

Imagerie cérébrale, bilinguisme et apprentissage des langues

Christophe Pallier

Unité de neuroimagerie cognitive INSERM U562

Service Hospitalier Frédéric Joliot, CEA, Orsay

Questions

- Les deux langues d'un bilingue utilisent-elles des aires cérébrales identiques ou distinctes ?
- L'exposition précoce à une langue laisse-t-elle des traces indélébiles dans le cerveau ? (hypothèse de la période critique)
- Les différences interindividuelles dans l'apprentissage d'une seconde langue ont-elles des corrélats cérébraux ?
- Y-a-t-il des différences structurelles entre les cerveaux bilingues et monolingues ?

La première et la seconde langue recrutent-elles des réseaux cérébraux identiques ou différents ?

Perte du langage suite à des accident cérébraux:

Dès le XIXe siècle, des neurologues avaient décrit différents cas de récupération chez les aphasiques bilingues (Pitres, 1895).

La récupération des deux langues peut être:

(a) parallèle (b) successive (c) sélective

Le cas de récupération sélective --- où seule une langue est récupérée --- suggère des représentations corticales (au moins partiellement) distinctes.

Inhibition par stimulation électrique corticale directe:

Des neurochirurgiens ont mis en évidence, chez certains bilingues, des zones dont l'inactivation pouvaient bloquer sélectivement la production de mots en L1 ou L2.

Premières études d'imagerie fonctionnelle du bilinguisme.

Méthodes: 1. Tomographie par émission de positons (TEP)
2. Imagerie fonctionnelle par résonance magnétique (IRMf)

Répétition de mot, Génération de mots, Traduction.	Bilingues anglais/français. (Montreal)	TEP.	(Klein et al. 1994, 1995)
Décision sémantique	Bilingues anglais/espagnol.	IRMf	(Illes et al., 2001).
Dénomination d'images.	Bilingues anglais/espagnol.	IRMf.	(Hernandez et al., 2001)
Répétition de mots, Génération de mots.	Bilingues anglais/chinois.	TEP.	(Klein et al, 1999)
Complétion de syllabe, lecture de phrases (en chinois ou anglais).	Bilingues anglais/mandarin. (singapour)	IRMf.	(Chee et al., 1999)

Ces études ont montré des activations essentiellement similaires pour la première et la seconde langue.

Décision sémantique chez des bilingues anglais/espagnols

(Illes, Francis, Desmond, Gabrieli, Glover, Poldrack, Lee, Wagner (1999), *Brain & Language*)

8 sujets bilingues :

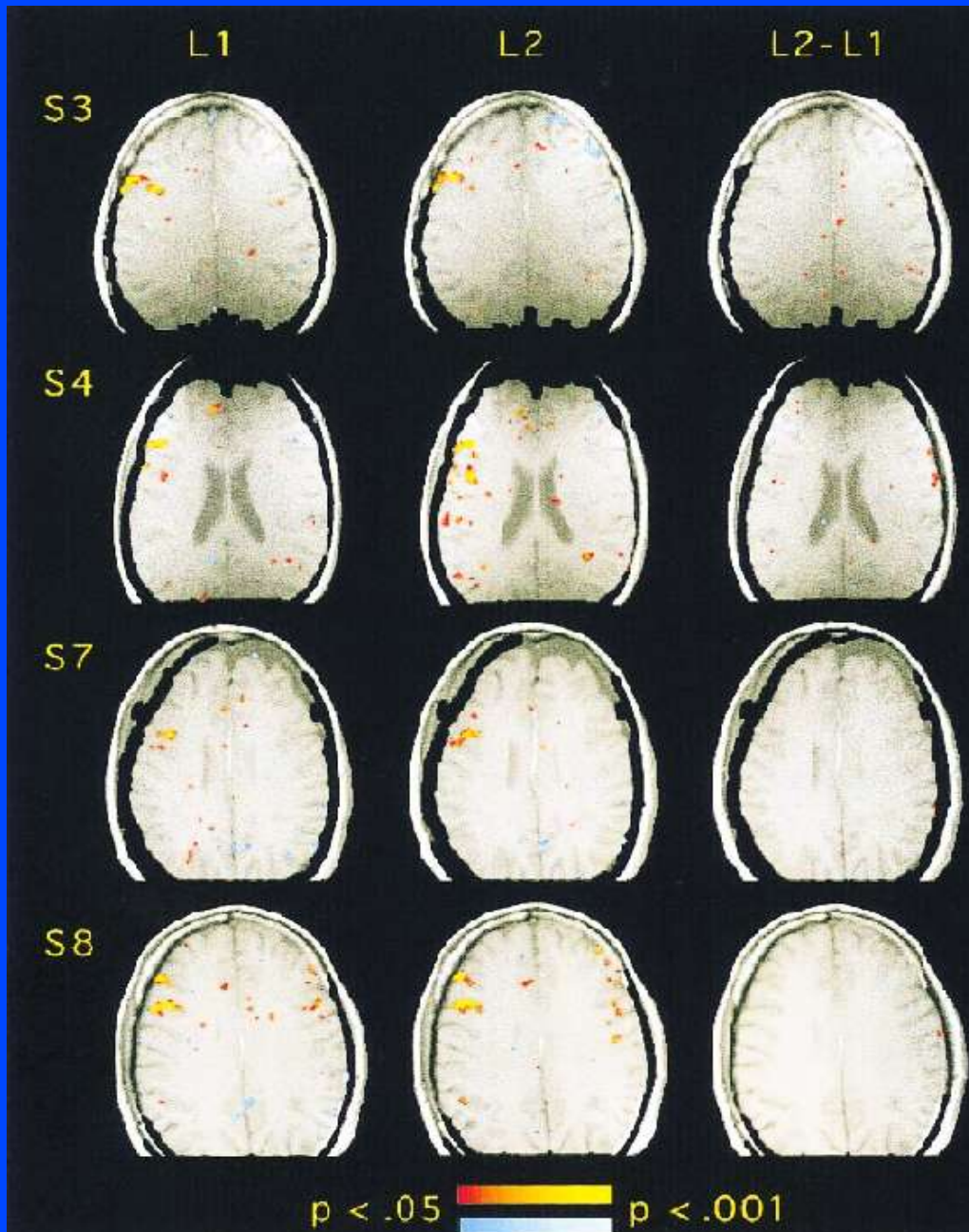
TABLE 2
Language Background Characteristics of Participants

ID No.	Sex	Age	L1	Age L2 exposure	Age L2 fluent	L1 fluency	L2 fluency	Number of other languages
S1	F	28	English	12	20	10	8.8	0
S2	M	28	Spanish	24	27	10	8	0
S3	F	24	English	13	18	10	9.3	0
S4	F	22	Spanish	11	12.5	10	10	1
S5	F	29	Spanish	12	14	10	10	1
S6	F	36	English	10	17	10	9	2
S7	F	28	Spanish	11	15	10	9.8	3
S8	M	32	Spanish	5	13	10	10	0

Stimuli: mots en espagnols ou anglais

Contraste: décision sémantique (concret vs. Abstrait) – décision upper/lower case.

Résultat: pas de différence entre L1 et L2.



Deux remarques à propos de ces études

- 1) Dans ces études, les sujets manipulaient des mots isolés. Ils ne mettaient pas en action tous les niveaux de traitement du langage. Par exemple, comprendre ou produire des phrases demande plus de ressources linguistiques et cognitives.
- 2) Les bilingues avaient tous un haut niveau dans les deux langues.

Variabilité anatomique dans les représentations corticales de L1 et L2 chez des bilingues “déséquilibrés” (Dehaene et al. *NeuroReport*, 1997)

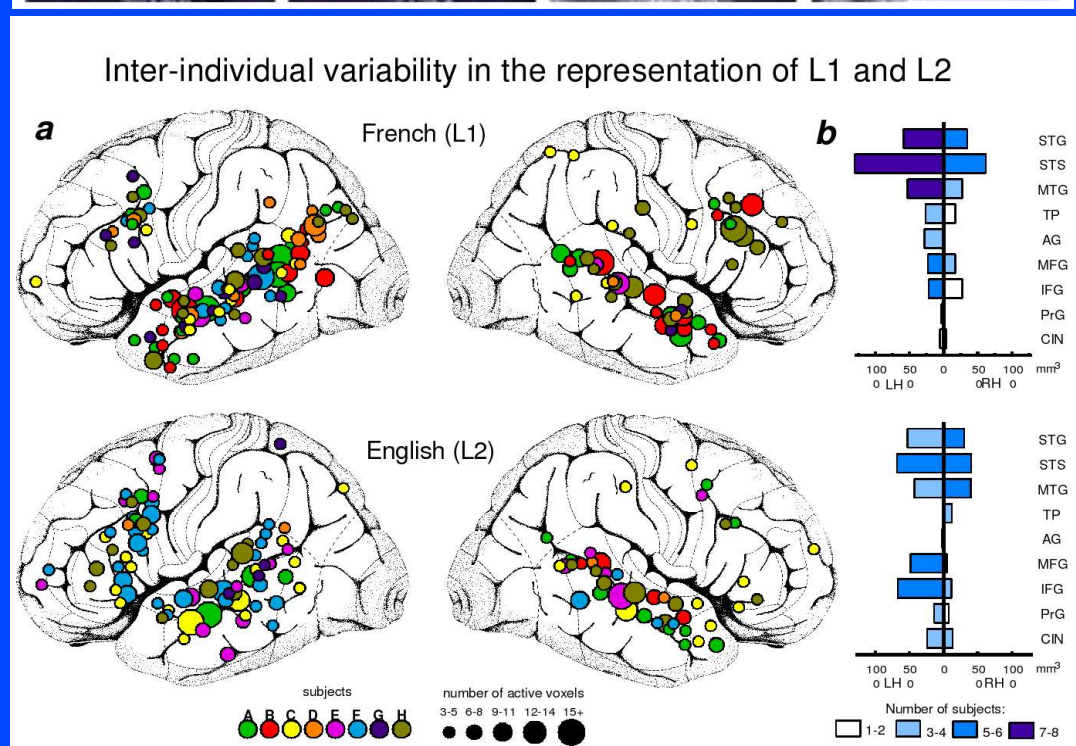
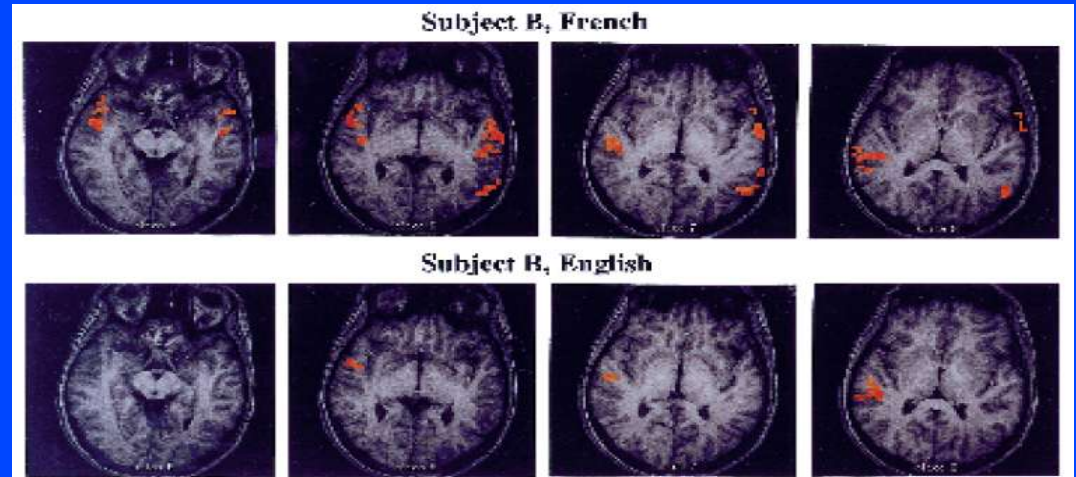
Participants: 8 français ayant appris l'anglais à l'école et le parlant avec un niveau modéré.

Tâche: Ecoute de phrases en français ou anglais.

Méthode: IRMf, permettant des analyses individuelles

Résultats:

- Les activations engendrées par L2 ne se recouvrent pas entièrement avec L1.
- Elles sont plus variables (spatialement) d'un individu à l'autre, que celles provoquées par L1.



Niveau de maîtrise ou âge d'acquisition de L2 ?

(Perani et al. (1998) The bilingual brain: proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*.)

Participants: deux groupes de sujets parlant L2 avec un haut niveau:

Italiens ayant appris l'anglais après l'âge de dix ans mais ayant un haut niveau en L2.

Catalan/Espagnols ayant appris les deux langues dès le plus jeune âge

Résultat:

L2 active les mêmes régions que L1, dans les deux groupes.

Conclusion:

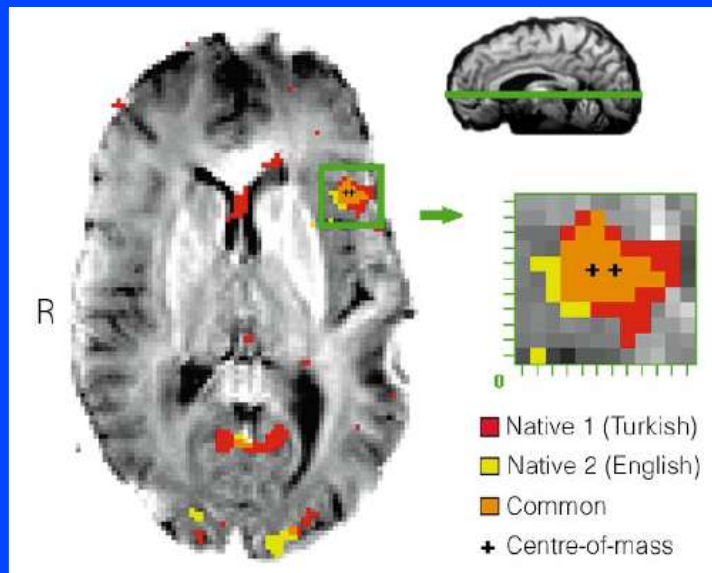
Il semble que ce soit le niveau de maîtrise de L2 plutôt que l'âge d'acquisition qui prédise le recouvrement entre L1 et L2 (du moins en compréhension de phrases)

Production de phrases en L1/L2 et âge d'acquisition (Kim et al. *Nature*, 1997)

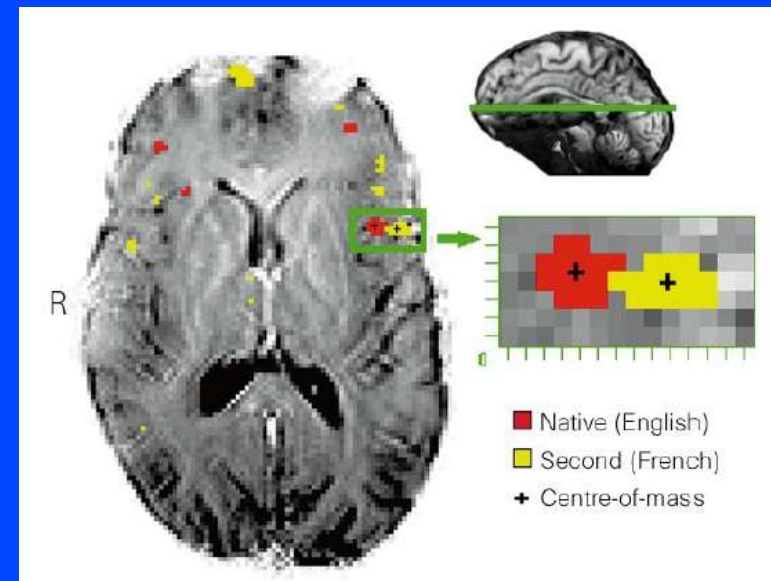
Participants: bilingues précoces ou tardifs

Tâche: production de discours “interne”, en L1 ou L2 (contrôle = repos)

Early bilingual:



Late bilingual:



Remarques:

- les bilingues sont décrits comme de étant de haut niveau en L2, mais il n'y a pas de test formel.
- La tâche est “naturelle”, mais très peu contrôlée.
- D'autres études utilisant des tâches plus contrôlées (e.g. Lecture), ne reproduisent pas ce résultat.

Effet du niveau en L2 sur la distance entre les représentations de L1 et L2

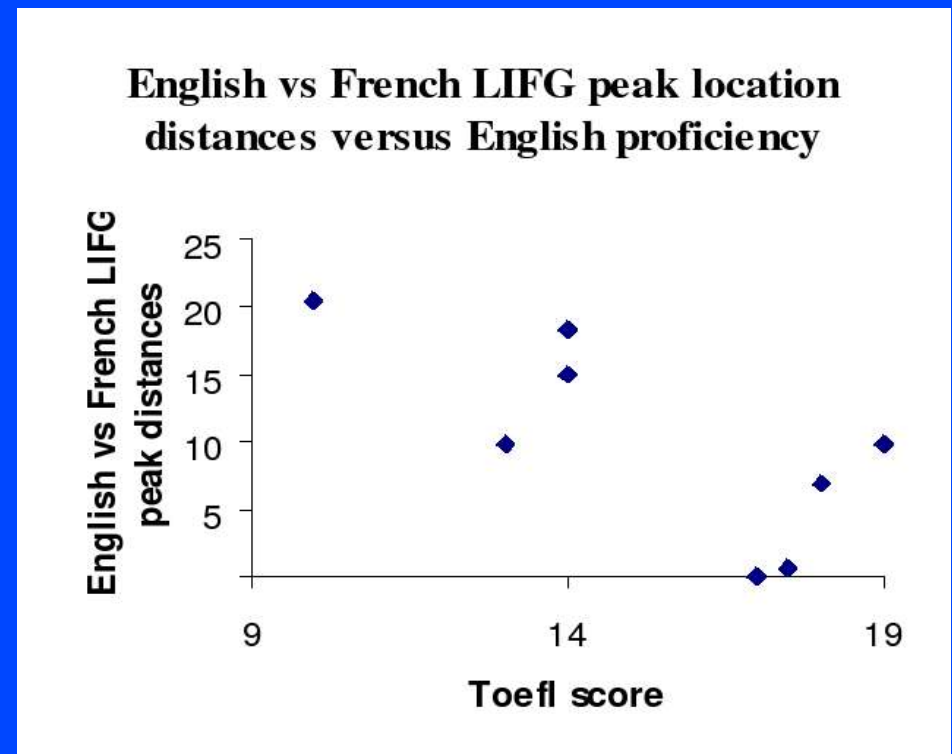
Golestani, Alario et Pallier (*Neuropsychologia*, 2006)

Sujets: 10 étudiants français de niveaux variable en anglais (toefl entre 10 et 20)

Stimuli: liste de mots (français ou anglais) affichés à l'écran.

Tâche: génération de phrases (versus lecture simple)

Résultat: on observe un recouvrement des régions frontales recrutées par L1 et L2, mais la distance entre les maxima d'activation à L1 et L2 corrèle avec le score au TOEFL.



Conclusion provisoire sur le recouvrement des représentations cérébrales de L1 et L2

A l'heure actuelle, les études d'imagerie cérébrale du cerveau bilingue suggèrent que plus L1 et L2 sont bien maîtrisées, plus les aires qu'elles utilisent se “recouvrent”.

Il n'y a pas (encore?) de démonstration totalement convaincante en TEP ou fMRI qu'il y ait un effet d'âge d'acquisition qui ne soit pas confondu avec un effet de niveau.

Il faut garder à l'esprit les limites actuelles de l'IRMf

Résolution spatiale de l'ordre de 3 mm x 3 mm. En “zoomant”, on pourrait découvrir des différences entre L1 et L2 qui n'apparaissent pas actuellement.

Résolution temporelle de l'ordre de la seconde. Il pourrait y avoir des différences dans la dynamique temporelle des activations neuronales qui différencient L1 et L2.

Problème de l'interprétation du signal mesuré par l'IRM: excitation ou inhibition ?

L'hypothèse de la période critique pour l'acquisition du langage

La capacité à apprendre une langue diminuerait avec l'âge car les circuits de l'apprentissage du langage “deviendraient moins plastiques” (Penfield, 1959; Lenneberg, 1968)

“Language acquisition circuitry is not needed once it has been used. It should be dismantled if keeping it around incurs any cost [...] Greedy neural tissue lying around beyond its point of usefulness is a good candidate for the recycling bin.”

Pinker, 1994, *The Language Instinct*.

Effet d'age d'acquisition de la première langue

- Cas des “enfants-loups” (Gaspard Hauser, Victor de l'Aveyron, Genie...)
- Apprentissage de la langue des signes (cf. Mayberry & Eichen 1989; Newport, 1990)

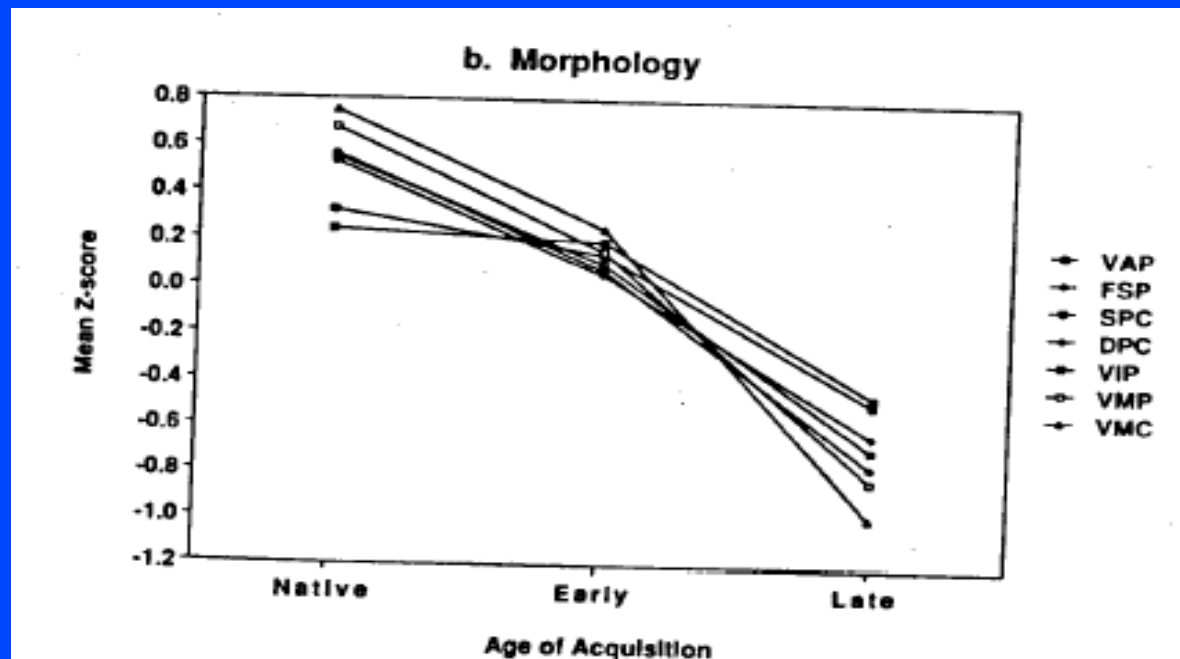
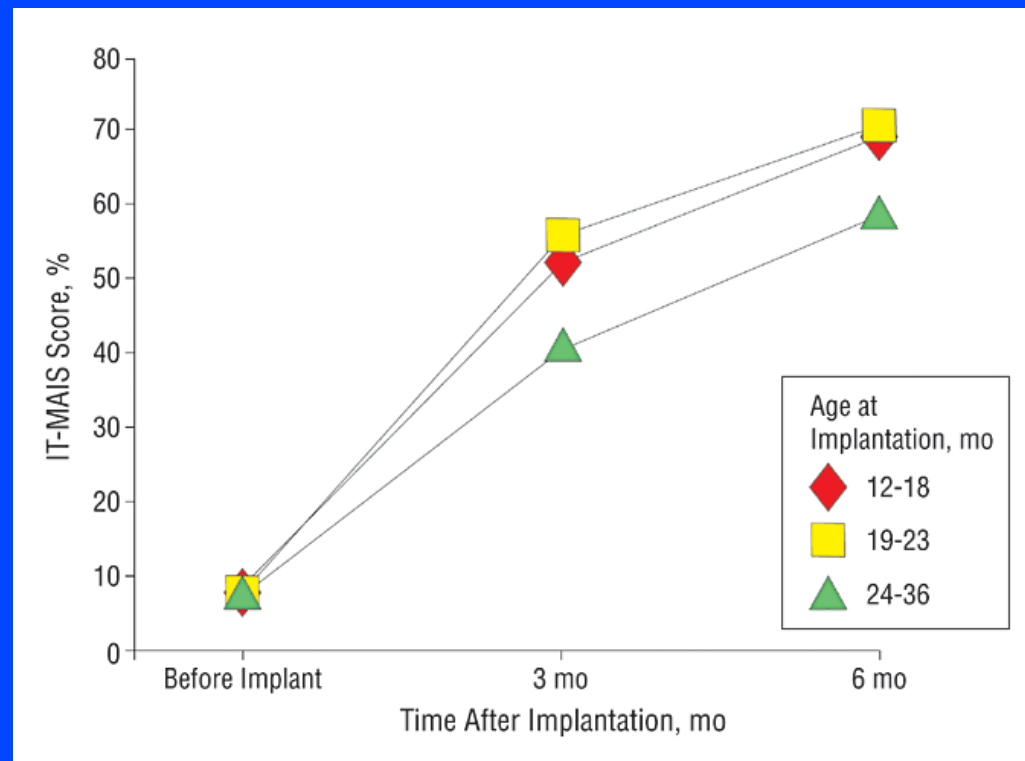


Figure 1b. Z-scores on 7 tests of ASL morphology for Native, Early, and Late Learners of ASL.

Effect of age of cochlear implantation on auditory skills

- Data from 117 congenitally-deaf children who received the implants.



(McConkey Robins et al, (2004). Arch. Otolaryngology.)

Effet de la “non-exposition” au langage dans les premières années de vie.

(Mayberry, Lock & Kazmi (2002). *Nature*)

Comparison of two groups of adults who learned ASL

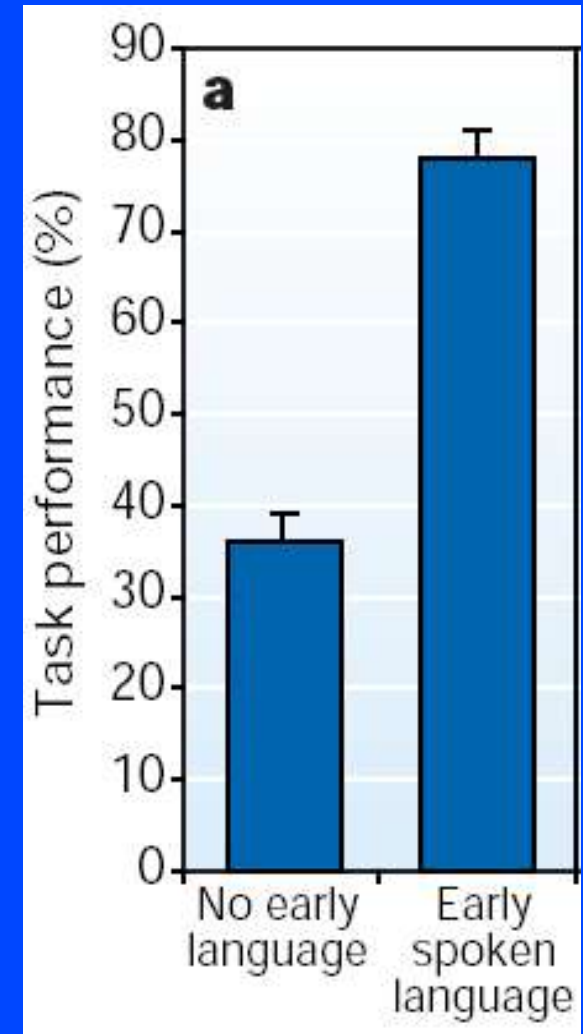
between 9 and 15 years of age:

1. adults born deaf
2. adults born hearing who had learned English before becoming deaf.

Task: ASL sentence recall

Conclusion: “Individuals who are born deaf and isolated from language during early childhood grow up being linguistically dysfunctional”

[Note that proficiency in ASL is not simply related to age of acquisition. A purely maturational CP cannot explain these results.]



Il existe aussi un effet d'âge d'acquisition pour la seconde langue.

Effet de l'age d'acquisition sur l'accent étranger en L2

Scores de prononciation d'immigrants italiens au Canada (Flege, Munro & MacKay, *JASA*, 1995)

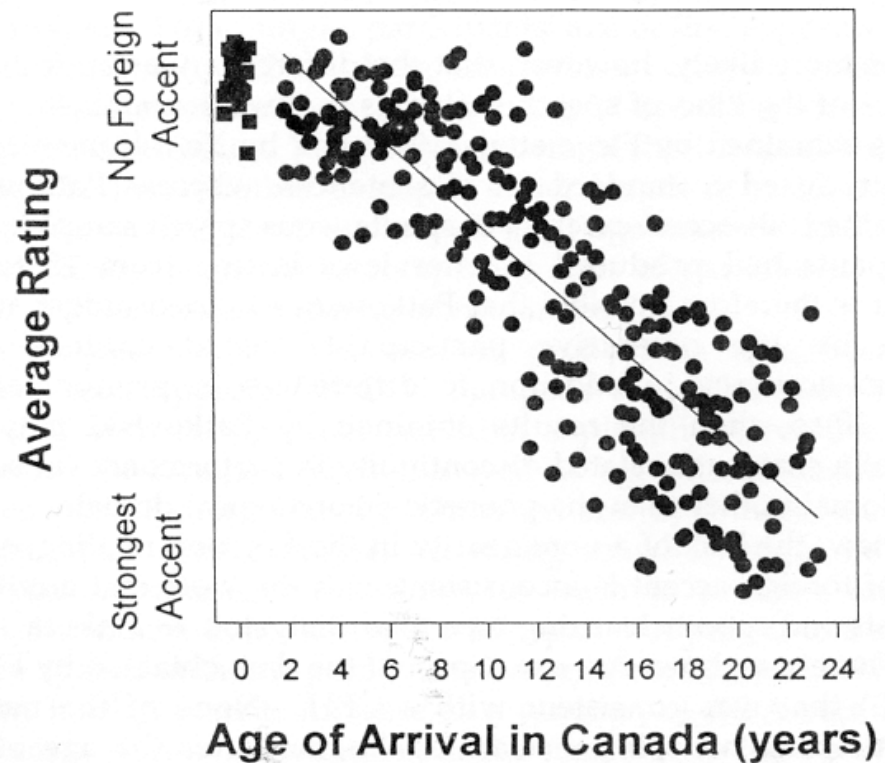


FIG. 5.1. Average foreign accent ratings for 240 native speakers of Italian who arrived in English-speaking Canada between the ages of 2 and 23 (filled circles) and 24 native English controls (squares). Data are from Flege, Munro and MacKay (1995).

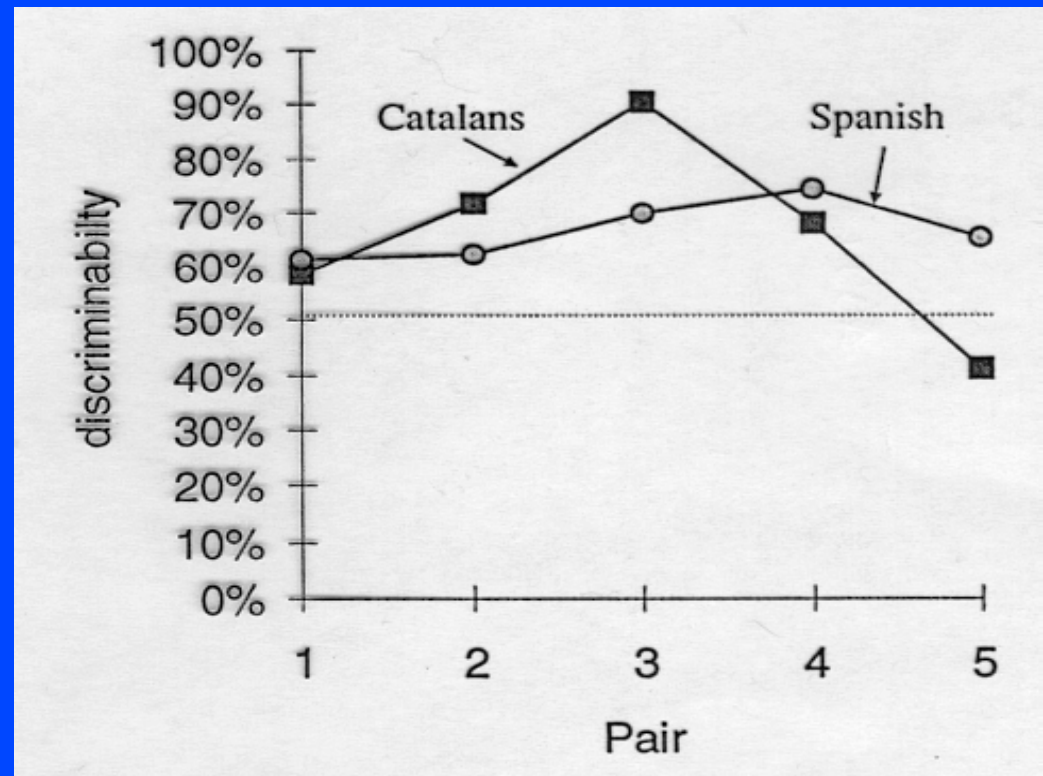
Perception de contrastes phonémiques en L2

Even when they have been intensively exposed to Catalan since the age 4~6, native speakers of Spanish still have difficulties perceiving the differences between some Catalan phonemes ([ɛ] vs. [e], [s] vs. [z]...)

Discrimination of pairs of synthetic vowels along a continuum ranging from the Catalan vowel “ ” to the Catalan vowel “e”.

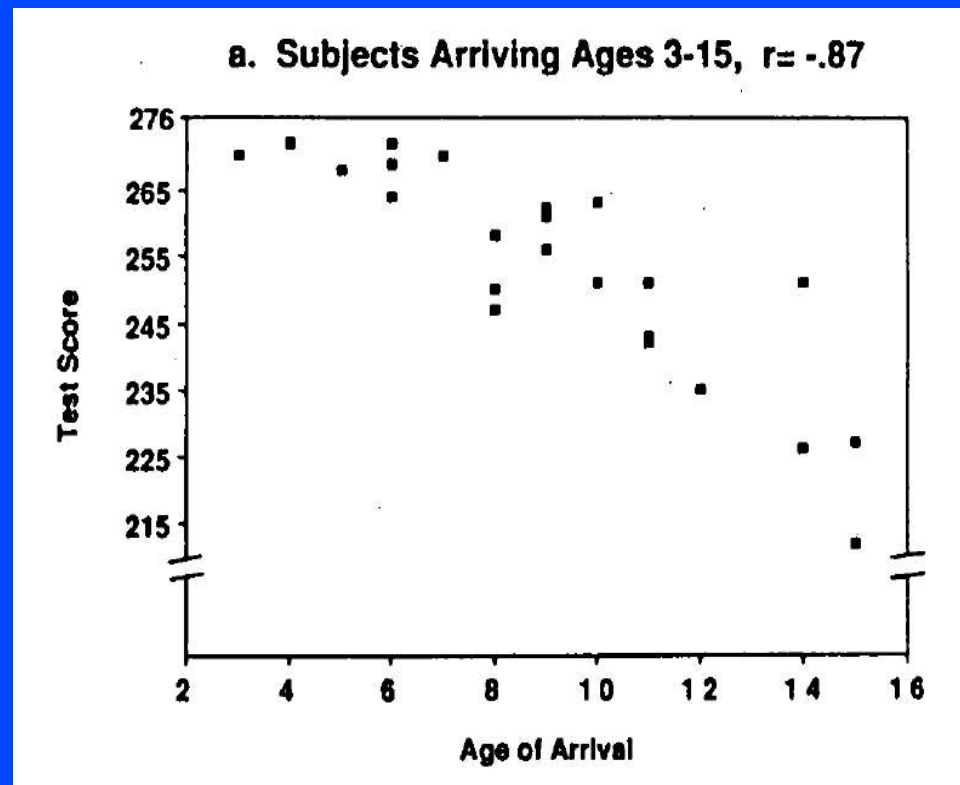


(Pallier, Bosch & Sebastian-Galles, Cognition, 1997, Psych. Sci. 2001)



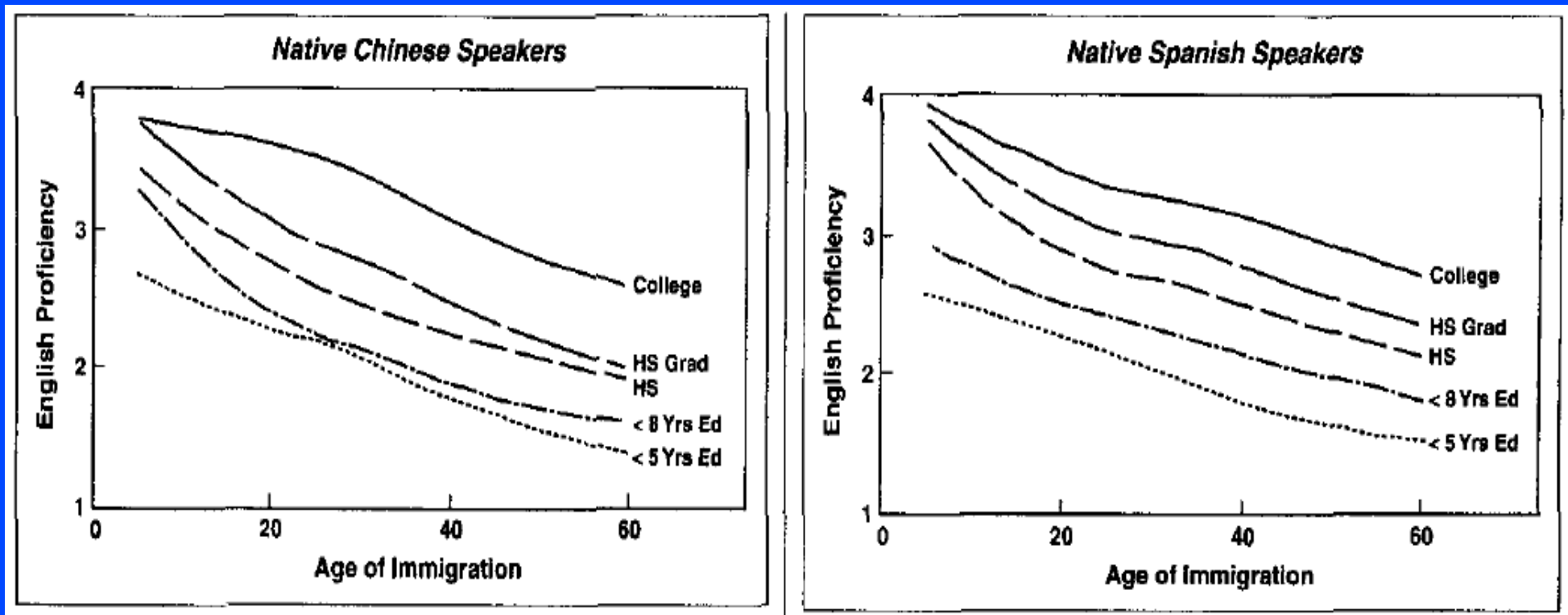
Effet de l'âge sur la maîtrise de la syntaxe

- Scores on test of English grammar in relation to age of arrival in the US of Korean immigrants (Johnson & Newport, 1989, see also Flege, Birdsong, Neville, ...)



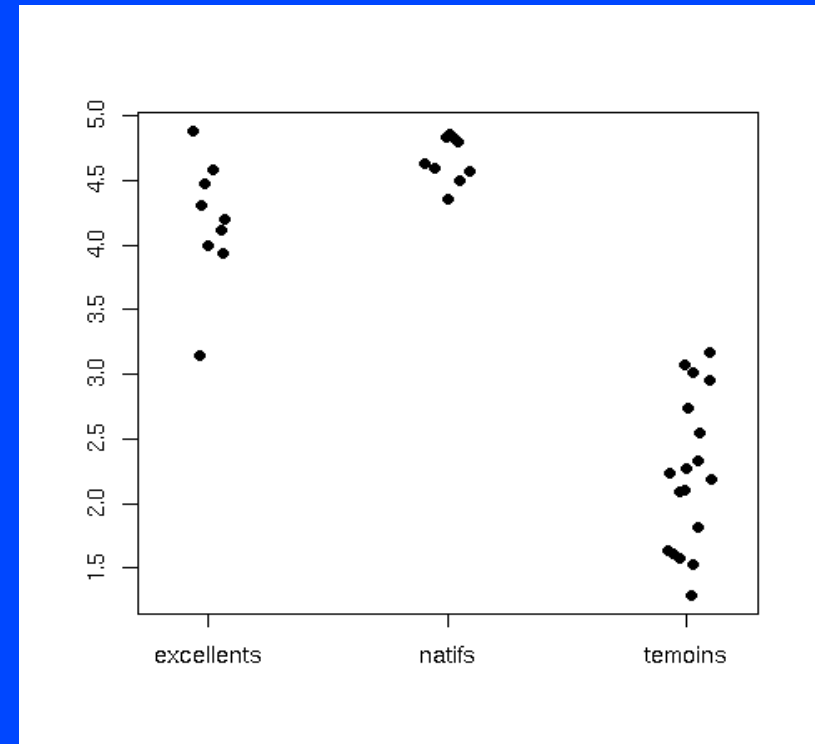
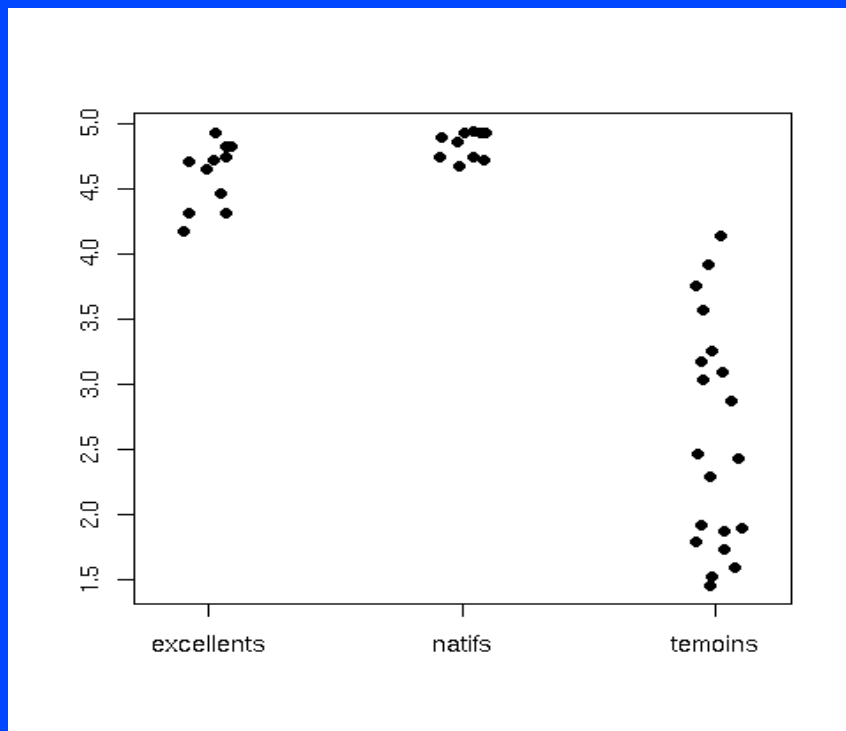
Remarque 1: un déclin progressif tout au long de la vie.

- Hakuta, Bialystok & Wiley (2003) used data from the 1990 US census to plot the *self-rated proficiency* of 2.3 millions immigrants (on a scale from 1 to 5):



Remarque 2: certains individus semblent parvenir à un niveau semblable à des locuteurs natifs.

Bongaerts (1999) studied Dutch learners of English or French, who started to learn L2 in high-school (after 12 years of age). Their accents were rated by native speakers.



Birdsong (1999) estimated that between 5 to 25 % of people who had good opportunities to learn L2 managed to reach very-high proficiency.

Interpretation de l'effet d'âge sur l'acquisition d'une seconde langue.

Cet effet est souvent interprété dans le cadre de l'hypothèse de la période critique.

Ce serait un effet irréversible due à des processus maturationnels dans le cerveau (“perte de plasticité”).

Cependant:

- l'effet d'âge pour L2 est nettement plus faible que l'effet pour L1
- il pourrait aussi être dû à un phénomène d'interférence entre L1 et L2.

Que se passe t-il si quelqu'un cesse d'utiliser sa première langue?

Une étude sur le langage de personnes adoptés

Participants:

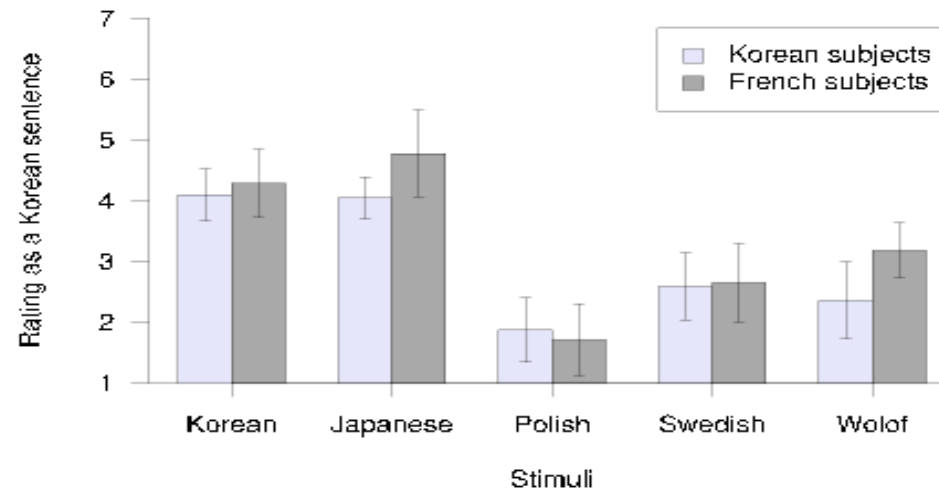
- Jeunes adultes d'origine coréenne, adoptés par des familles françaises (âge moyen actuel=30 ans, à l'adoption = 5,5ans). Ils n'ont eu aucun contact avec le Coréen depuis leur arrivée en France.
- Sujets contrôles: Français monolingues

Expériences

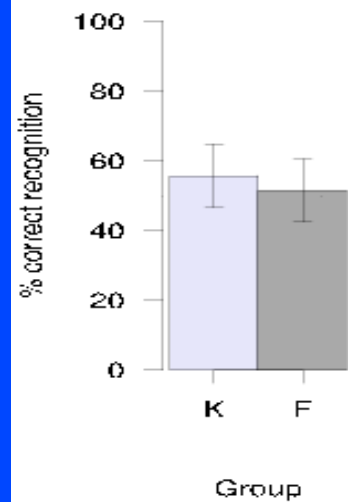
1. Test de reconnaissance de phrases coréennes parmi des phrases de diverses langues étrangères.
2. Test d'identification de mots: deux mots coréens sont proposés comme traduction d'un mot français très courant.
3. Détection de fragments de parole à l'intérieur de phrases dans diverses langues.

Résultats

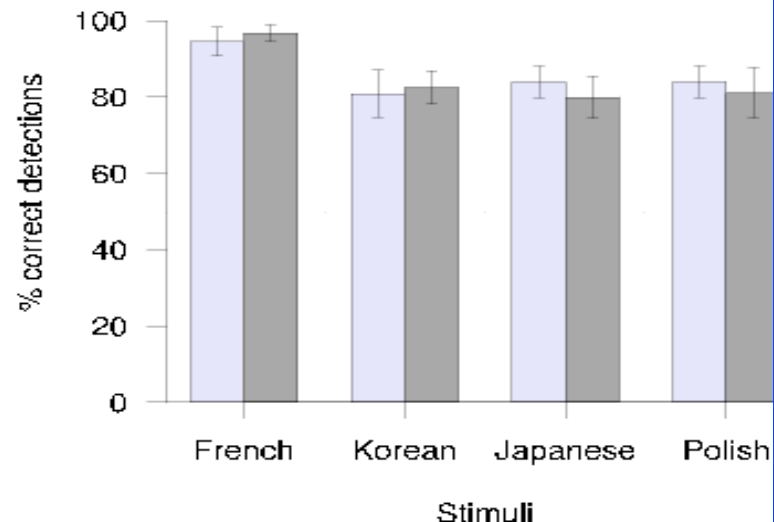
a) Korean sentences identification



b) Korean word recognition



c) Speech segment detection (performed during fMRI)



Imagerie cérébrale par IRMf-er

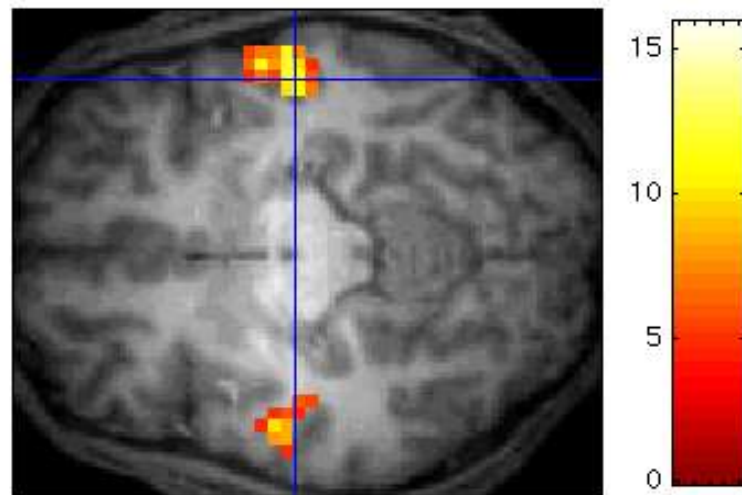
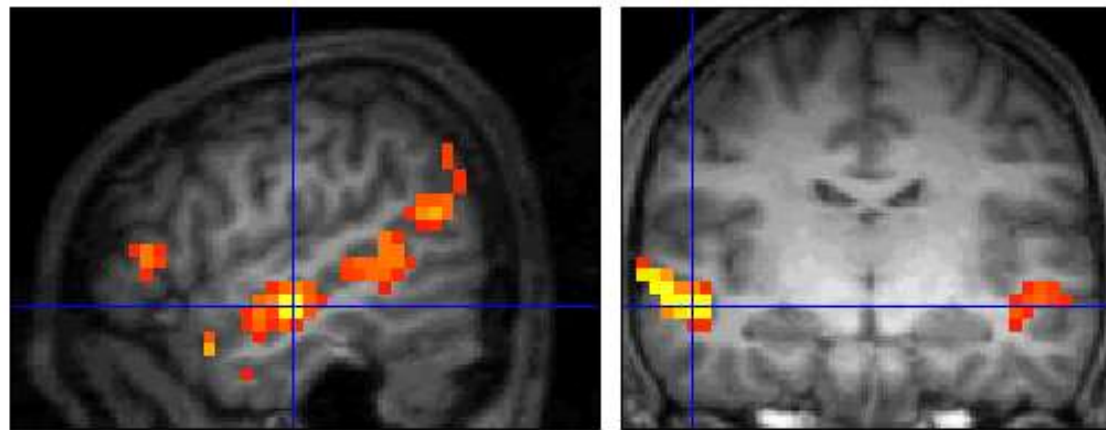
Les adoptés et les français natifs ont été 'scannés' par IRMf alors qu'ils écoutaient des phrases en Coréen, Français, Japonais ou Polonais.

Les gradients de lecture sont arrêtés lors de la présentation des stimuli.

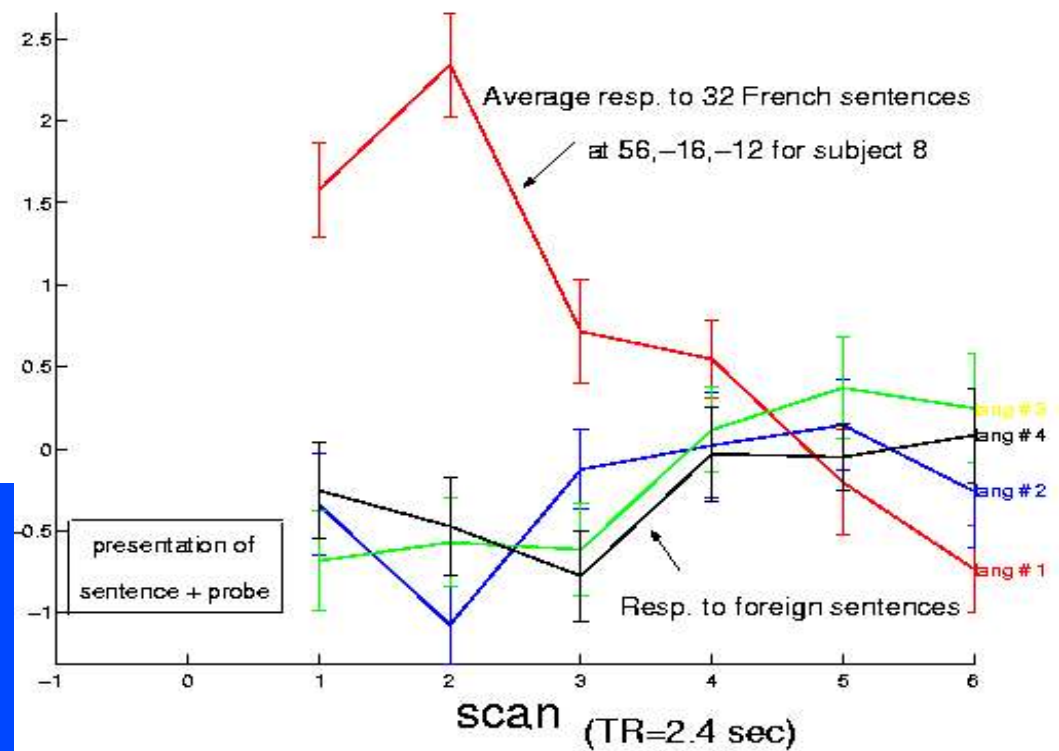
128 phrases/768 scans par participant

séquence EPI 3.75x3.75x5mm

Aires plus activées par des phrases françaises que par des phrases en langue étrangère chez un locuteur français (Pallier et al., *Cereb. Cortex*, 2003)



(threshold: $p < 0.05$ corrected)

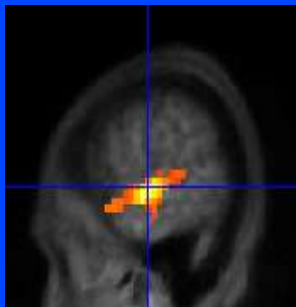


Comparaisons des activations au coréen, au japonais et au polonais

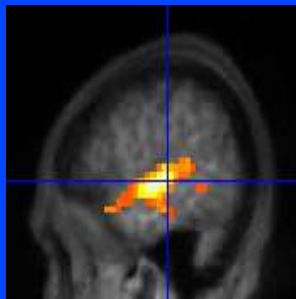
Résultat :

- aucune réponse spécifique au Coréen : les trois langues n'activent que le gyrus temporal supérieur.

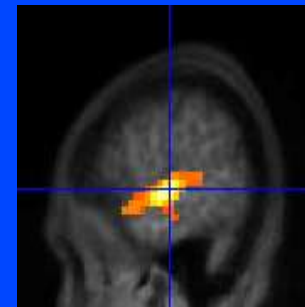
Korean



Japanese



Polish

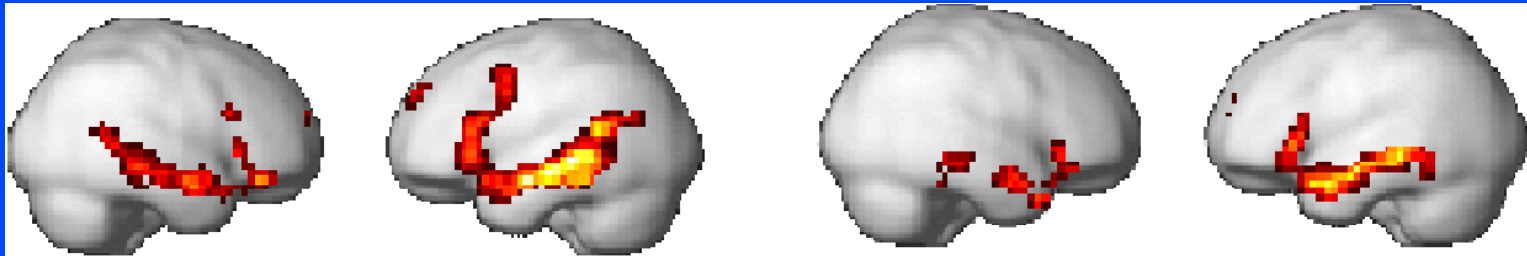


Activations provoquées par les stimuli Français

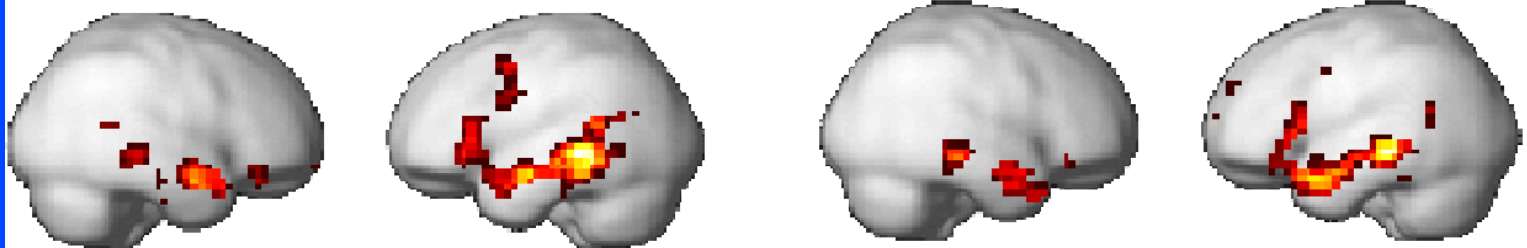
Français natifs

Coréens adoptés en France

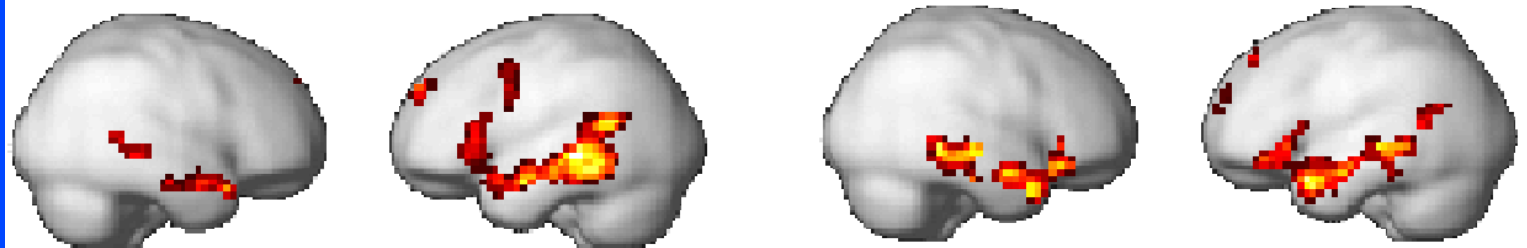
Fr > Pol



Fr > Jap



Fr > Kor



Des aires cérébrales similaires sont activées chez les adoptés et des français natifs.

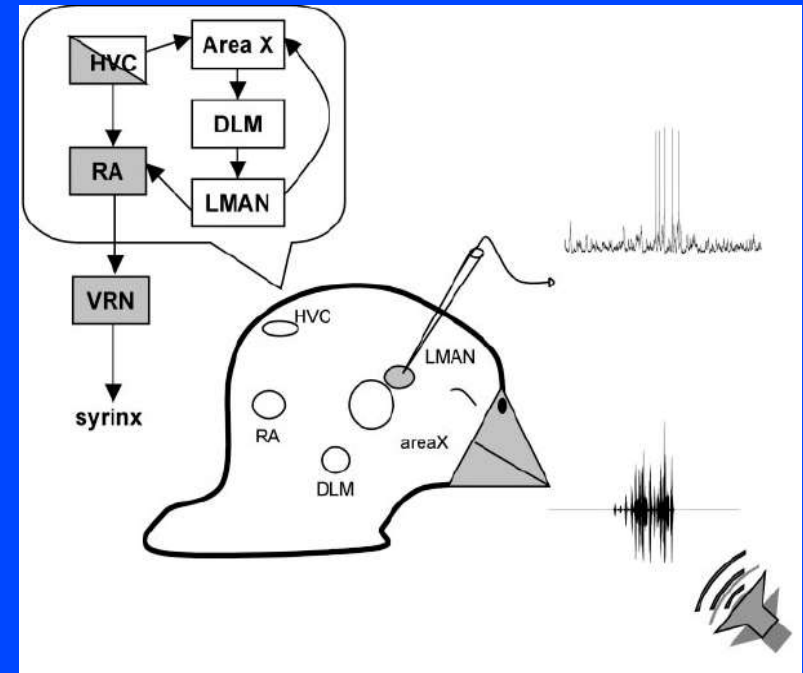
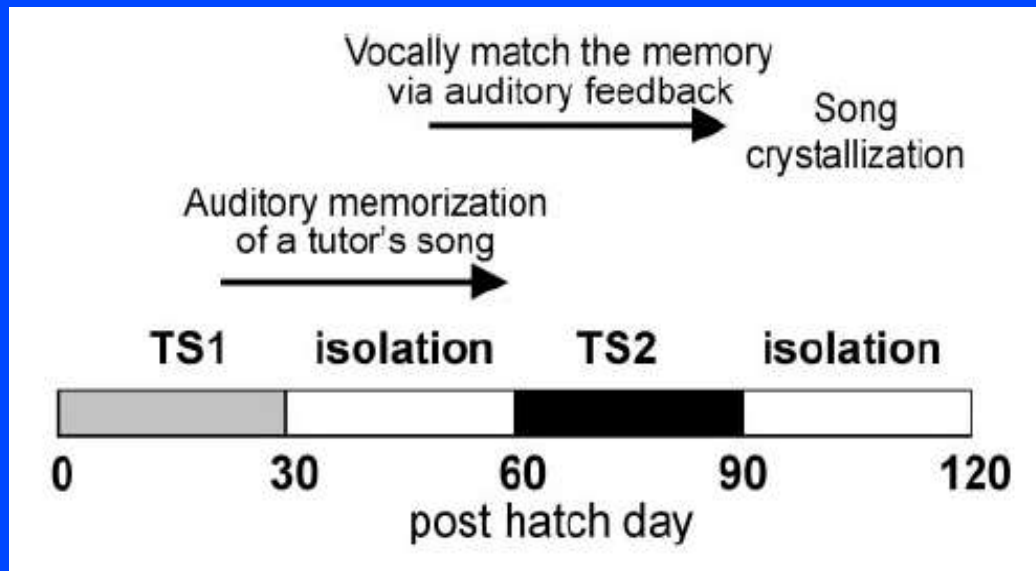
Peut-on oublier sa première langue ?

- L'absence d'activation due au coréen peut être due, soit à un manque de sensibilité de la technique, soit à un réel “effacement” de cette langue.
- Plusieurs tests comportementaux montrent que les adoptés coréens se comportent comme des monolingues français. Par exemple, ils ne perçoivent plus les différences entre certaines consonnes du coréen (Ventureyra, Pallier, Hi-Yon 2004). Plus généralement, ils décodent la parole avec les règles phonologiques et phonotactiques du français.
- Les données actuelles suggèrent qu'il y a une “plasticité” très importante dans les circuits du langage, jusqu'à au moins dix ans d'âge.

Retuning of auditory neurons in birds

(Yazaki-Sugiyama & Mooney (2004) Sequential learning from multiple tutors. *J. Neurophysiol.*)

22 zebra finch birds



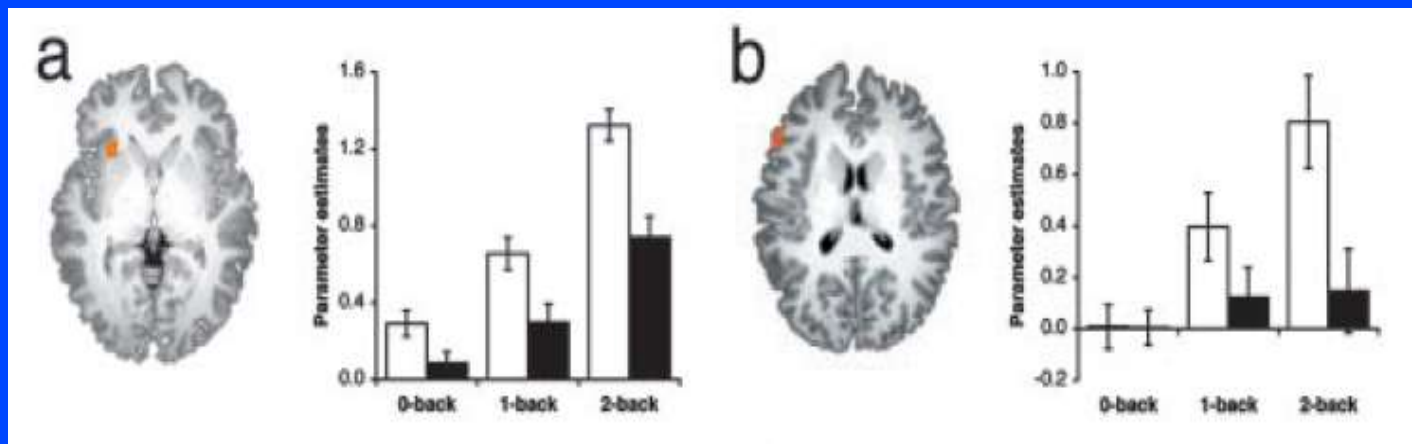
“In adult birds, LMAN neurons respond to playback of the most recent tutor song but not to earlier tutor songs (or bird's own songs).

LMAN does not store information about transiently learned songs.”

Peut-on expliquer les différences inter-individus de capacité à apprendre des langues étrangères ?

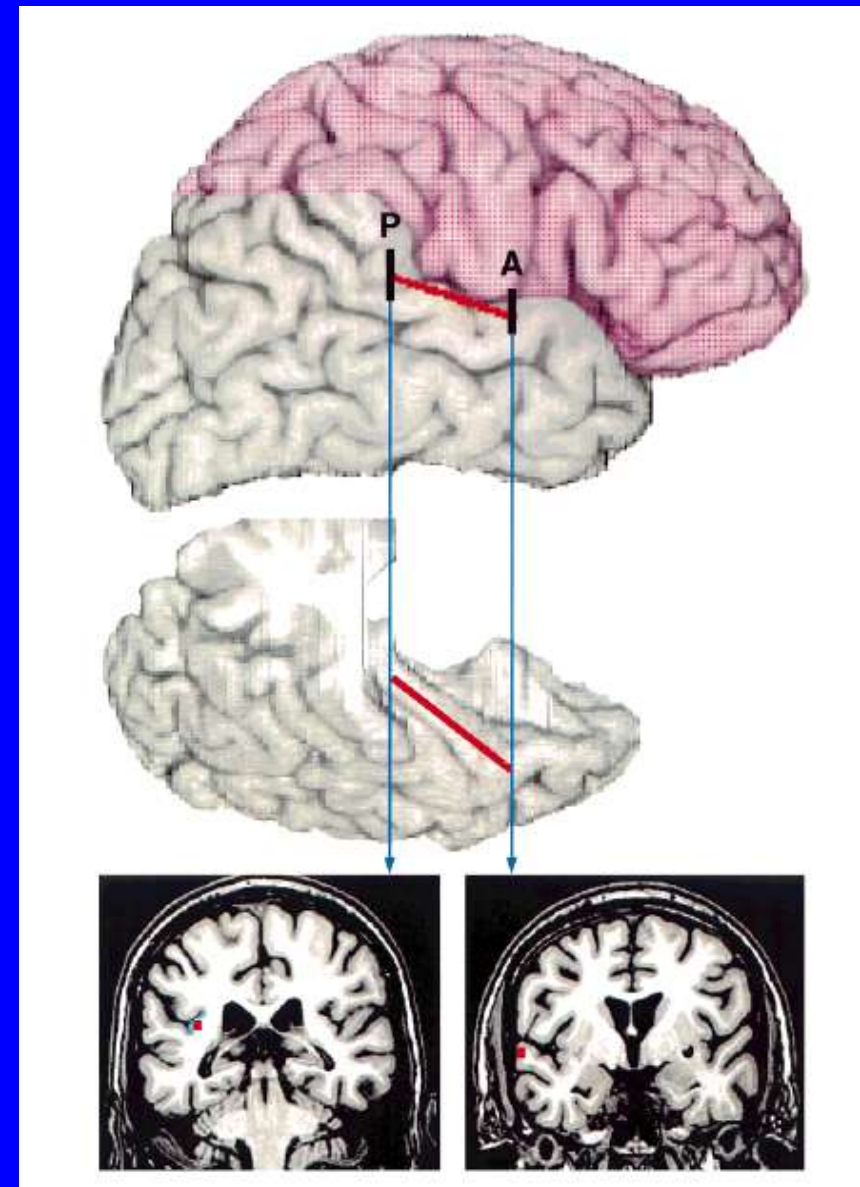
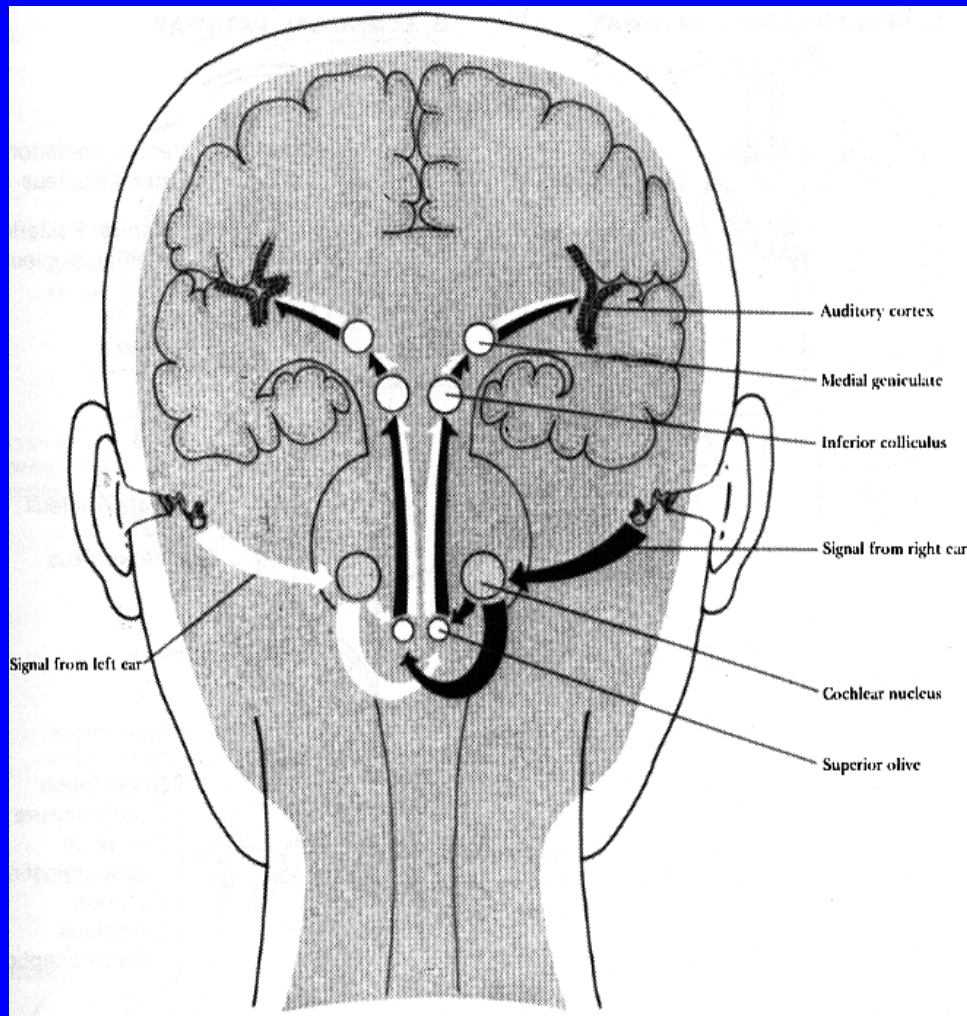
(Chee, Soon, Lee, Pallier (2004) Left insula activation: a marker for language attainment in bilinguals. *Proceedings National Academy of Science*.)

- Le “span” dans une tâche de mémoire phonologique prédit le niveau atteint par des enfants en L2.
- Sujets: 30 bilingues anglais/chinois élevés à Singapour, dont 15 de haut niveau et 15 de niveau moyen en L2.
- Tâche: mémorisation de mots étrangers (français).



Différences inter-individus dans la capacité d'apprendre des sons étrangers.

Morphométrie du cortex Auditif (gyrus de Heschl)



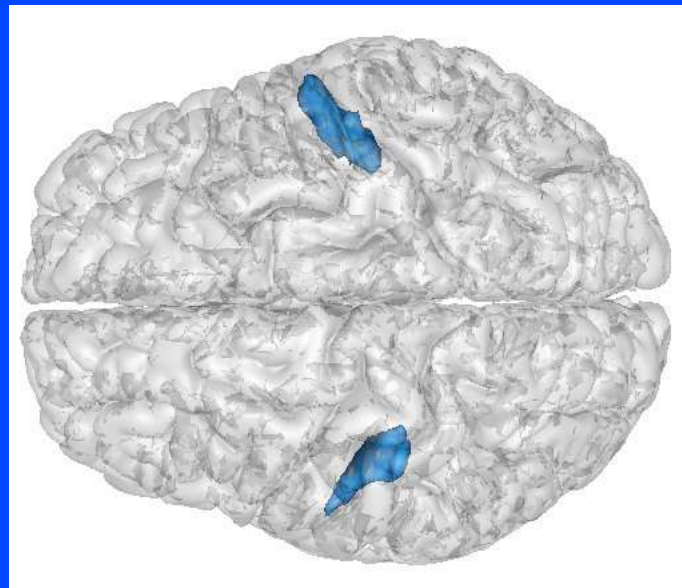
Différences inter-individus pour la facilité d'acquisition d'un contraste phonétique

Golestani, Molko, Dehaene, LeBihan et Pallier (*Cerebral Cortex*, 2006)

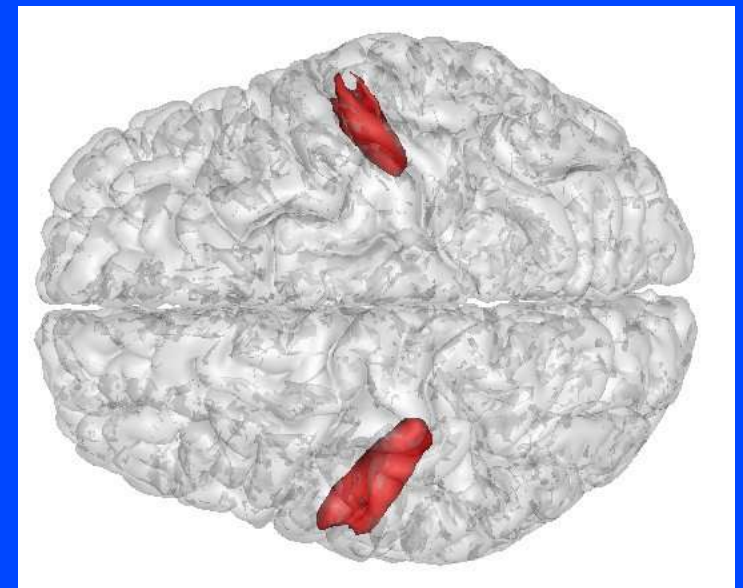
Des sujets ont été entraînés à discriminer des syllabes étrangères, puis séparés en deux groupes en fonction de leur performance (apprenants “rapides” ou “lents”)

Sur des images anatomiques du cerveau, le gyrus de Heschl gauche (cortex auditif) a un volume plus important dans le groupe d'apprenants les plus rapides.

Slower learners



Fast learners



50% probability maps for HG:

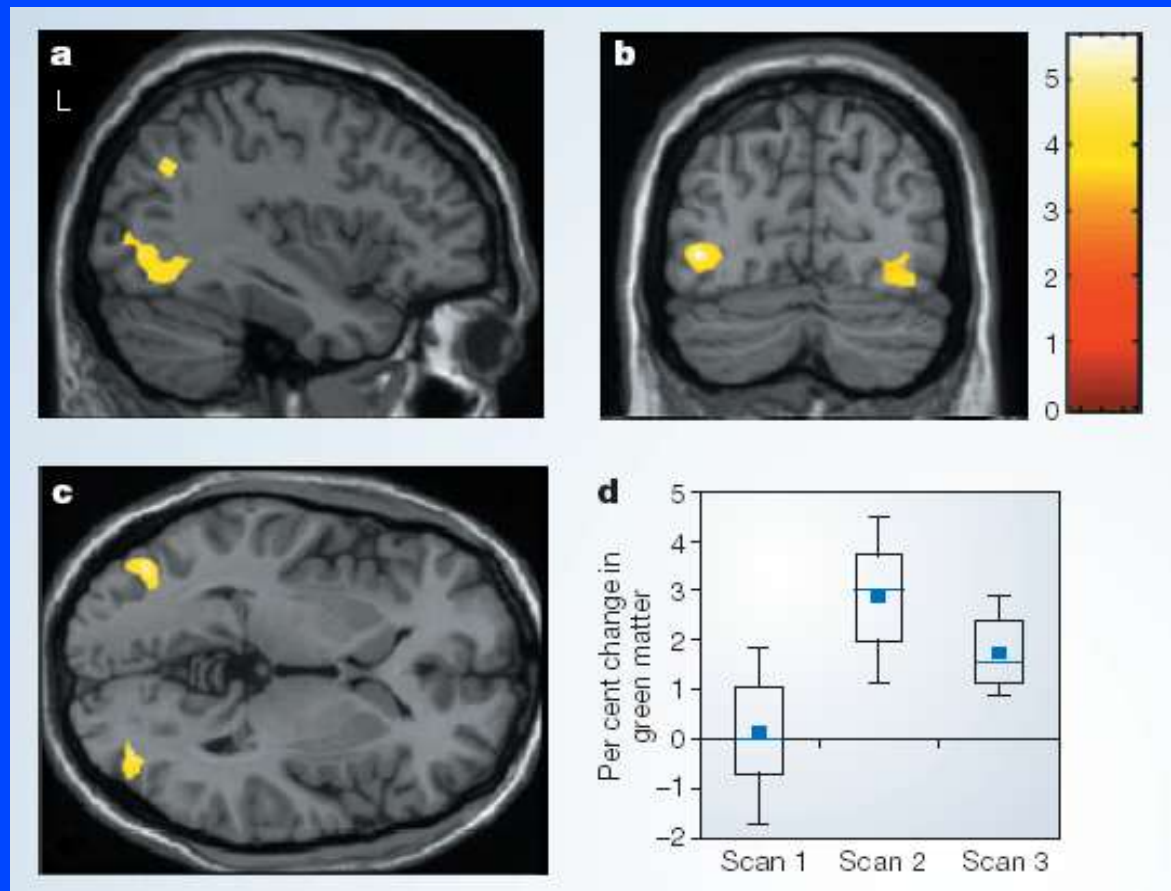
Changements morphologiques induits par un apprentissage.

Comparaison par VBM des scans anatomiques de deux groupes de sujets dont l'un apprend à jongler pendant 3 mois.

3 sessions: avant, après 3 mois, puis 3 mois après arrêt.



Draganski, Gaser, Busch,
Schuierer, Bogdahn, May.
Nature, 2004



Y-a-t il des différences structurelles entre les cerveaux bilingues et monolingues ?

Mechelli, Crinion, Noppeney, O'Doherty, Ashburner, Frackowiak & Price (2004)
Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*

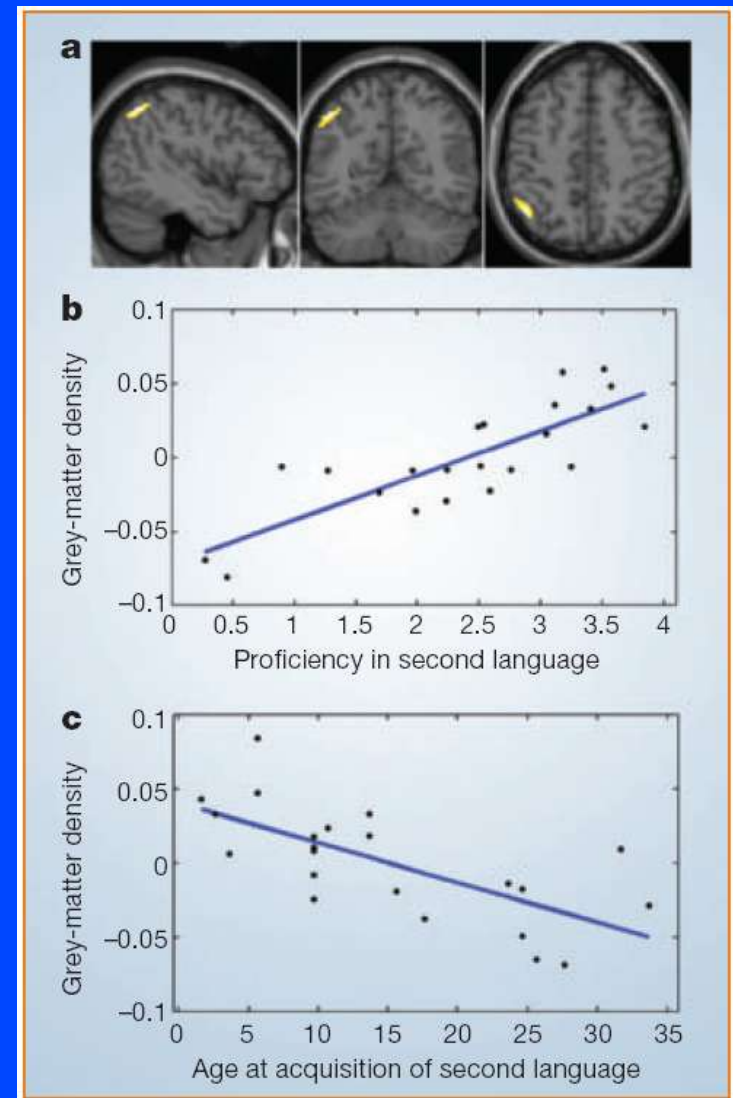
Méthode: Voxel-based-morphometry

Etude 1: Comparaison par VBM de 25 monolingues vs. 58 bilingues.

Résultat: les bilingues ont une “densité” de matière grise plus importante dans une région du cortex pariétal inférieur (bilatérale) (cf. figure 'a')

Etude 2: 22 italiens ayant appris l'anglais entre 2 et 34 ans, de niveau de maîtrise varié.

Résultat: dans la même région, la “densité” de matière grise corrèle avec le niveau atteint en anglais (et inversement à l'âge d'acquisition). (figures 'b' et 'c')



Résumé

- Deux langues maîtrisées à un très haut niveau engendrent des patterns d'activation cérébrale très similaires en IRMf.
- Les aires du langage restent "plastiques" plus longtemps que ne le suggère certaines versions de l'hypothèse de la période critique.
- Des différences de performance entre individus corrèlent avec des différences morphologiques.
- Beaucoup reste à faire... notamment: Que se passe t-il lorsque qu'une personne apprend une seconde langue ?