

Imagerie cérébrale du bilinguisme et de l'apprentissage des langues

Christophe Pallier

CNRS, INSERM, Unité 562 de Neuroimagerie Cognitive,
Service Hospitalier Frédéric Joliot, CEA, DSV, DRM
4 place du Général Leclerc, F-91401 Paris
christophe.pallier@m4x.org

ABSTRACT

The neurolinguistics of bilingualism and language acquisition is still in infancy. This paper presents a quick overview of some brain imaging studies of language acquisition conducted in our lab. We describe a study showing that, as grammatical skills in L2 increase, the cerebral activations elicited by sentence building in L1 and in L2 became more and more similar. In another series of studies, we discovered anatomical and functional cerebral correlates of the abilities to memorize, perceive or produce foreign speech sounds.

1. CONVERGENCE ENTRE LES REPRÉSENTATIONS CORTICALES DE LA PREMIÈRE ET DE LA SECONDE LANGUE

Les deux langues d'un bilingue sont-elles sous-tendues par les mêmes circuits neuronaux ou bien par des réseaux distincts ?¹

Une série d'études d'imagerie cérébrale du bilinguisme ont employé la tomographie par émission de position (TEP) ou la résonance magnétique (IRM) pour mettre en évidence les patterns d'activation cérébrale associés au traitement de la première (L1) ou de la seconde langue (L2), lorsque les sujets accomplissent des tâches telles que la lecture de mots, la dénomination d'image, la compréhension de phrases écrites ou orales... La majorité de ces travaux décrivent des activations très similaires pour les deux langues (cf. [9, 10] pour des revues de la littérature), résultat généralement interprété comme montrant que les mêmes circuits sont employés pour traiter l'une ou l'autre langue.² Néanmoins, certaines études ont décrit des activations partiellement distinctes pour L1 et L2 chez des sujets ayant un niveau intermédiaire dans la seconde langue et/ou ayant apprise celle-ci tardivement (après 10-12 ans) [8, 2].

Ces observations suggèrent que la représentation corticale de L2 (c.-à.-d. les aires recrutées par L2) devient de plus en plus similaire à celle de L1 lorsque l'apprentissage de L2 progresse. Pour tester cette hypothèse, nous avons scanné en IRMf dix sujets français ayant un niveau moyen en anglais et un éventail de scores au sous-

test grammatical du TOEFL (Test of English as a Foreign Language) [4]. Dans le scanner, les participants devaient soit lire des listes de mots, soit construire des phrases à partir de ces mêmes listes. La soustraction entre les activations cérébrales associées à ces deux conditions montre l'implication du gyrus frontal inférieur gauche (l'aire de Broca) dans la construction des phrases [7]. Pour chaque sujet, nous avons localisé à l'intérieur de cette région les lieux où l'activation cérébrale était maximale, en anglais d'une part, et en français d'autre part. La distance entre ces deux maxima d'activation nous a servi à estimer la distance entre les représentations de L1 et L2. Conformément à l'hypothèse du rapprochement de L1 et L2, il y avait une corrélation significative entre les scores individuels au test du TOEFL et la distance entre les maxima d'activation en anglais et en français : les sujets ayant les meilleurs scores avaient les maxima les plus proches. Ce résultat suggère que plus le niveau de maîtrise de la seconde langue augmente, du moins en ce qui concerne la grammaire, plus les activations cérébrales associées à la construction de phrases deviennent similaires. Si tel est le cas, une étude longitudinale devrait donc montrer un déplacement des activations de la seconde langue vers celle de première.

2. BASES CÉRÉBRALES DES DIFFÉRENCES INTERINDIVIDUELLES

2.1. Différences fonctionnelles

Il existe une variabilité interindividuelle non négligeable dans la capacité à apprendre une seconde langue. De nombreux facteurs interviennent certainement : langues déjà connues, habilité à imiter, motivation... En particulier, une étude menée chez des enfants apprenant l'anglais a montré que leurs scores dans des tâches de mémoire phonologique (mémorisation et répétition de pseudo-mots) étaient prédictifs de leur performance en anglais deux années plus tard [11].

Inspirés par l'idée que la capacité de représenter et de mémoriser des mots étrangers était déterminante pour apprendre une seconde langue, nous avons comparé deux groupes de personnes ayant grandi dans un environnement bilingue (à Singapour) mais différant dans leur maîtrise de la seconde langue [1]. Nous les avons scannés alors qu'ils écoutaient des séries de mots français (une langue qui leur était inconnue) et devaient détecter lorsqu'un item était répété. Dans cette tâche, qui implique les processus de mémoire phonologique mais qui demeure assez facile, les performances des deux groupes étaient similaires. Toutefois, de manière remarquable, les activations cérébrales

¹Ici, un bilingue est défini comme une personne pouvant utiliser deux langues, sans préjuger du niveau atteint dans ces deux langues. Autrement dit, nous ne réservons pas le terme "bilingue" aux personnes ayant un niveau quasi natif dans les deux langues.

²Il faut garder à l'esprit la résolution actuelle des images d'IRMf, de l'ordre de $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$.

étaient différents entre les deux groupes : les meilleurs bilingues recrutèrent plus intensément les régions de l'insula et du gyrus frontal inférieur gauche, impliqués dans la production de la parole, alors que le groupe de bilingues moins équilibrés avait des activations révélant un effort attentionnel plus important. Une interprétation possible est que les personnes qui ont un meilleur niveau dans leur seconde langue utilisent leur circuits de mémoire phonologique de manière plus efficace. Notre étude ne permet toutefois pas de savoir si cette caractéristique était présente avant l'apprentissage de la seconde langue ou bien si elle en est le résultat. Pour cela, il faudrait pouvoir mener une étude avant et après l'apprentissage.

2.2. Différences anatomiques

L'étude précédente révélait une différence d'utilisation des ressources cognitives en fonction du niveau de bilinguisme. Des caractéristiques anatomiques peuvent-elles également expliquer la plus ou moins grande facilité à percevoir des différences entre des phonèmes d'une langue étrangère ou à les articuler ? Par exemple, le contraste entre les consonnes dentales et retroflexes en Hindi est assez difficile à entendre pour des sujets français. Narly Golestani, en postdoc dans notre laboratoire, en a testé une soixantaine et a constitué deux groupes en fonction de la rapidité avec laquelle ils avaient appris à distinguer des syllabes utilisant le contraste dental-retroflexe [5]. Ensuite, nous avons mesuré chez chaque sujet les volumes des gyri de Heschl gauche et droit, structures qui abritent le cortex auditif. L'analyse des volumes a révélé que les personnes qui avaient eu le plus de facilité pour distinguer les syllabes hindi avaient en moyenne des cortex auditifs gauches plus volumineux que ceux ayant eu plus de difficultés. La différence était significative pour le volume de matière blanche, reflétant potentiellement un plus grand nombre ou une meilleure myélinisation des fibres du cortex auditif. On peut spéculer que ces paramètres influencent la précision de la représentation temporelle des sons, particulièrement utile pour discriminer des contrastes consonantiques associés à des transitions acoustiques rapides.

Dans une seconde expérience, la capacité des sujets à répéter une consonne étrangère a été évaluée [6]. Nous avons choisi une consonne uvulaire du Farsi, facilement distinguable des phonèmes français. Les sujets devaient la produire dans différents contextes et deux locutrices natives du Farsi leur ont attribué des scores de qualité d'accent. Ces scores ont ensuite été corrélés avec les images individuelles de probabilité de matière blanche ou de matière grise (suivant la technique dite "voxel-based morphometry"). Cette analyse a révélé que plus l'imitation était fidèle, plus le sujet avait une probabilité importante d'avoir de la matière blanche dans deux aires classiquement impliquées dans la mémoire phonologique et dans l'articulation : le cortex pariétal inférieur et l'insula.

3. CONCLUSION

Les expériences que nous avons présentées doivent être considérées comme des premières tentatives d'exploration d'un domaine encore très mal connu : les bases cérébrales de l'acquisition d'une langue étrangère. Il faut espérer que ces résultats encourageants seront confirmés et généralisés à des populations plus larges de sujets et à divers types

de situation. Il est important de souligner que le fait de mettre en évidence des différences entre les cerveaux des personnes qui ont des facilités d'acquisition et celles qui en ont moins ne signifie pas que ces dernières doivent être découragées d'apprendre. En effet, même chez l'adulte, un entraînement peut produire des modifications corticales macroscopiques détectables [3].

4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES

- [1] Michael Chee, Chun Siong Soon, Hwee Ling Lee, and Christophe Pallier. Left insula activation : A marker for language attainment in bilinguals. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 101(42) :15265–15270, 2004.
- [2] S. Dehaene, E. Dupoux, J. Mehler, L. Cohen, E. Paulesu, D. Perani, P.-F. van de Moortele, S. Léhericy, and D. Le Bihan. Anatomical variability in the cortical representation of first and second languages. *Neuroreport*, 8 :3809–3815, 1997.
- [3] Bogdan Draganski, Christian Gaser, Volker Busch, Gerhard Schuierer, Ulrich Bogdahn, and Arne May. Neuroplasticity : changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972) :311–312, Jan 2004.
- [4] Narly Golestani, F.-Xavier Alario, Sébastien Meriaux, Denis LeBihan, Stanislas Dehaene, and Christophe Pallier. Syntax production in bilinguals. *Neuropsychologia*, 2006, in press.
- [5] Narly Golestani, Nicolas Molko, Stanislas Dehaene, Denis Lebihan, and Christophe Pallier. Brain Structure Predicts the Learning of Foreign Speech Sounds. *Cerebral Cortex*, Apr 2006.
- [6] Narly Golestani and Christophe Pallier. Anatomical correlates of foreign speech sound production. *Cerebral Cortex*, 2006, in press.
- [7] P. Indefrey, C. M. Brown, F. Hellwig, K. Amunts, H. Herzog, R. J. Seitz, and P. Hagoort. A neural correlate of syntactic encoding during speech production. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, (98) :10, 5933–5936 2001.
- [8] Karl H. S. Kim, Norman R. Relkin, Kyong-Min Lee, and Joy Hirsch. Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388(10 July 1997) :171–174, 1997.
- [9] Christophe Pallier and Anne-Marie Argenti. Image-rie cérébrale du bilinguisme. In Olivier Etard and Nathalie Tzourio-Mazoyer, editors, *Cerveau et Langage. Traité de Sciences Cognitives*, pages 183–198. Hermès Science, Paris, 2003.
- [10] D. Perani and J. Abutalebi. The neural basis of first and second language processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2) :202–206, 2005.
- [11] E. Service. Phonology, working memory, and foreign-language learning. *Q J Exp Psychol A* al