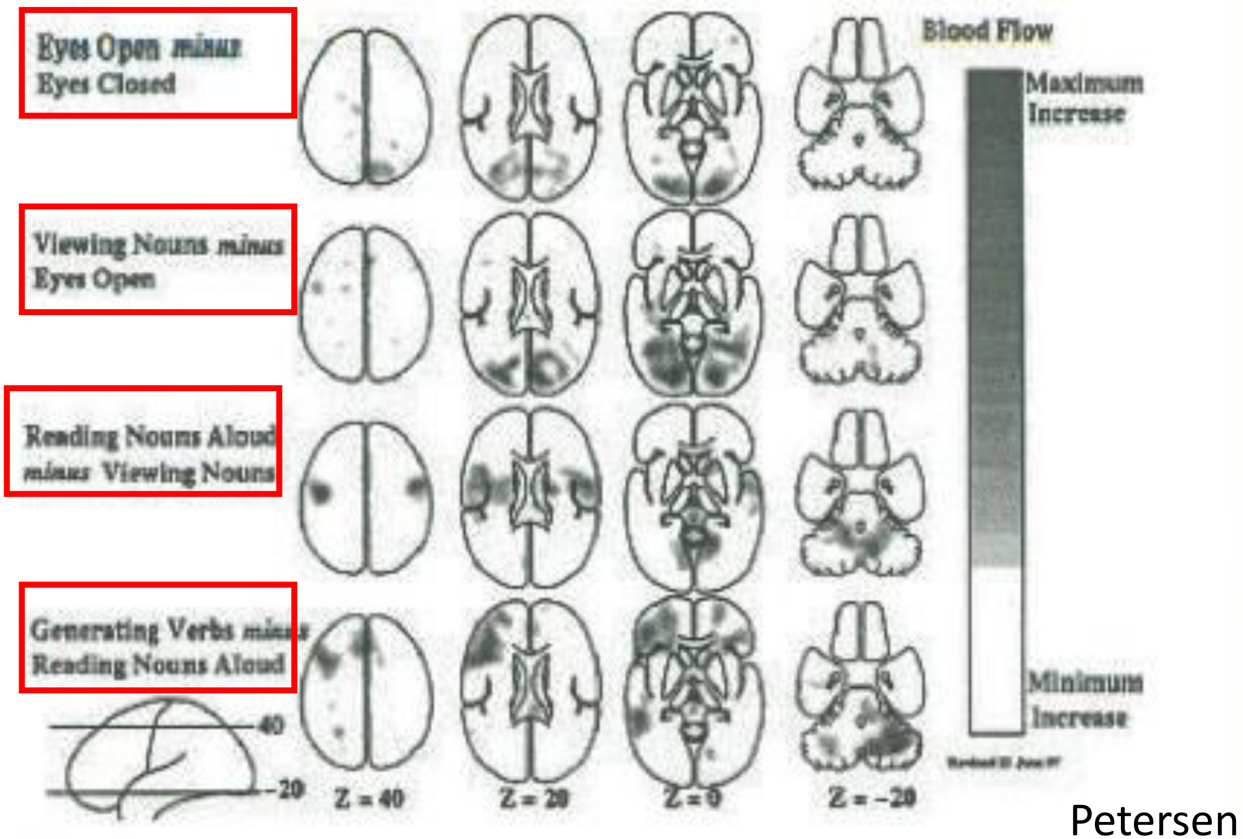
Penfield et Roberts, 1959

Ojemann, 1989
(< 100 patients)

* Variabilité des localisations
* Beaucoup de régions extérieures aux « aires du langage »

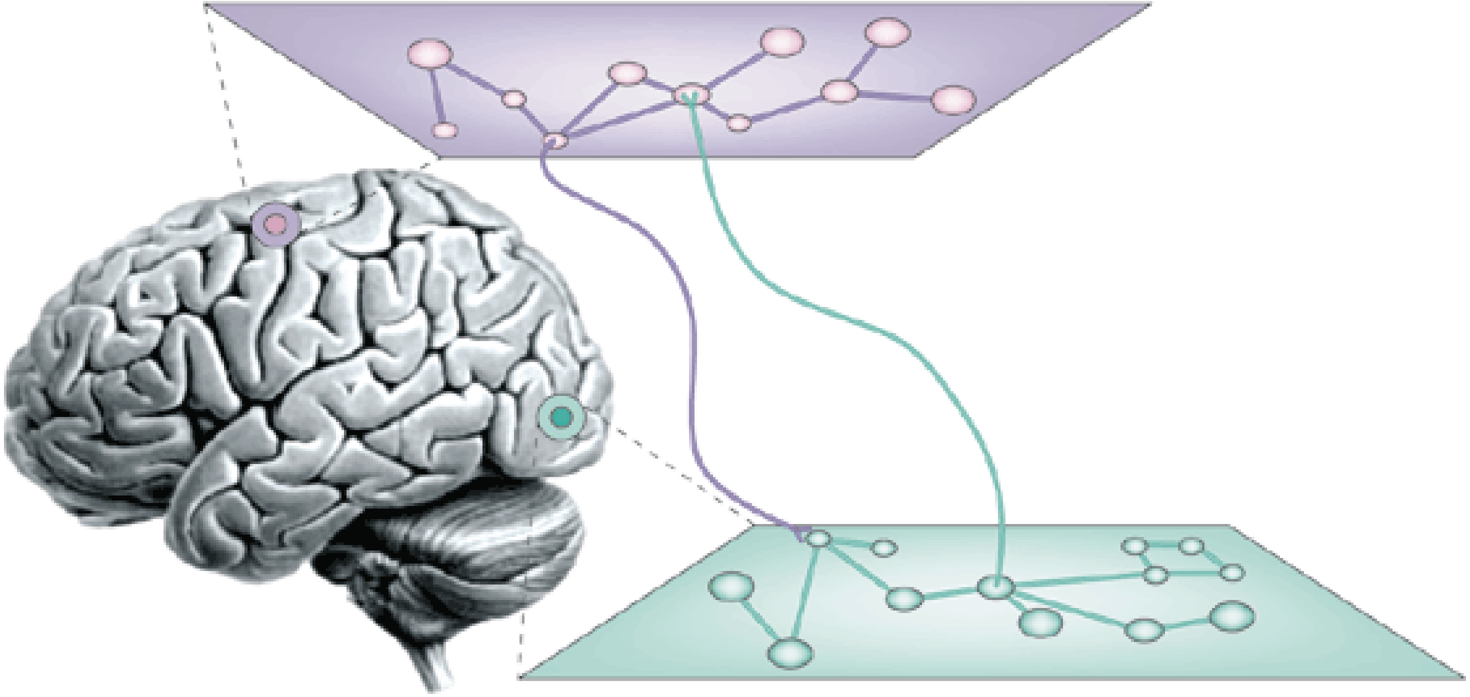
; dans Neurosciences, Purves et al.

Imagerie cérébrale
Premières études en TEP


Eyes Open *minus* Eyes Closed
Viewing Nouns *minus* Eyes Open
Reading Nouns Aloud *minus* Viewing Nouns
Generating Verbs *minus* Reading Nouns Aloud
Blood Flow
Maximum Increase
Minimum Increase
40
-20
Z = 40
Z = 20
Z = 0
Z = -20

Petersen et coll, 1988

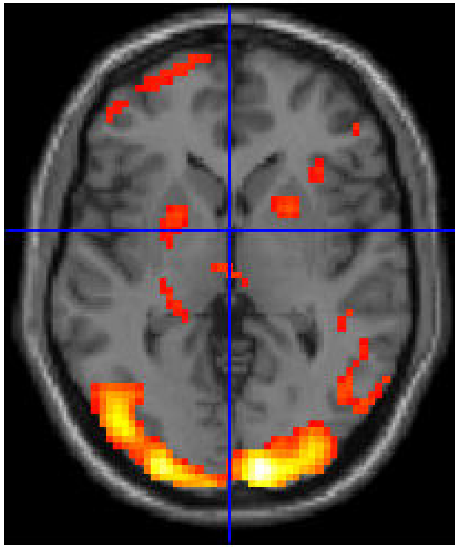
Figure 1. Four different hierarchically organized conditions are represented in these mean blood flow difference images obtained with PET. All of the changes shown in these images represent increases over the control state for each task. A group of normal subjects performed these tasks involving common English nouns (Petersen et al. 1988; Petersen et al. 1989) to demonstrate the spatially distributed nature of the processing by task elements going complexity was increased from simply opening the eyes (row 1) through passive viewing of nouns on the television monitor (row 2); reading aloud the nouns as they appear on the screen (row 3); and saying aloud an appropriate verb for each noun as it appeared on the screen (row 4). These horizontal images are oriented with the front of the brain on top and the left side to the reader's left. The marking "Z = 40" indicates milimeters above and below a horizontal plane



Nature Reviews | Neuroscience

I Caractéristiques des méthodes d’imagerie cérébrale

1- Structurale / Fonctionnelle



2- Temps / espace

- Le *pouvoir de résolution* est la plus faible variation de la quantité mesurée que l'instrument soit capable de mettre en évidence

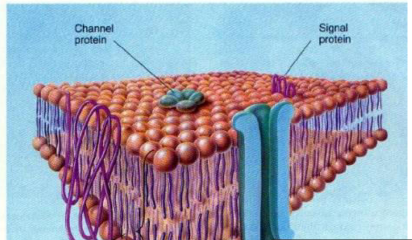
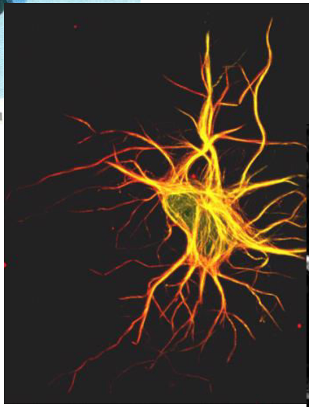
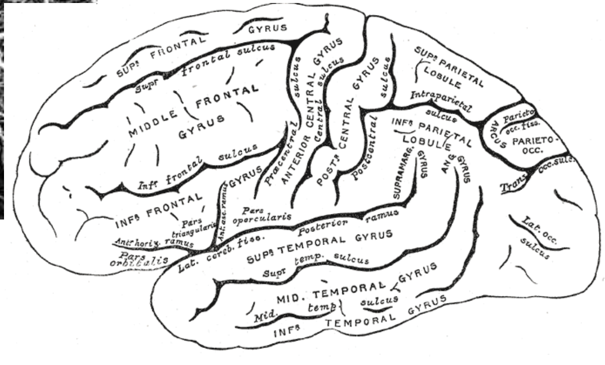

Channel protein
Signal protein
Lipid bilayer

Figure 3.7 The cell membrane: A lipid bilayer with signal proteins and channel proteins embedded in it.

Espace: de moins d'un nM à plusieurs dizaines de cm




SUPR FRONTAL GYRUS
Supr frontal sulcus
MIDDLE FRONTAL GYRUS
Inft frontal sulcus
INFR FRONTAL GYRUS
Pars triangularis
Antr horiz. ramus
Pars orbitalis
Ascent. ramus
Pars opercularis
Lat. cereb. fiss.
Posterior ramus
Precentral sulcus
ANTERIOR CENTRAL GYRUS
Central sulcus
POSTR CENTRAL GYRUS
Postcentral sulcus
SUPR PARIETAL LOBULE
Intraparietal sulcus
INFR PARIETAL LOBULE
SUPRAMARG. GYRUS
ANG. GYRUS
Parieto occ. fiss.
ARCUS PARIETO-OCC.
Trans. occ. sulc.
Lat. occ. sulcus
SUPR TEMPORAL GYRUS
Supr temp. sulcus
MID. TEMPORAL GYRUS
Mid temp. sulcus
INFR TEMPORAL GYRUS

Temps: de quelques µs à plusieurs années

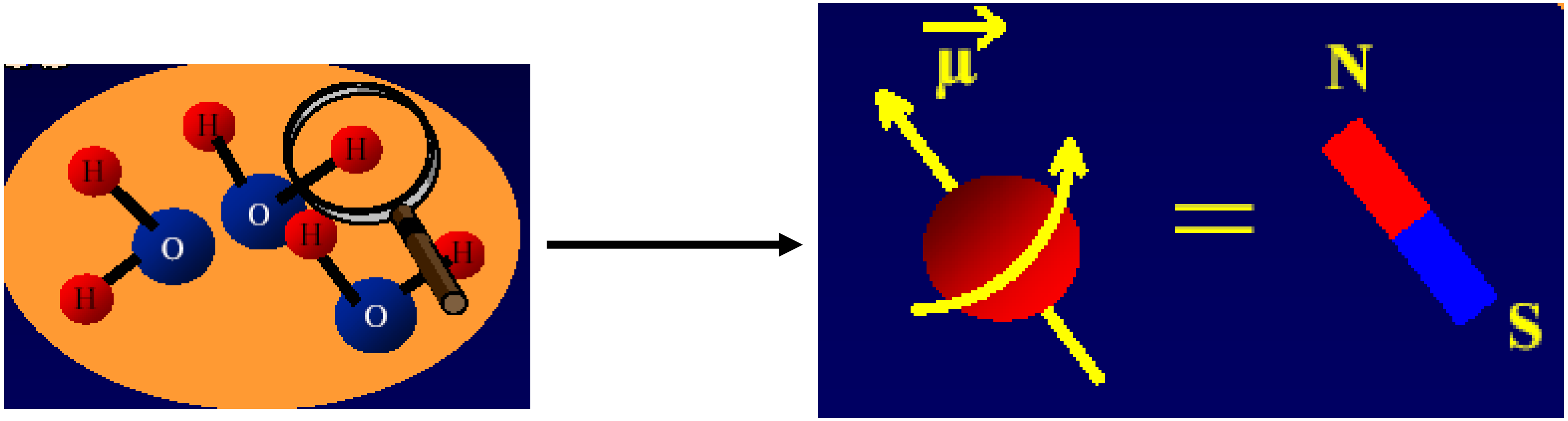
II- Imagerie structurale

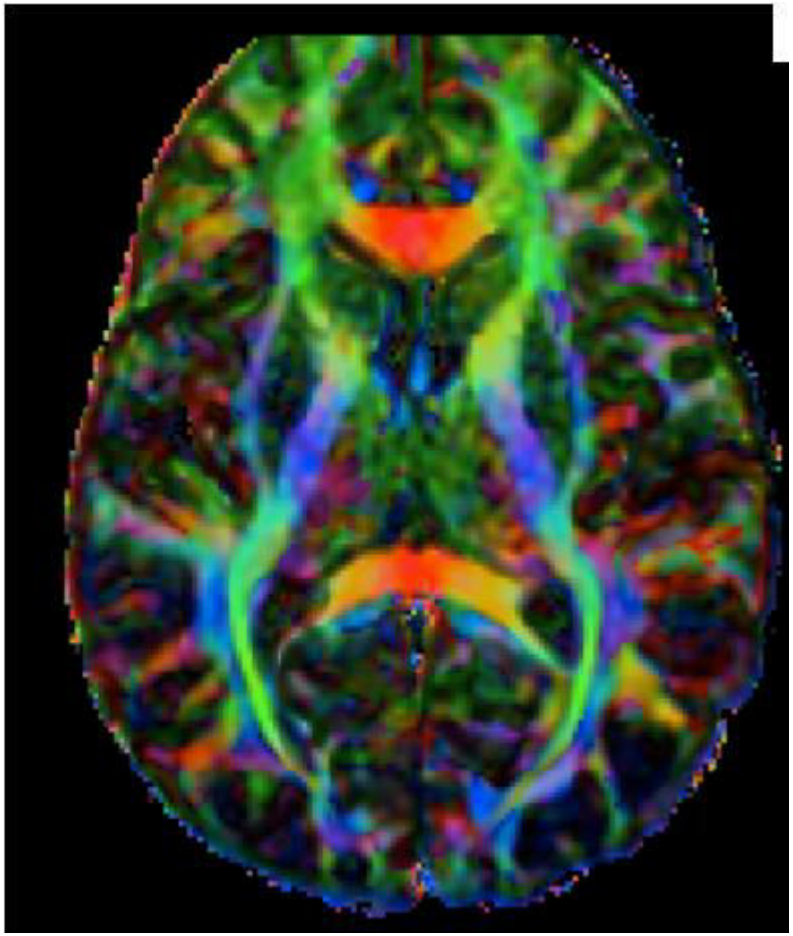
Principes de la résonance magnétique nucléaire

(Cours de M. Roth)

http://irmfmrs.free.fr/formation/cours_irm/cours_irm.htm

- L'IRM exploite les propriétés magnétiques des noyaux atomiques





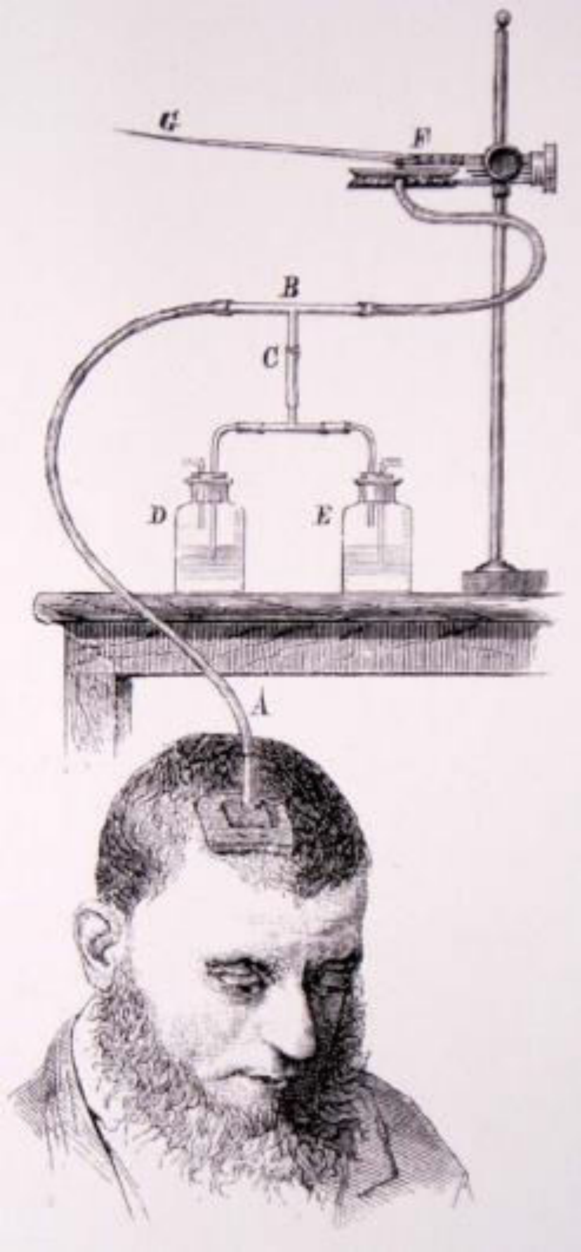
Imagerie en tenseur de diffusion

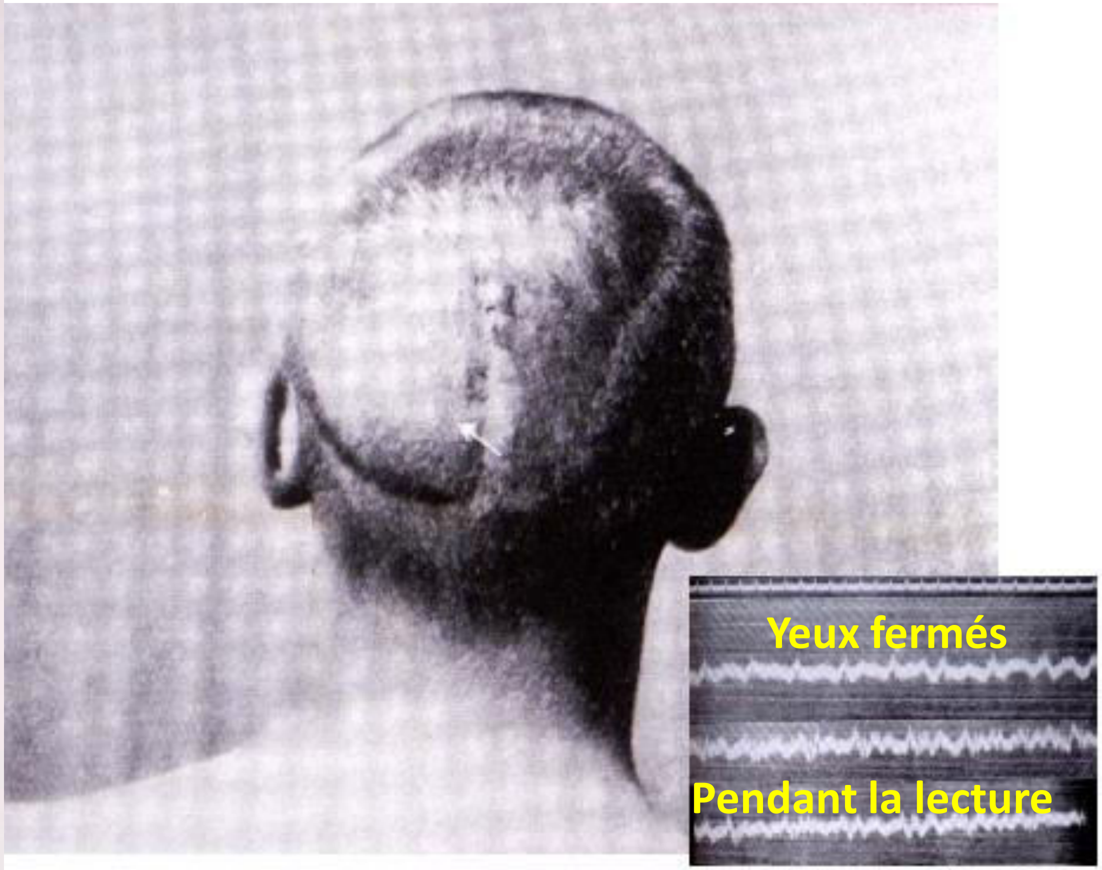
distribution des directions de diffusion des molécules d'eau. Cette diffusion étant contrainte par les tissus environnants, cette modalité d'imagerie permet d'obtenir indirectement la position, l’orientation et l’anisotropie des structures fibreuses,

III Méthodes d’imagerie FONCTIONNELLE

1 Méthodes de mesure du débit sanguin cérébral

TEP et IRM fonctionnelle




Yeux fermés
Pendant la lecture

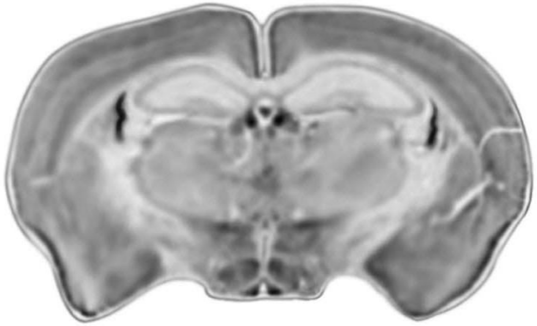
Fin 19eme siècle: Mosso

1928: Fulton

Le signal BOLD

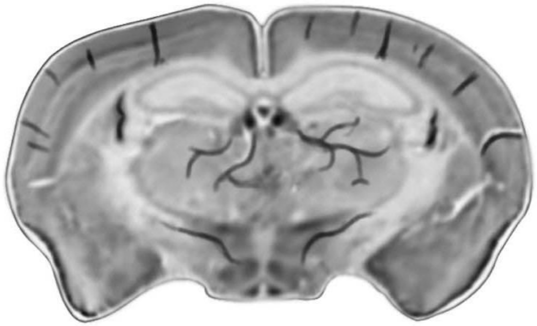
Hémoglobine ou Désoxyhémoglobine

(A)



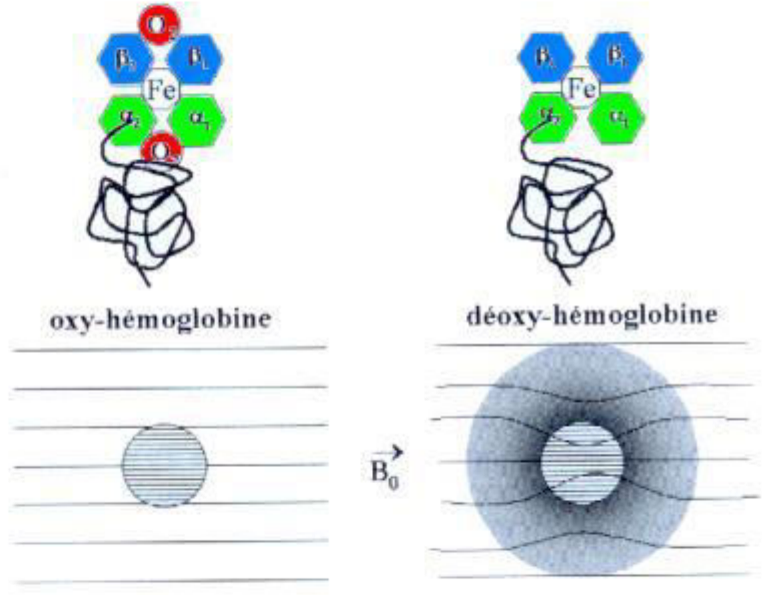
Pure oxygen

(B)



Normal Air

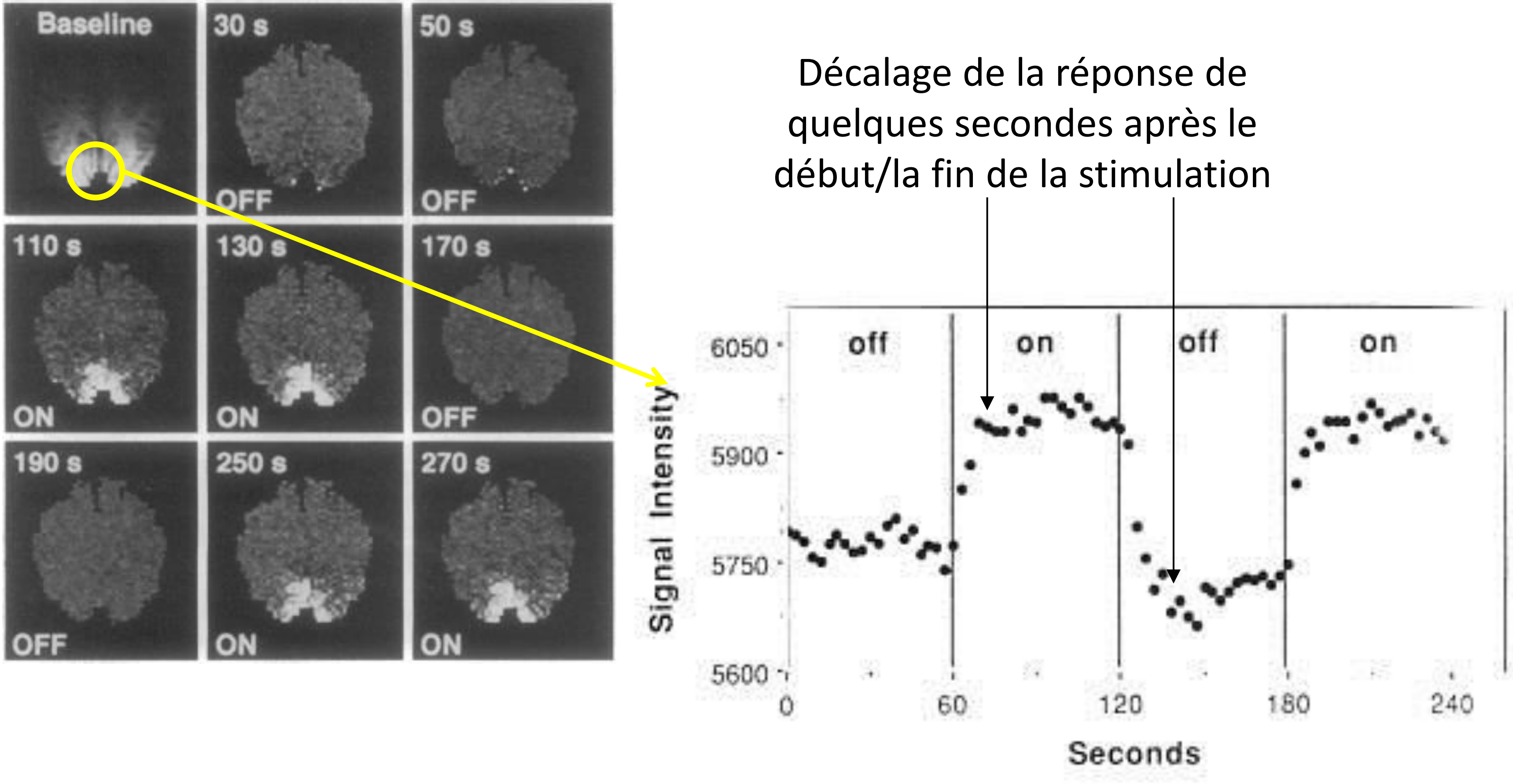
L’augmentation du taux d’hémoglobine déoxygénée fait chuter le signal (Ogawa et al., 1990a chez le rat)



O_2
β_2
β_1
Fe
α_2
α_1
O_2
oxy-hémoglobine
$\vec{B}_0$
β_2
β_1
Fe
α_2
α_1
déoxy-hémoglobine

La déoxyhémoglobine est paramagnétique (Pauling 1936): elle crée des inhomogénéités locales du champ magnétique → influence sur les paramètres mesurés en RMN

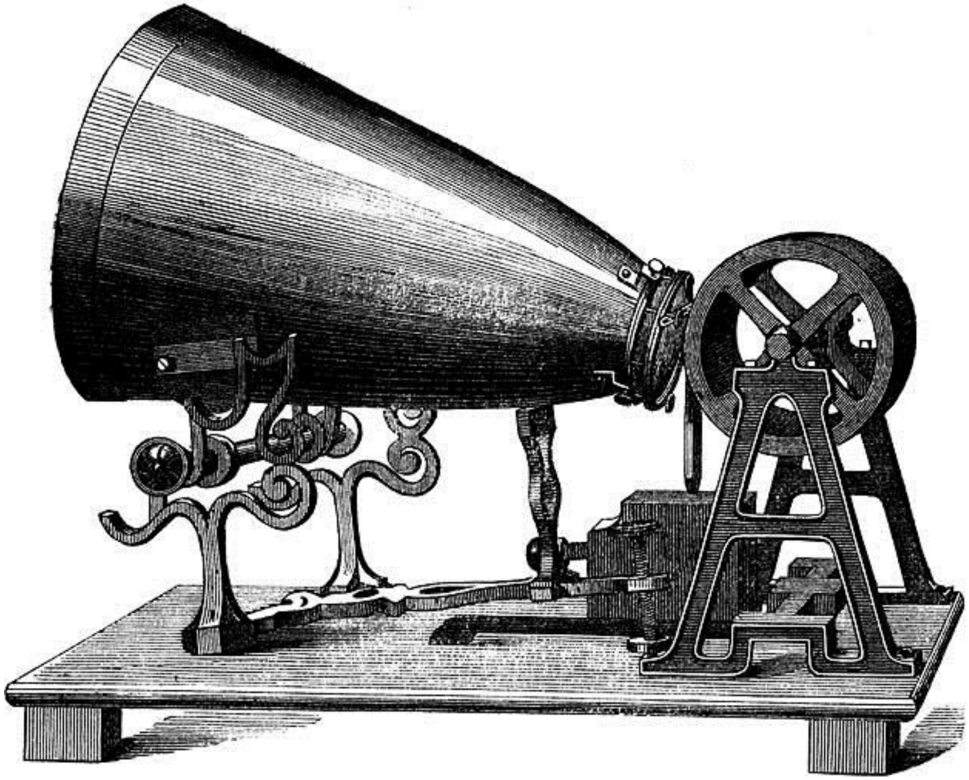
Kwong et collaborateurs, 1992
Humain, stimulation visuelle

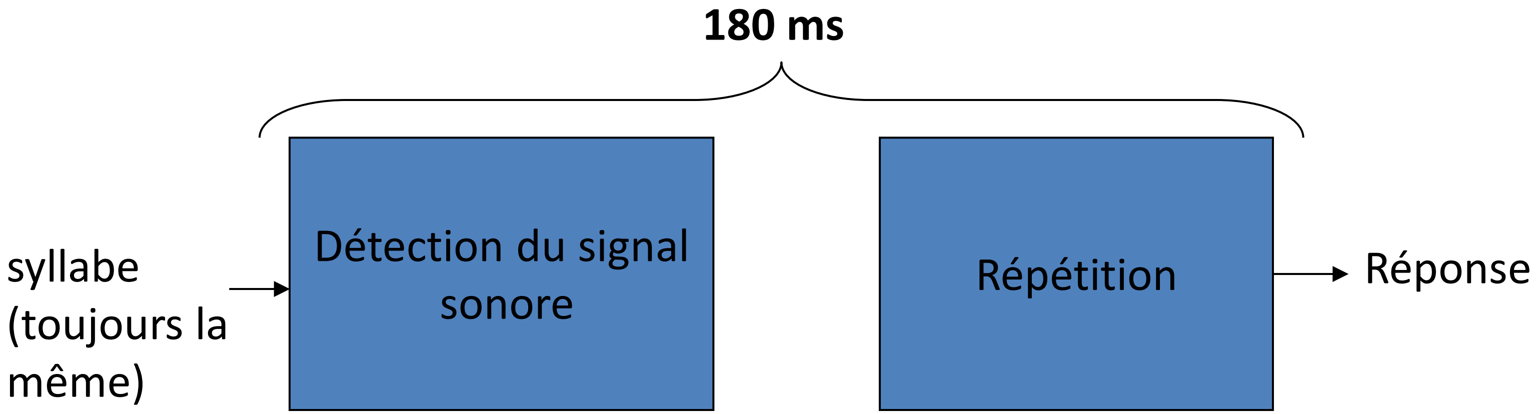


Décalage de la réponse de quelques secondes après le début/la fin de la stimulation

Le paradigme d’activation

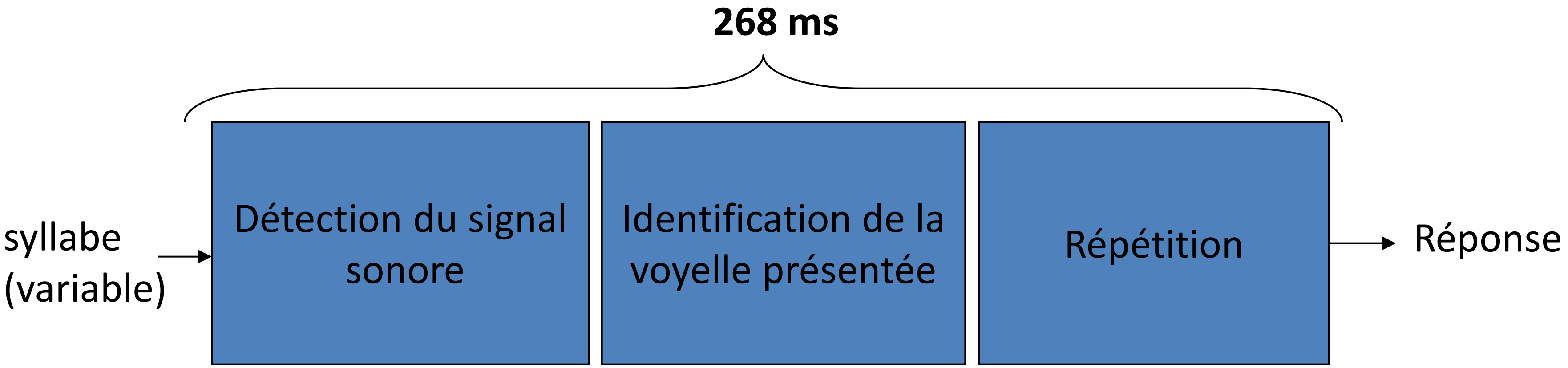
- Mesurer la pensée: Donders 1868





180 ms

syllabe (toujours la même) → Détection du signal sonore | Répétition → Réponse



268 ms

syllabe (variable) → Détection du signal sonore | Identification de la voyelle présentée | Répétition → Réponse

Etape d'identification : 88 ms

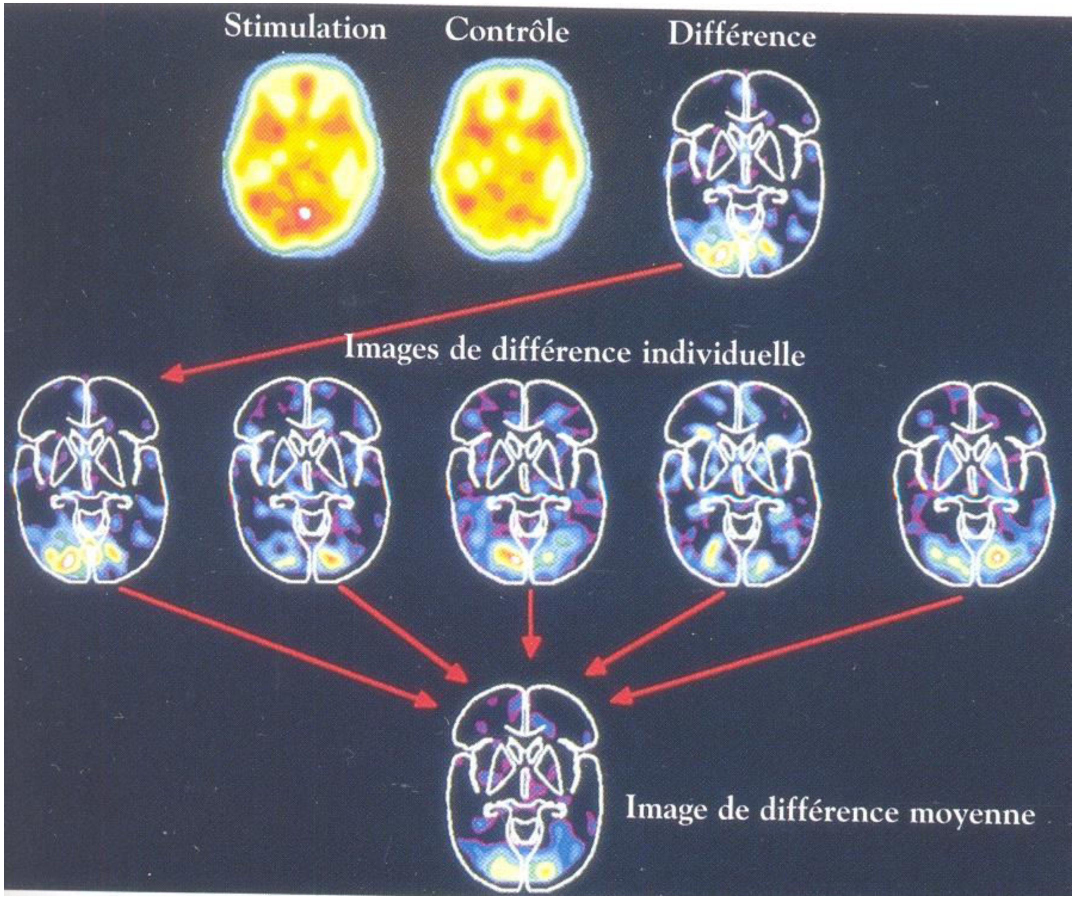
Insertion pure

→ le paradigme d’activation

- Le débit sanguin local ne varie pas suffisamment à cause d’une opération mentale donnée pour pouvoir être discriminé de l’activité globale du cerveau

- La mesure dans la condition d’intérêt est toujours considérée relativement à la mesure dans une autre condition

Etudes de groupe


Stimulation
Contrôle
Différence
Images de différence individuelle
Image de différence moyenne

IRMf : méthode indirecte

- Le « filtre hémodynamique » : **Réflexion *indirecte***
- **de l'activité neuronale**

- Couplage réponse BOLD/ activité neuronale:
- relation complexe → Variations? Âge, pathologie,
- pharmacologie

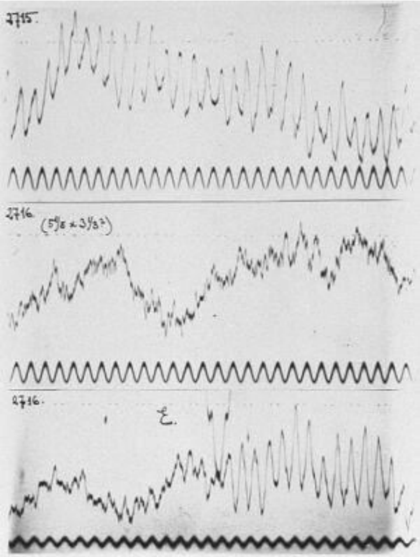
2- Méthodes de mesure de l’activité électrique corticale

L'électroencéphalographie
EEG

- Berger, 1929, chez l'homme (sur un patient avec un
- défaut du crâne)

→ Mesure de l'activité électrique du cortex cérébral

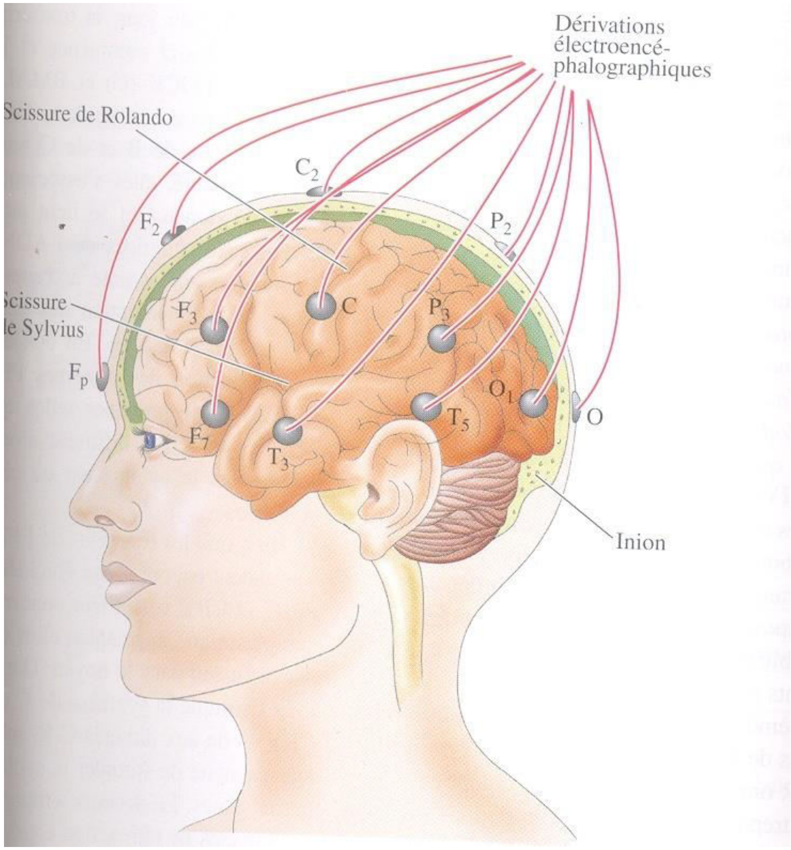
- Nombre variable d'électrodes (16 à 128) couvrant
- l'ensemble du scalp (F, C, T, P, O) sur emplacements standards



- Différences de potentiel enregistrées entre deux
- électrodes sur le scalp

- Amplificateurs différentiels

- DDPs = quelques microvolts
- (µV)

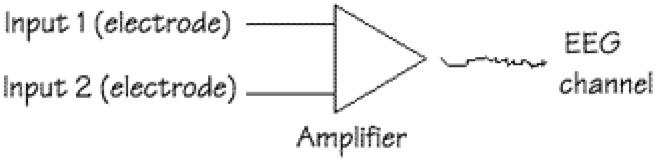

Dérivations
électroencé-
phalographiques
Scissure de Rolando
C_2
F_2
P_2
cissure
le Sylvius
F_3
C
P_3
F_p
O_1
O
F_7
T_3
T_5
Inion

- Chaque ampli enregistre la
- différence entre une électrode
- et l’électrode dite « de référence »

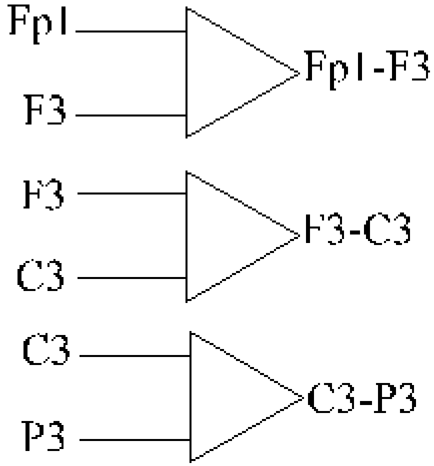
- Méthode non invasive

I'm an
infant
scientist

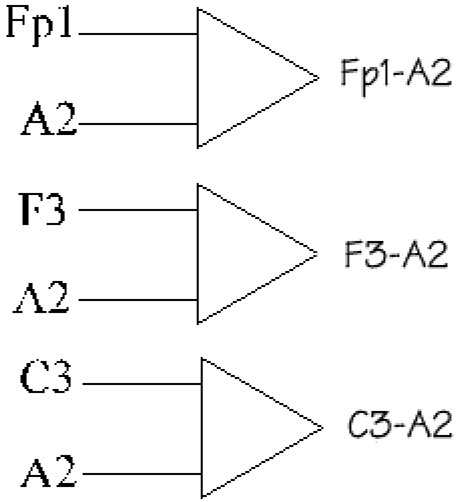
- Nomenclature des électrodes

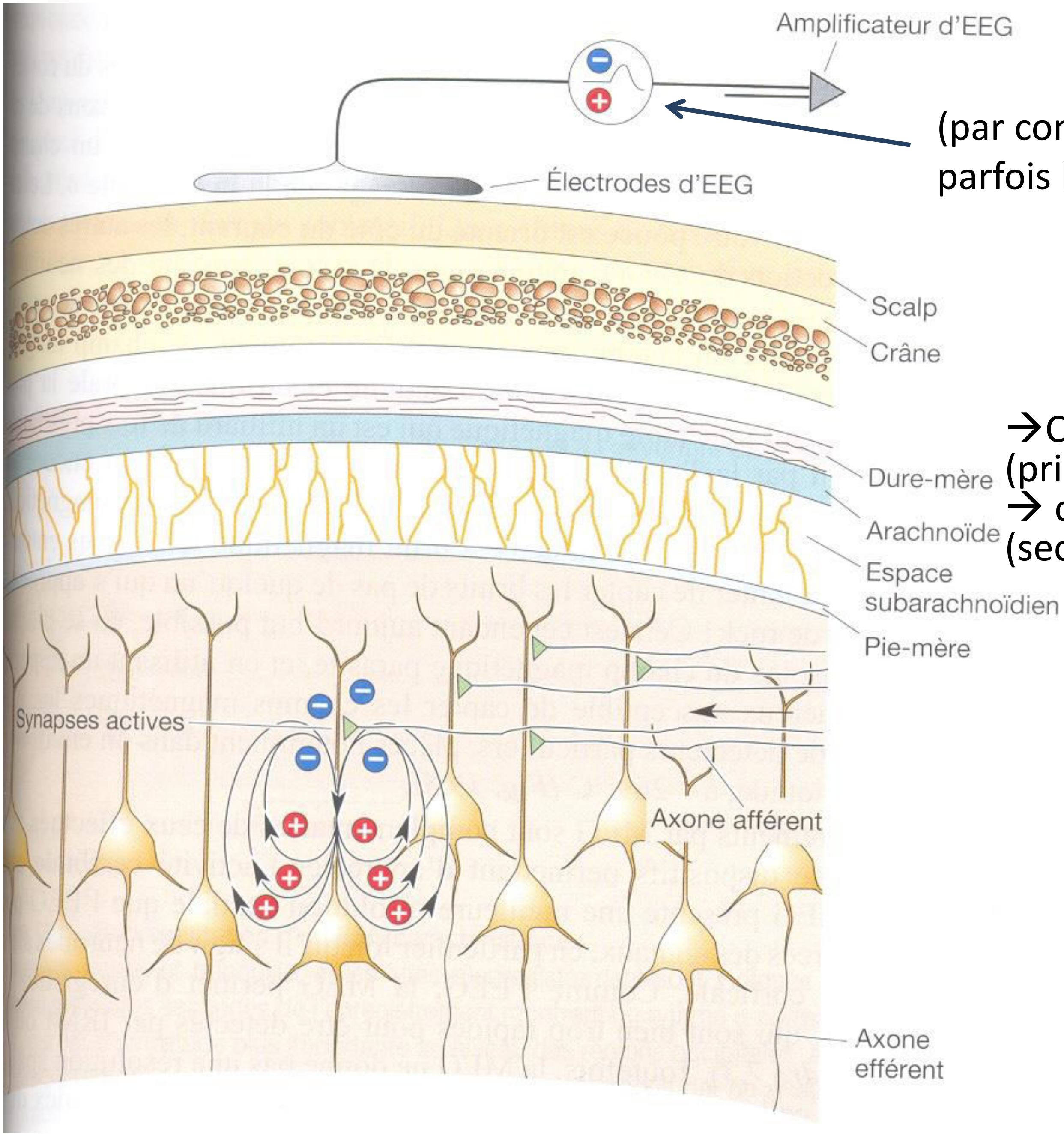

Input 1 (electrode)
Input 2 (electrode)
Amplifier
EEG
channel

- Dérivation bipolaire


Fp1
F3
Fp1-F3
F3
C3
F3-C3
C3
P3
C3-P3

- Dérivation avec référence commune (non sensible aux variations de potentiels cérébraux),


Fp1
A2
Fp1-A2
F3
A2
F3-A2
C3
A2
C3-A2

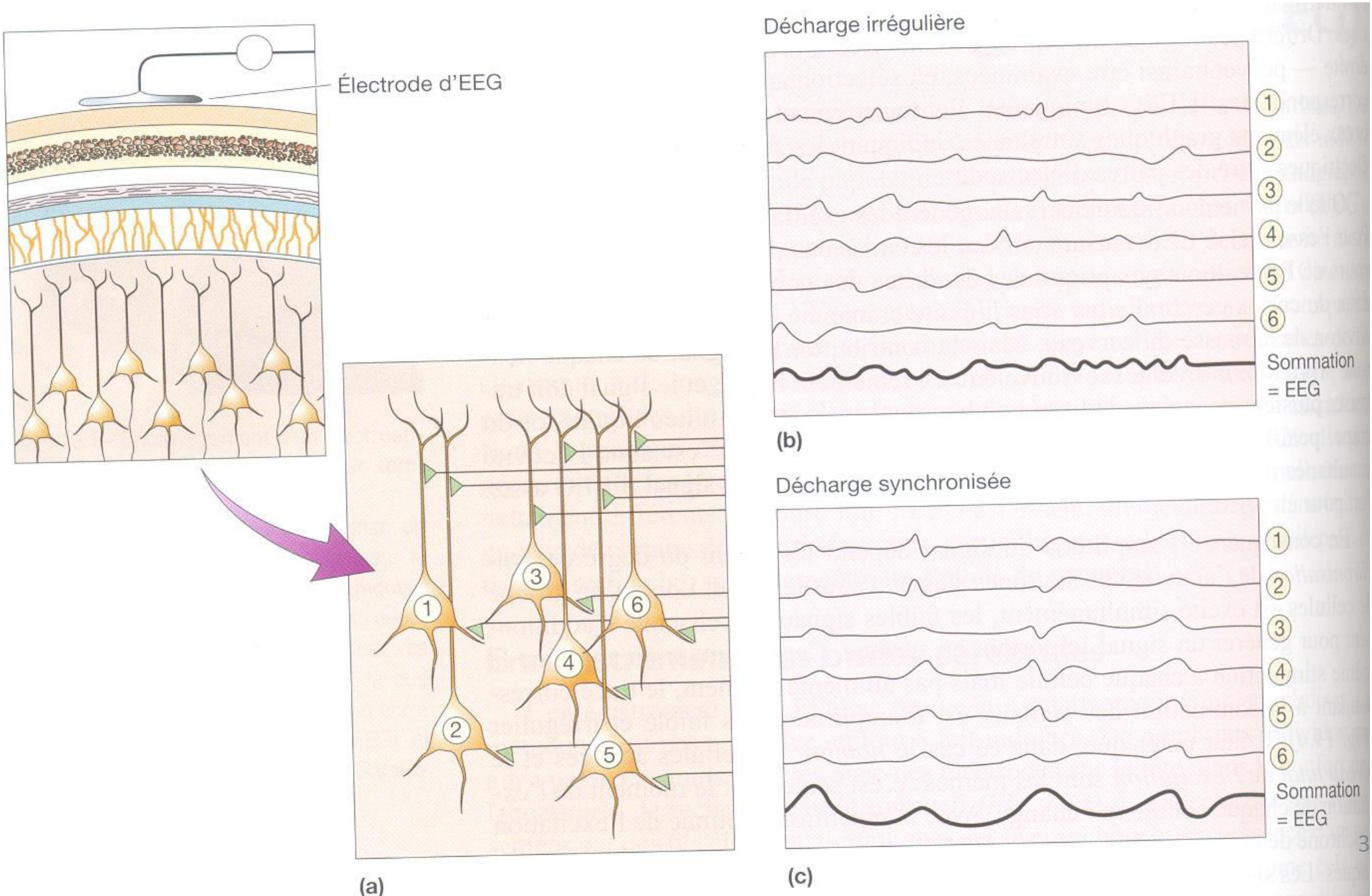

Amplificateur d'EEG
Électrodes d'EEG
Scalp
Crâne
Dure-mère
Arachnoïde
Espace subarachnoïdien
Pie-mère
Synapses actives
Axone afférent
Axone efférent

(par convention on représente parfois la négativité vers le haut)

→Courants intracellulaires (primaires)
→ courants extracellulaires (secondaires)

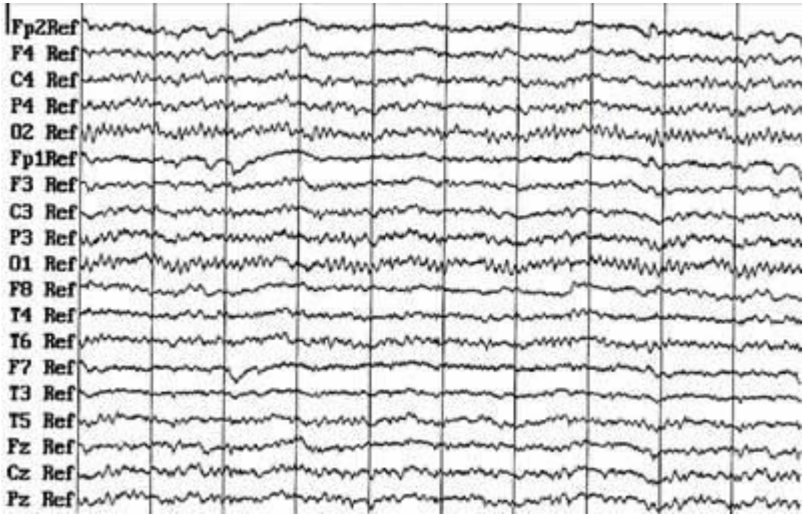
PG58
PG58
PG58
PG58

Synchronisation de l'activité des neurones générant un EEG de forte amplitude


Électrode d'EEG
1
2
3
4
5
6
(a)
Décharge irrégulière
1
2
3
4
5
6
Sommation
= EEG
(b)
Décharge synchronisée
1
2
3
4
5
6
Sommation
= EEG
(c)

C1: le mode spontané

- signal continu

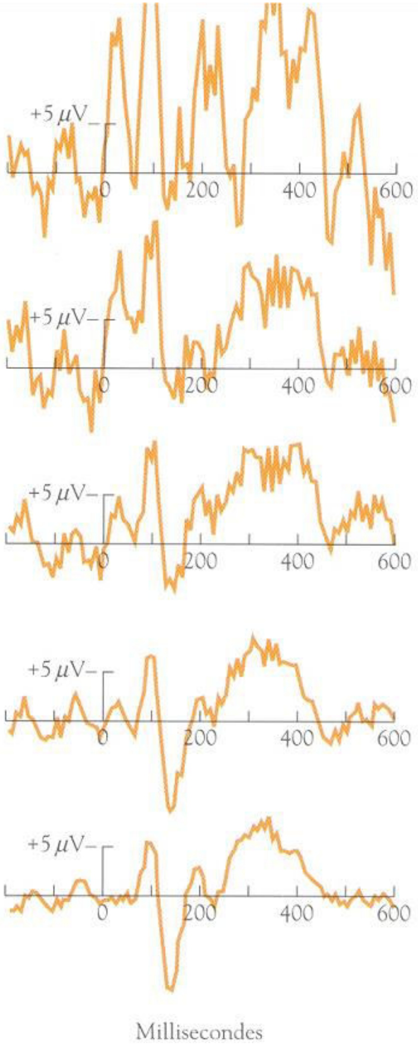

Fp2Ref
F4 Ref
C4 Ref
P4 Ref
O2 Ref
Fp1Ref
F3 Ref
C3 Ref
P3 Ref
O1 Ref
F8 Ref
T4 Ref
T6 Ref
F7 Ref
T3 Ref
T5 Ref
Fz Ref
Cz Ref
Pz Ref

- Observation des rythmes cérébraux (oscillations)

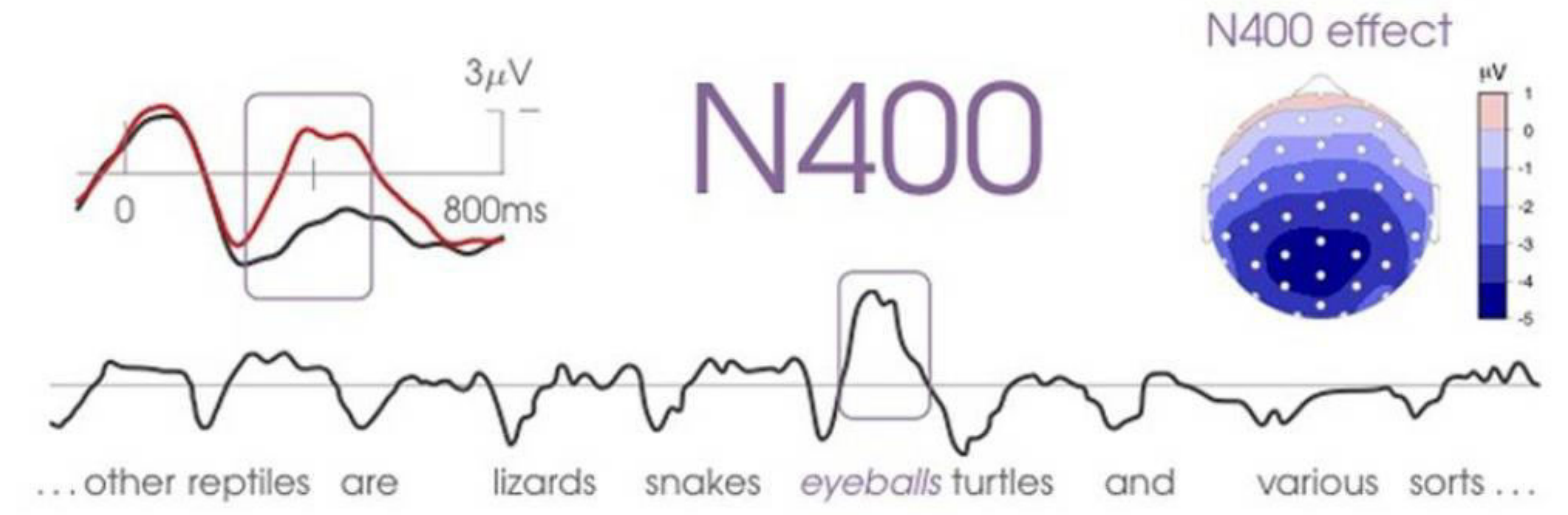
C2- Potentiels évoqués

- Technique de moyennage:
- temps 0 = évènement d'intérêt
- Cet évènement est répété plusieurs
- fois

- Les signaux enregistrés à chaque
- répétition sont moyennés



Chaque courbe montre l'activité électrique moyenne enregistrée pendant une seconde après la présentation du mot visuel, mais le nombre d'essais utilisés pour calculer le moyennage augmente de haut en bas. Avec un seul essai, le bruit est très élevé, mais il est fortement réduit à mesure qu'un plus grand



Kutas et Hillyard, 1980

Applications au langage

La lecture

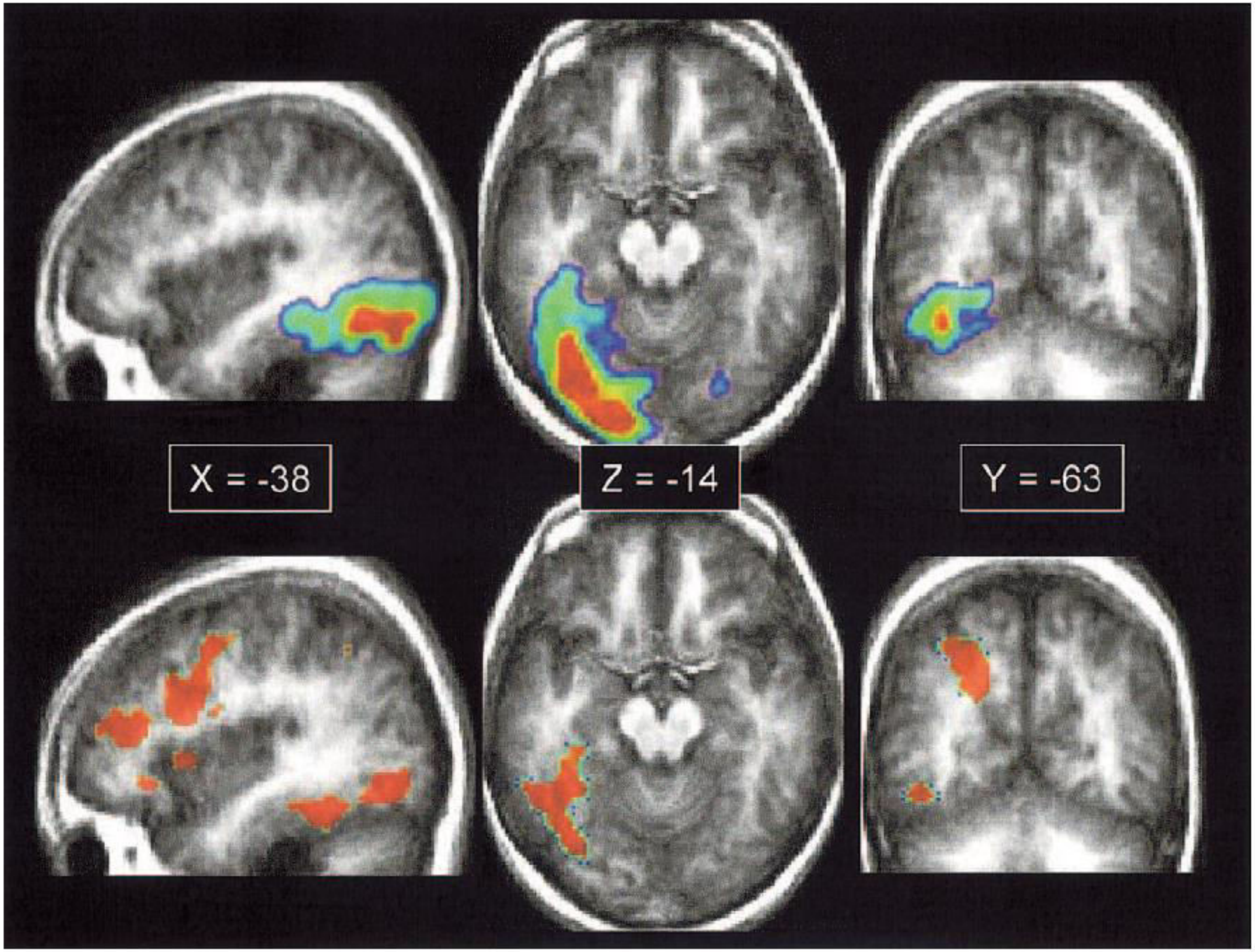
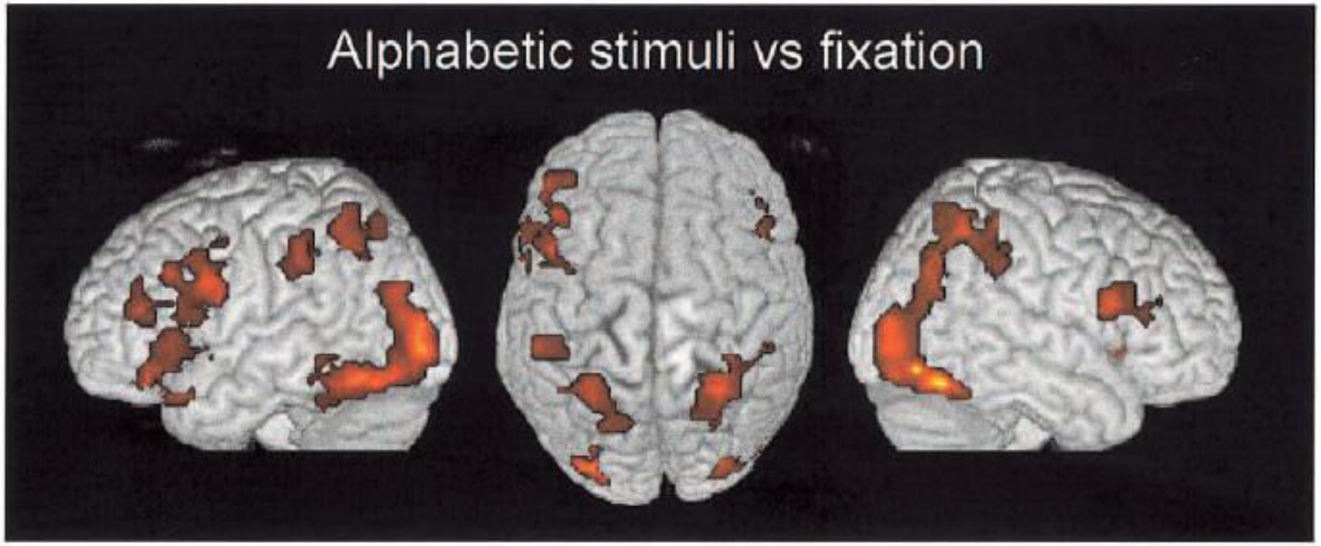
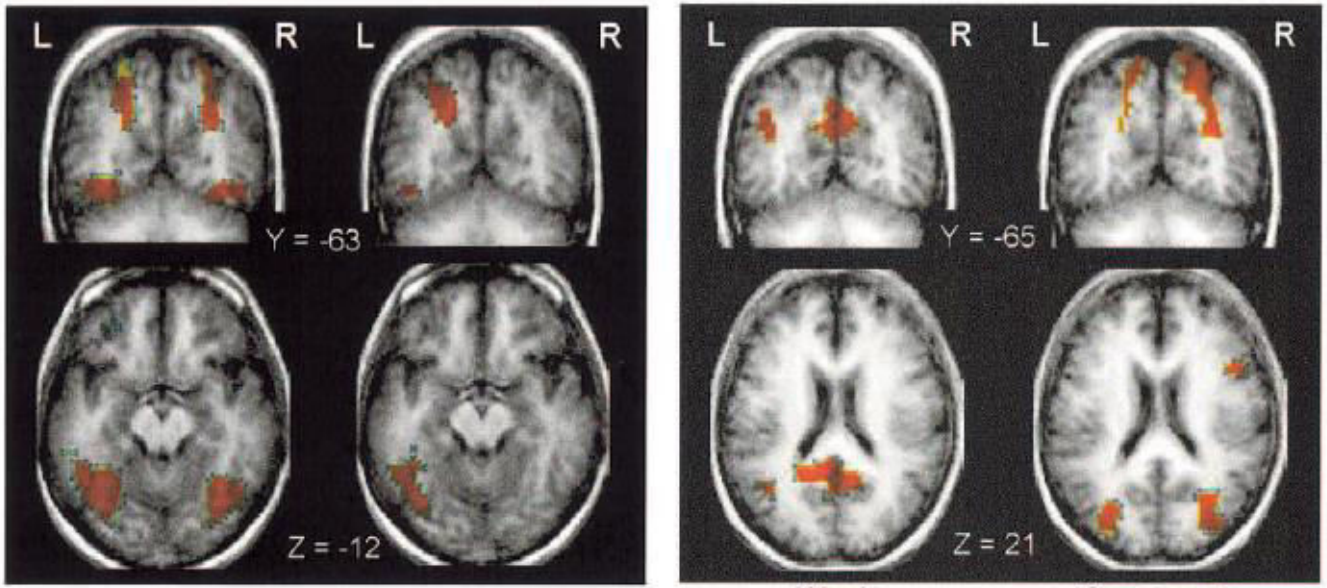


Figure 7. Correlation between the lesion site associated with pure alexia (top) and the left occipito-temporal activation during normal reading (bottom). The normalized lesions from six patients were combined, to compute for each voxel an index proportional to the log likelihood ratio, expressing the conditional link between the existence of a lesion and the occurrence of pure alexia. The critical area follows the left occipito-temporal sulcus, and overlaps neatly with the VWFA, as identified with fMRI in normal subjects by contrasting alphabetic stimuli versus chequerboards.

Cohen, 2003


Alphabetic stimuli vs fixation


L
R
L
R
Y = -63
Z = -12
L
R
L
R
Y = -65
Z = 21

Alphabetic vs fixation

Alphabetic vs chequerboards

Words vs consonants

Consonants vs words

Cohen 2003

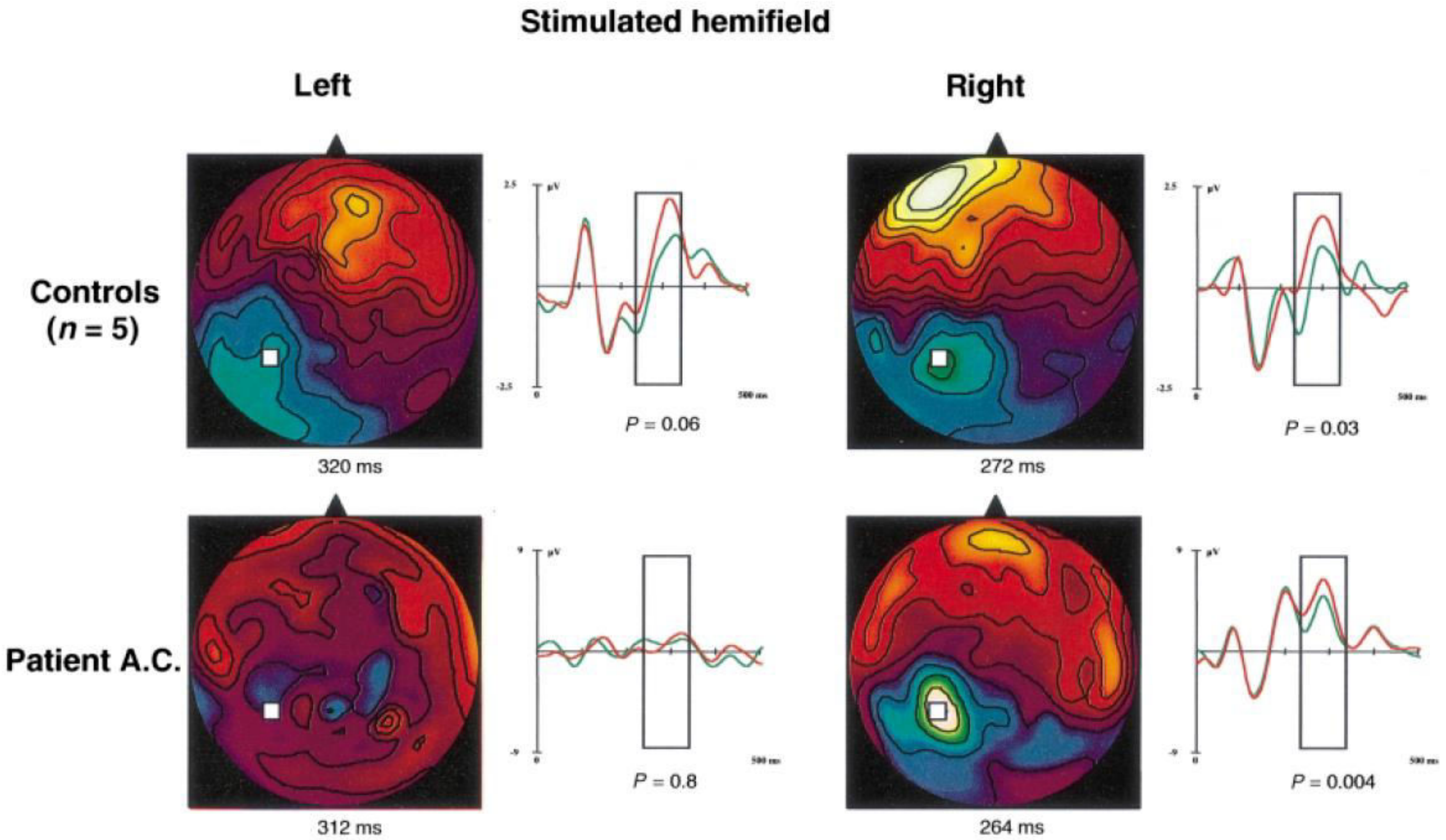
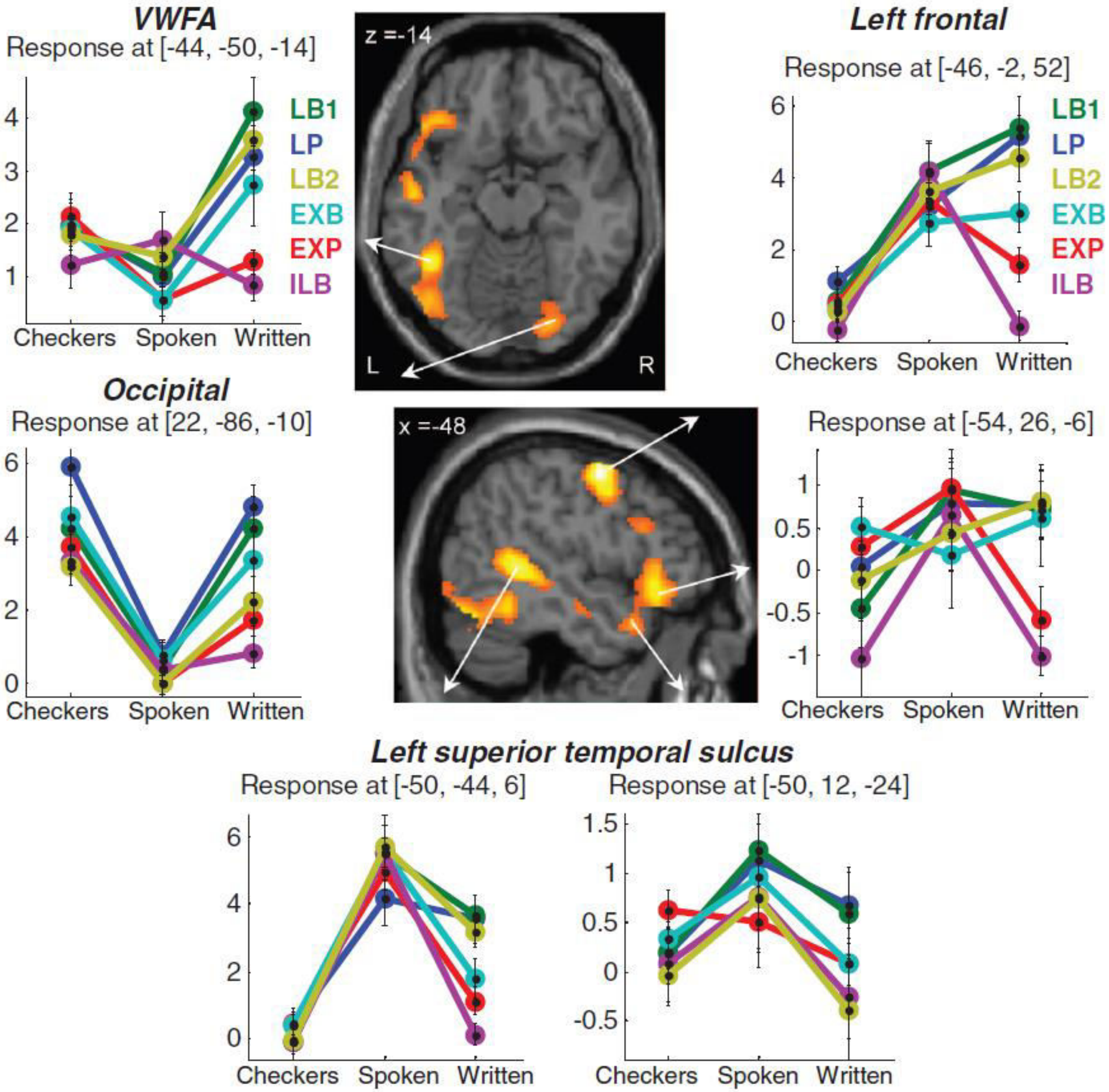


Fig. 7 Topography of the subtracted ERPs to words and non-words, and average potentials recorded on a left temporal electrode (white square) in control subjects and patient A.C. ANOVAs were performed on voltages averaged over a 240–360 ms time-window (rectangles). In controls word stimuli (green curves) elicited a prolonged left temporal negativity relative to non-words (red curves), irrespective of the stimulated hemifield, but only following RVF stimulation in patient A.C.

Cohen et aL, 2000; patient avec lésion calleuse

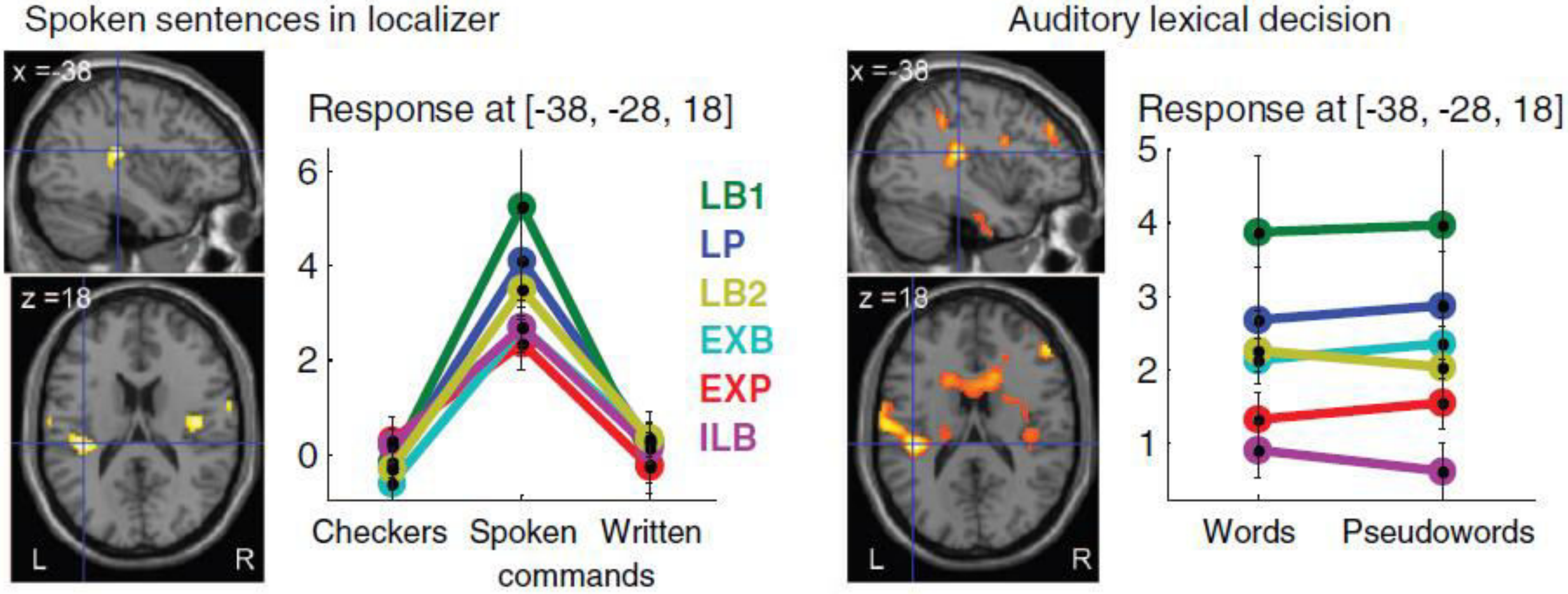
How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language
Stanislas Dehaene, *et al.*
Science **330**, 1359 (2010);
DOI: 10.1126/science.1194140



Sujets lettrés, illettrés, ex-illetrés portugais ou brésiliens

A

Modulated activation of *Planum Temporale* to spoken language



Spoken sentences in localizer

Auditory lexical decision

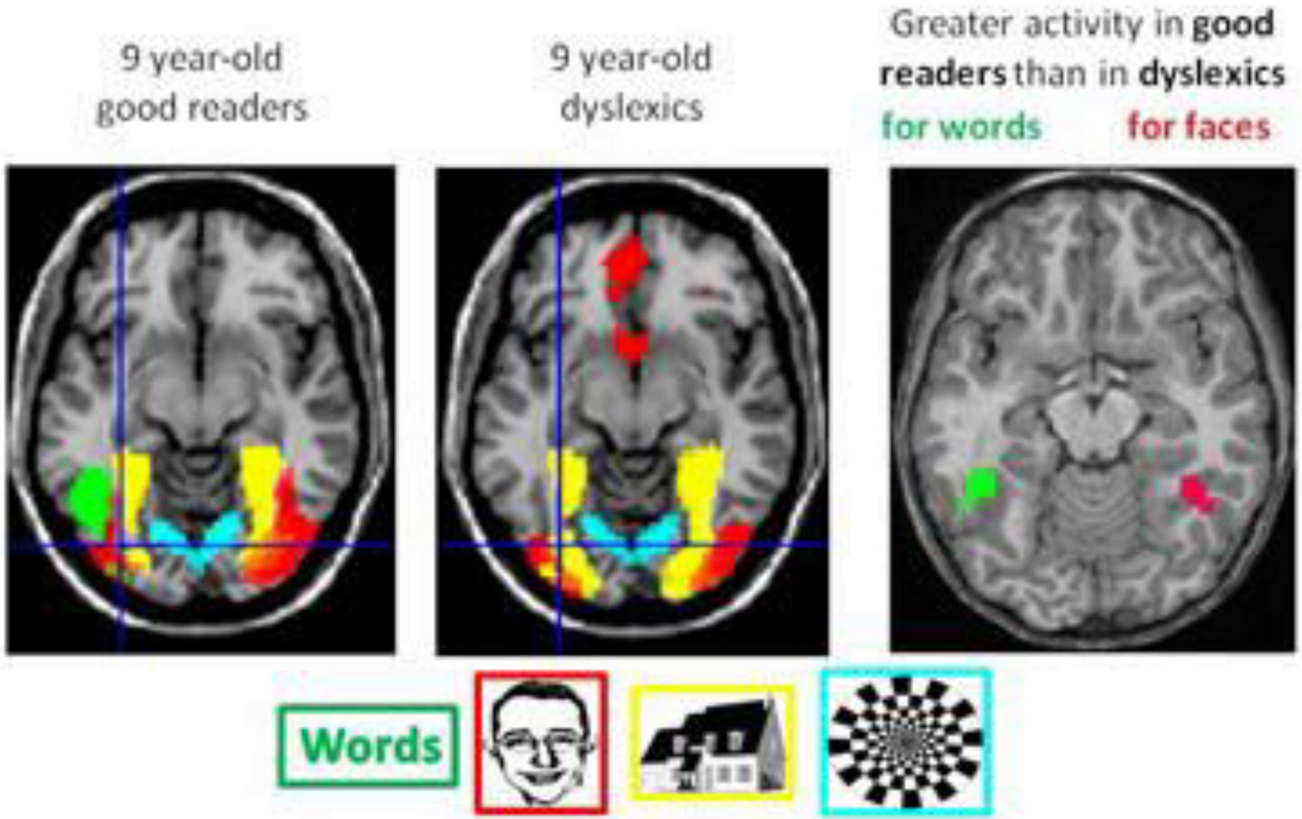
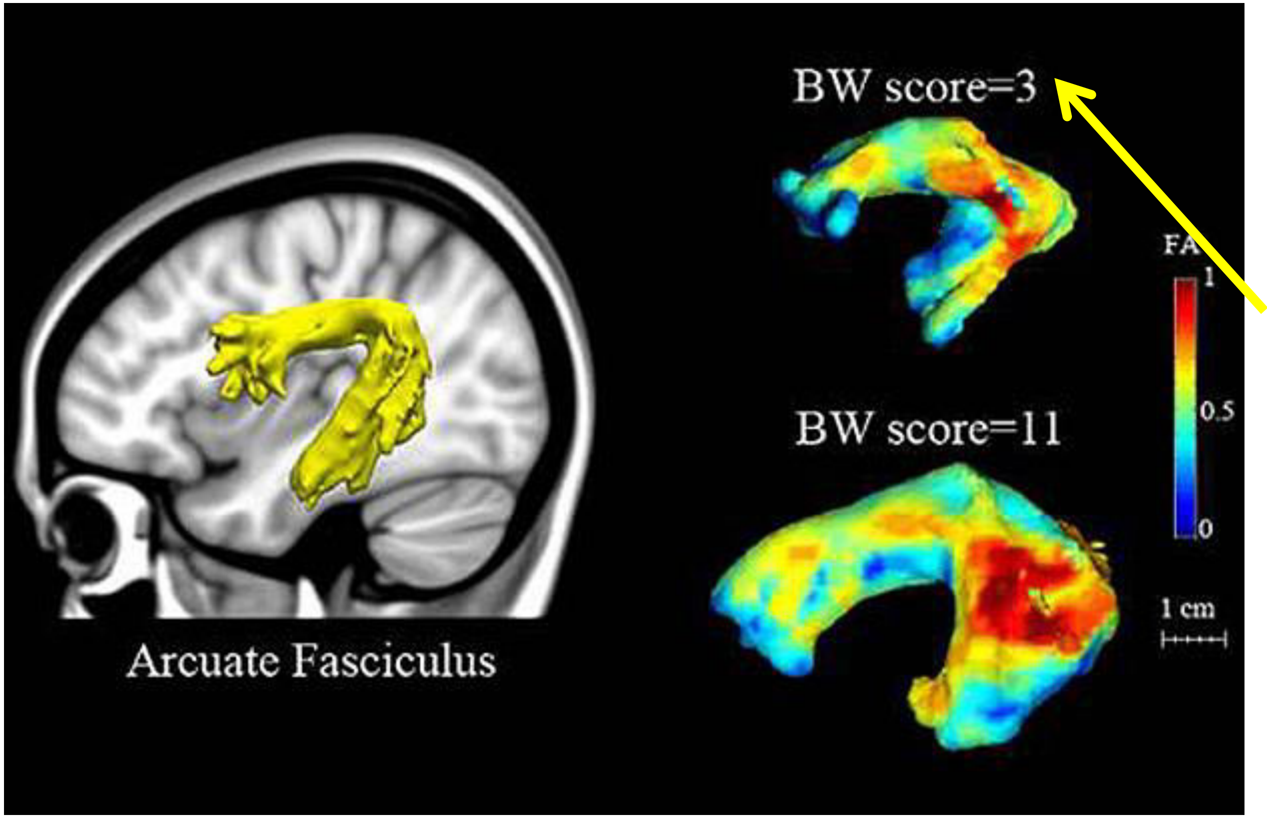

9 year-old
good readers
9 year-old
dyslexics
Greater activity in good
readers than in dyslexics
for words
for faces
Words

Figure 3. *The organization of visual areas differs in good readers and in dyslexics (redrawn from Monzalvo et al., 2012). Good readers show a well-developed visual word form area (shown in green), a region that responds to written words more than to other categories of visual stimuli (faces, places, or checkerboards). Dyslexics show no such specialization for written words, and also exhibit a much weaker activation to faces in the right hemisphere. The evidence suggests that literacy involves a specialization of the visual word form area in the left hemisphere and, as a result, the displacement of face responses to the right hemisphere—two processes that fail to occur in young dyslexics.* - See more at: http://dana.org/Cerebrum/2013/Inside_the_Letterbox__How_Literacy_Transforms_the_Human_Brain/#sthash.ENcXEaBE.dpuf

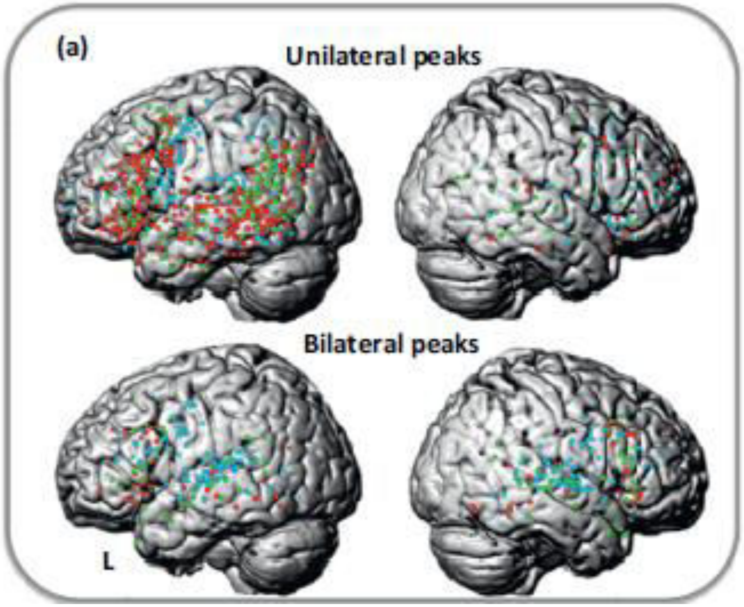


Scores a une tâche verbale

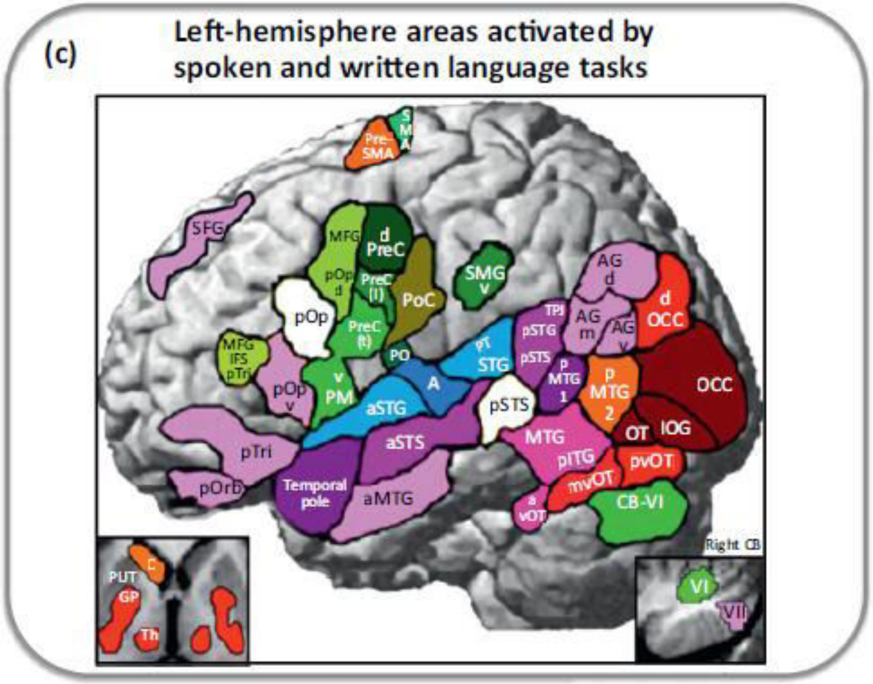
Implicated in dyslexia: The arcuate fasciculus is an arch-shaped bundle of fibers that connects the frontal language areas of the brain to the areas in the temporal lobe that are important for language (left). Researchers found that kindergarten children with strong pre-reading scores have a bigger, more robust and well-organized arcuate fasciculus (bottom right) while children with very low scores have a small and not particularly well-organized arcuate fasciculus (top right). (Zeynep Saygin/MIT)

Origines et latéralisation du langage

Meta-analyses


(a)
Unilateral peaks
Bilateral peaks
L

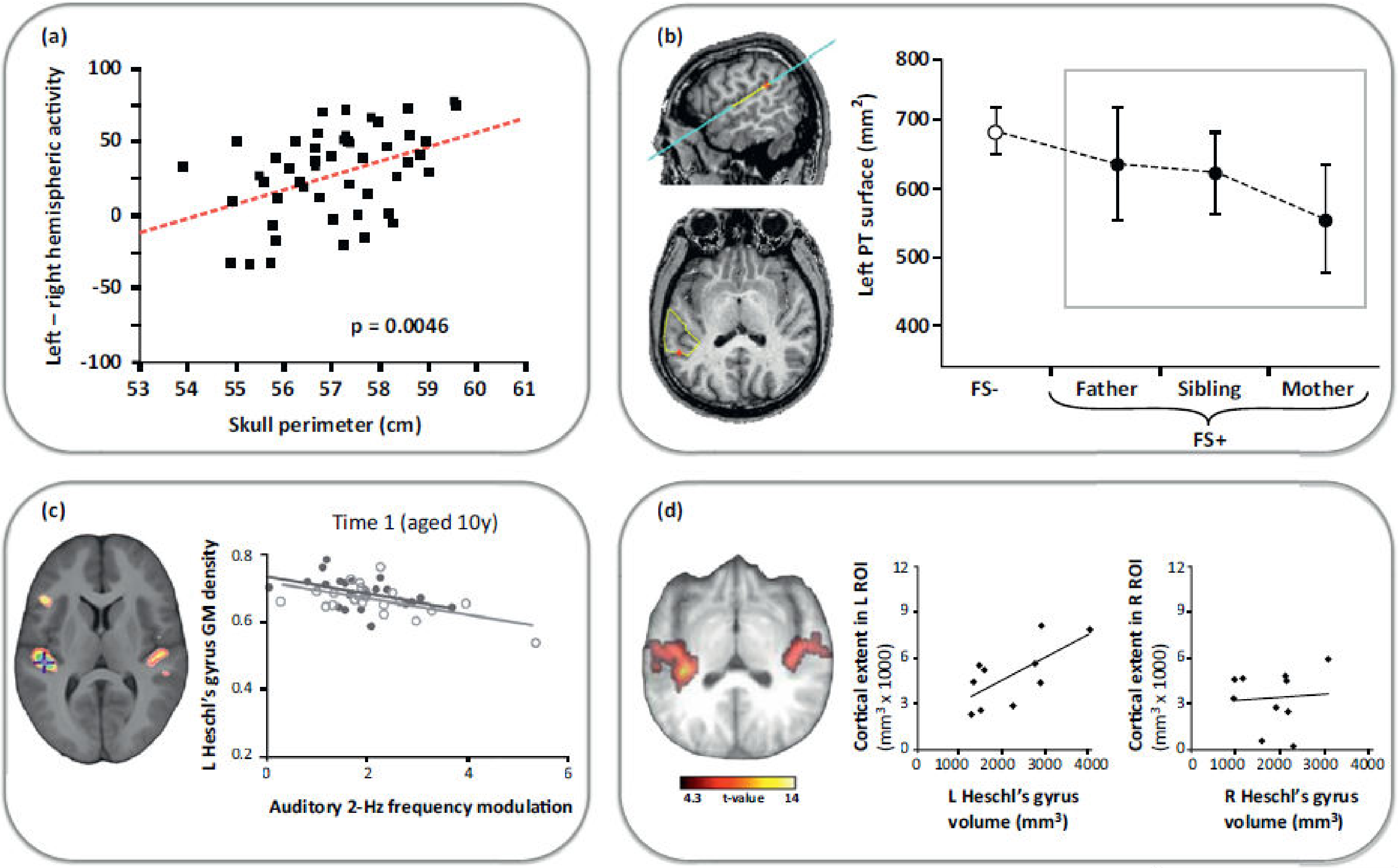
Vigneau et al. 2003


(c)
Pre-SMA
SMA
SFG
MFG
d PreC
pOp d
PreC (l)
PoC
SMG v
pOp
PreC (t)
MFG IFS pTri
pOp v
v PM
PO
A
pT STG
aSTG
TPJ
pSTG
pSTS
AG d
AG m
AG v
d OCC
OCC
p MTG 1
p MTG 2
pSTS
MTG
pITG
OT
IOG
pvOT
mvOT
a vOT
CB-VI
aSTS
pTri
pOrb
Temporal pole
aMTG
Right CB
VI
VII
PUT
GP
C
Th

Left-hemisphere areas activated by spoken and written language tasks

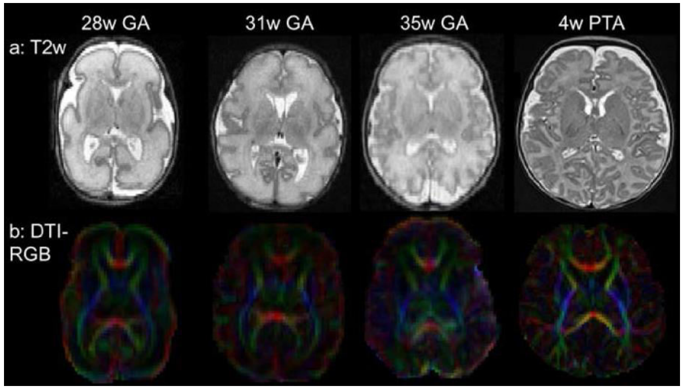
Price , 2012

Herve et al., 2013

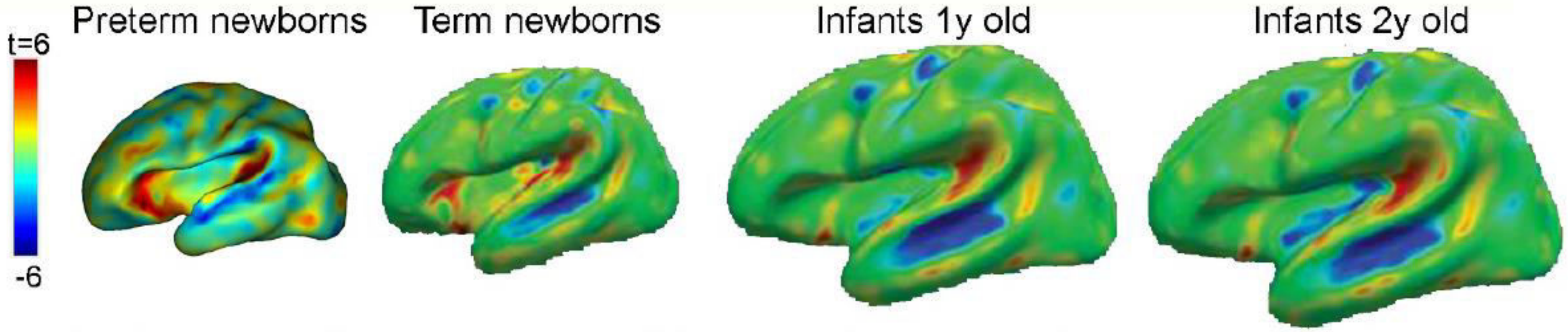


TRENDS in Cognitive Sciences

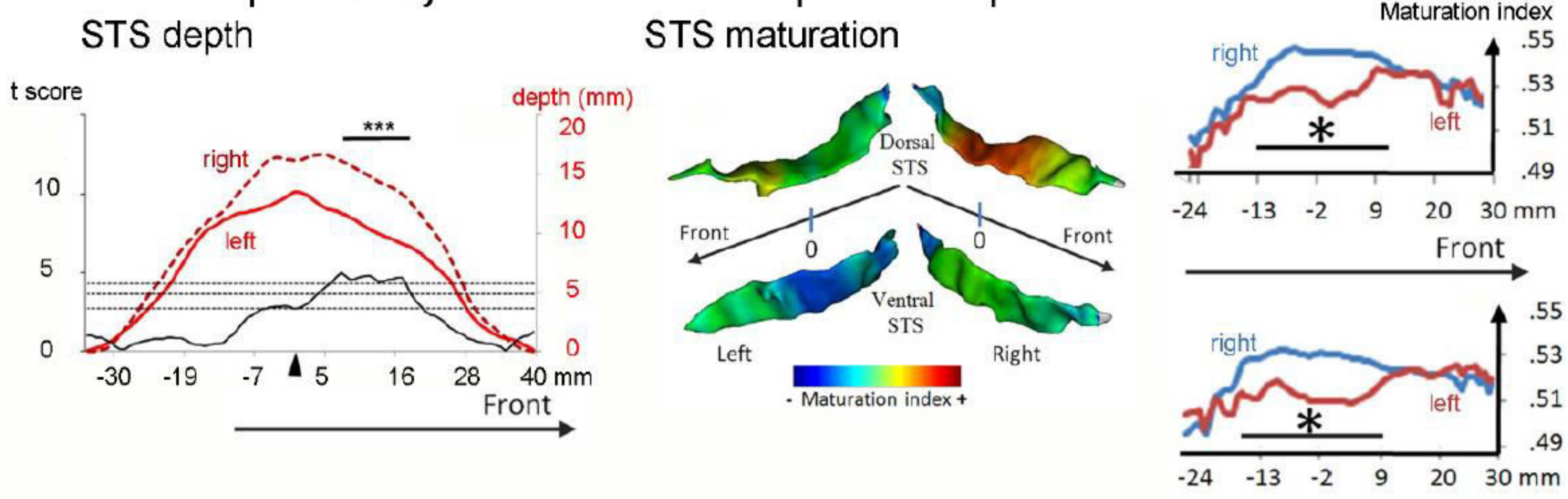
Figure I. Examples of anatomical factors explaining part of the inter-individual variability of the left HS for language. **(a)** Correlation between the functional hemispheric asymmetry index and head size indexed by skull perimeter during story listening compared to a story in a language unknown to the participants. The larger the brain of the right-handed participants, the stronger the leftward asymmetry. Reproduced, with permission, from [85]. **(b)** Familial sinistrality (FS) has a significant impact on the left planum temporale (LPT) surface area. Subjects with a left-handed first degree relative (FS+) have a smaller LPT surface area than subjects who do not, independent of their handedness. Note that subjects with left-handed mothers have the smallest LPT surface area. Reproduced, with permission, from [83]. **(c)** Correlation between gray-matter density in Heschl's gyrus and 2-Hz frequency modulation detection threshold at age 10 overlaid on a T1-weighted average image template of participants at age 11.5. Colored areas represent the value of the *t* statistic for voxels where gray-matter density significantly correlates with auditory FM threshold score; the peak in the left Heschl's gyrus is marked with a cross. Reproduced, with permission, from [88]. **(d)** Left: group average covariation map during temporal processing of sounds; middle: correlation between left Heschl's gyrus volume and the extent of temporal-related activity within left Heschl gyrus; right: absence of correlation between activation and right Heschl's gyrus volume. Reproduced, with permission, from [86].


28w GA
31w GA
35w GA
4w PTA
a: T2w
b: DTI-RGB

a. Whole-brain analyses of inter-hemispheric asymmetries

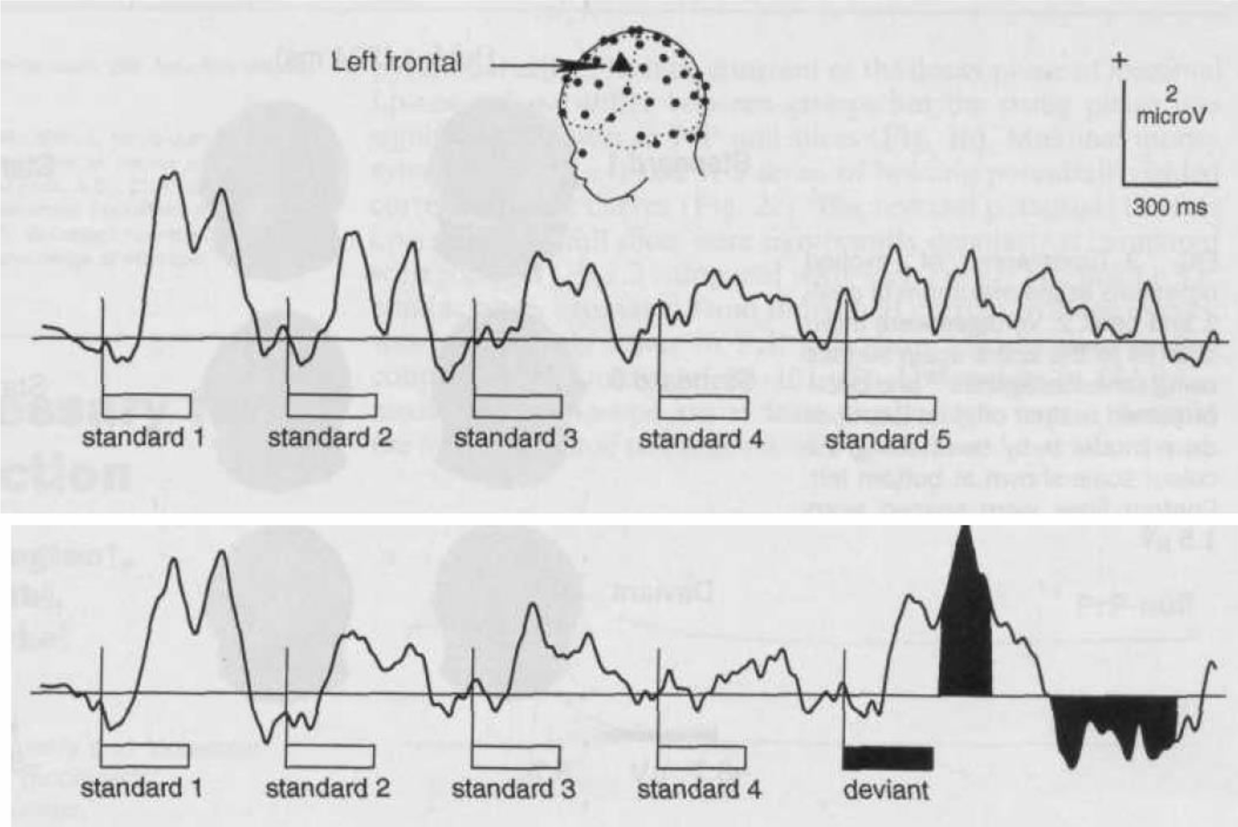

Preterm newborns
Term newborns
Infants 1y old
Infants 2y old
t=6
-6

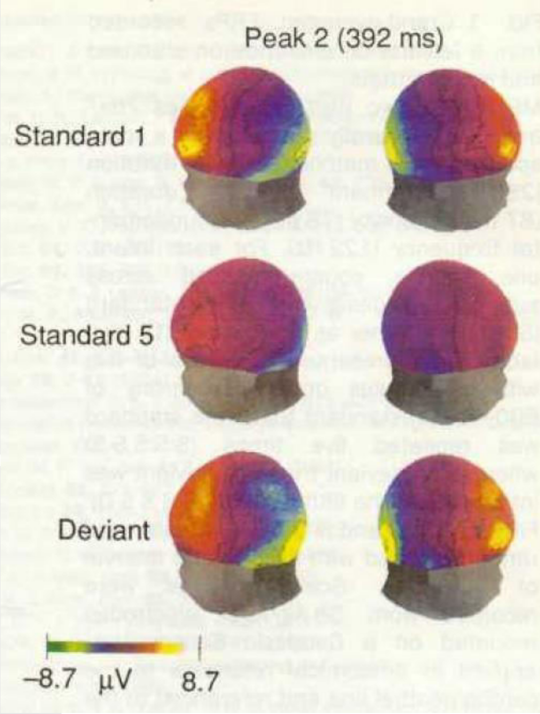
b. Inter-hemispheric asymmetries of the superior temporal sulcus



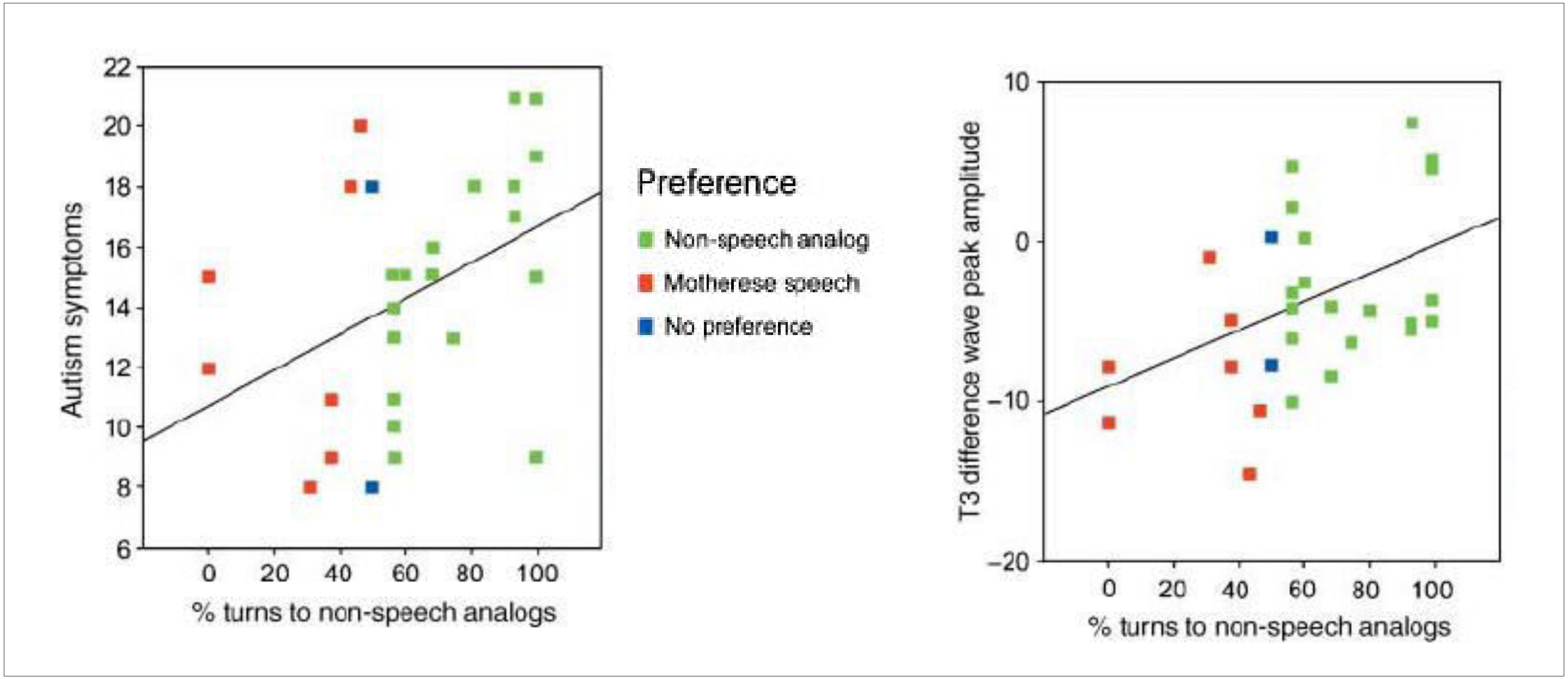
Exemple: le langage chez les bébés

- Dehaene-Lambertz (1994)



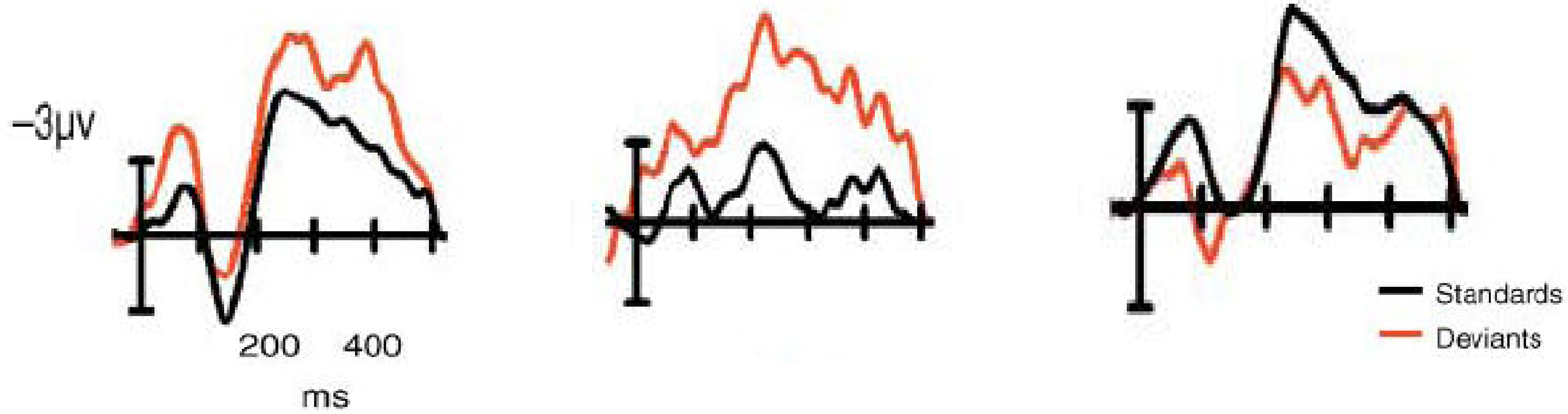

Peak 2 (392 ms)
Standard 1
Standard 5
Deviant
−8.7 μV 8.7

Les potentiels évoqués (ERP) des enfants autistes qui ont une préférence pour les sons n’appartenant pas au langage sont altérés



Khul et al. 2005, Developmental Sciences

Absence de MMN (*mismatch negativity* – négativité de discordance) chez les enfants autistes préférant des sons qui ne sont pas issus du langage (enregistrements dans le lobe temporal)

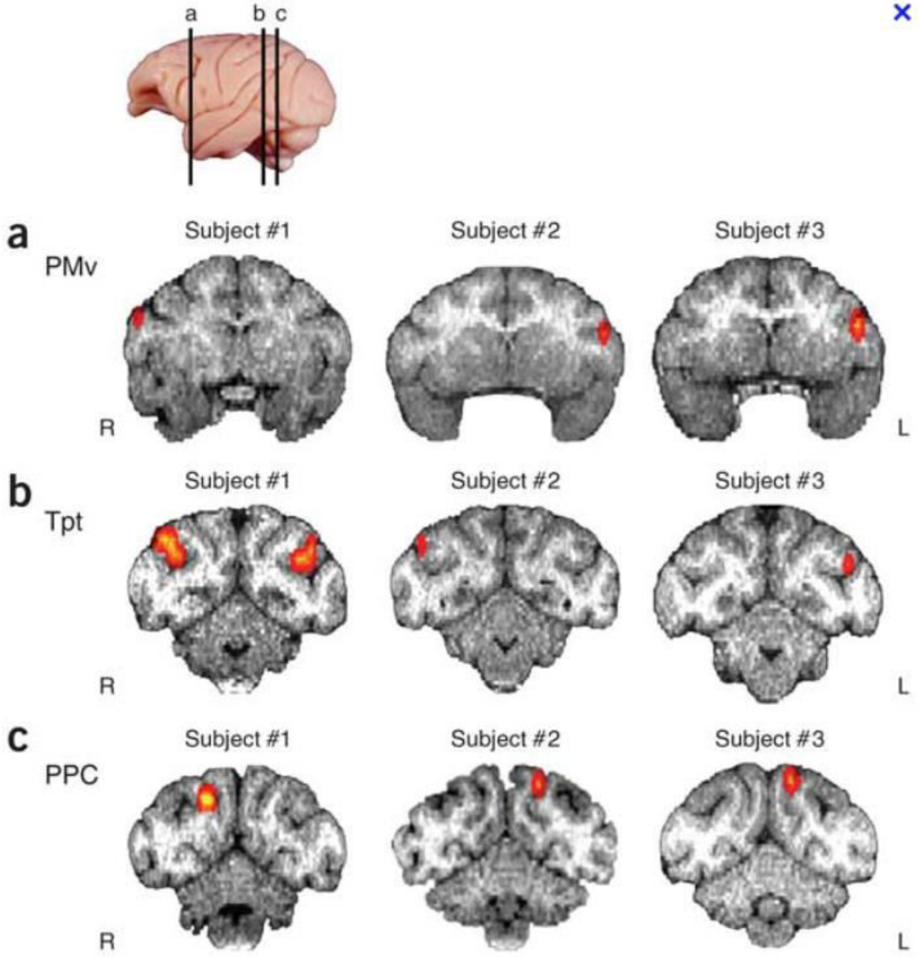


Sujet contrôle

Enfant autiste préférant le langage

Enfant autiste ne préférant pas le langage

Khul et al. 2005, Developmental Sciences


a
b
c
a
PMv
Subject #1
Subject #2
Subject #3
R
L
b
Tpt
Subject #1
Subject #2
Subject #3
R
L
c
PPC
Subject #1
Subject #2
Subject #3
R
L

[Species-specific calls activate homologs of Broca's and Wernicke's areas in the macaque]()
Ricardo Gil-da-Costa, Alex Martin, Marco A Lopes, Monica Muñoz, Jonathan B Fritz & Allen R Braun
Nature Neuroscience 9, 1064 - 1070 (2006)