

Chapitre 4

Imagerie cérébrale du cerveau des bilingues

Christophe Pallier

Cette revue des travaux d'imagerie cérébrale sur le cerveau des bilingues ne prétend pas à l'exhaustivité, bien qu'elle eût pu le tenter ; en effet, seule une trentaine d'articles portent sur le sujet. Nombre dérisoire comparé aux centaines, voire milliers d'articles, portant sur le cerveau monolingue ! Ce relatif désintérêt pour le cerveau bilingue est d'autant plus étonnant que certaines estimations donnent un nombre plus important de bilingues que de monolingues sur la planète. Il est probable que le petit nombre de travaux consacrés au cerveau bilingue reflète une caractéristique de la situation de nos pays occidentaux, à cet égard marginaux ; en Inde ou en Afrique, par exemple, la plupart des individus parlent souvent au moins un dialecte et une autre langue. À l'échelle planétaire, le cerveau bilingue représente vraisemblablement plus la norme que le cerveau monolingue.

Première et seconde langue : recrutent-elles les mêmes réseaux cérébraux ?

La problématique qui a le plus retenu l'attention de la majorité des articles sur l'imagerie du bilinguisme est la suivante : la première (L1) et la seconde (L2) langues sont-elles traitées par les mêmes réseaux cérébraux ?

Données de la neuropsychologie

Avant l'avènement de l'imagerie, la principale source de données provenait des observations de la neuropsychologie. Dès le début du XIX^e siècle, des cas d'aphasie chez les bilingues avaient été rapportés. On peut dire, pour aller vite, que les cas se distinguaient en trois types :

- les cas de récupération parallèle où, après l'accident cérébral, le bilingue aphasique récupère les deux langues dans le même décours temporel ;
- les cas de récupération successive où le patient récupère d'abord une première langue et plus tardivement la seconde ;
- les cas de récupération sélective où le patient ne récupère qu'une langue. Ce dernier cas suggère éventuellement des représentations corticales distinctes pour les deux langues.

rt de la stimulation corticale directe

s années 1970, Georges Ojemann a observé qu'il pouvait, par stimulation ue corticale, bloquer sélectivement la dénomination dans l'une ou l'autre [1-3]. Les données de ces études orientent vers des représentations corti- moins partiellement séparées de la première et de la seconde langue.

nières études d'imagerie fonctionnelle et IRM) du bilinguisme

nières études d'imagerie fonctionnelle du bilinguisme sont dues à Denise t ses collègues à l'institut neurologique de Montréal [4-6]. Ces chercheurs dié des bilingues canadiens (anglais/français) qui effectuaient des tâches de ion, de génération de mots et de traduction du français vers l'anglais. Ces s n'ont constaté pratiquement aucune différence entre les activations pour aière et pour la seconde langue.

te une série d'études ayant utilisé des populations différentes et des tâches ntes ont confirmé ce constat : les activations pour la première et la seconde sont très similaires, que la méthode utilisée soit la tomographie par émission ions (TEP) ou l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). emple, deux de ces études portaient sur des tâches de décision sémanti- ir des mots et de dénomination d'images chez des bilingues anglais/espä- 7, 8] ; une autre a été réalisée chez des bilingues anglais/chinois qui avaient âches des répétitions et des générations de mots [6]. Le résultat sans doute le appant est peut-être celui d'une étude consacrée à des bilingues de Singa- (anglais/chinois) chez qui les auteurs n'ont constaté aucune différence e lorsque ceux-ci lisaient des phrases en anglais ou bien en chinois (utilisant éogrammes dans ce dernier cas) [9].

ision sémantique

z les bilingues anglais/espagnol

illustrer l'affirmation selon laquelle les activations sont les mêmes pour la ère et pour la seconde langue, nous avons choisi l'étude de Illes et al. [7] nt sur huit sujets bilingues anglais/espagnol (tableau 4.1). Ces bilingues ent pas des bilingues natifs ; ils avaient acquis la seconde langue à un âge au s supérieur à 5 ans (supérieur à 10 ans pour la majorité) et avaient atteint un niveau de maîtrise. La figure 4.1 (voir atlas couleur, p. 161) montre, pour e sujets ayant participé à l'étude, les activations à L1, L2 et la différence entre ux. Ces images portent sur le contraste entre une décision sémantique sur un les suiers devaient décider si le mot présenté visuellement était concret ou

Tableau 4.1.

Caractéristiques des participants à l'étude de Illes et al., 1999 [7].

| Sujet | Sexe | Âge | Première langue (L1) | Âge d'apprentissage de la seconde langue (L2) | Âge de fluence de L2 | Fluence de L1 | Fluence de L2 | Nombre d'autres langues |
|-------|------|-----|----------------------|---|----------------------|---------------|---------------|-------------------------|
| S1 | F | 28 | Anglais | 12 | 20 | 10 | 8,8 | 0 |
| S2 | M | 28 | Espagnol | 24 | 27 | 10 | 8 | 0 |
| S3 | F | 24 | Anglais | 13 | 18 | 10 | 9,3 | 0 |
| S4 | F | 22 | Espagnol | 11 | 12,5 | 10 | 10 | 1 |
| S5 | F | 29 | Espagnol | 12 | 12 | 10 | 10 | 1 |
| S6 | F | 36 | Anglais | 10 | 17 | 10 | 9 | 2 |
| S7 | F | 28 | Espagnol | 11 | 15 | 10 | 9,8 | 3 |
| S8 | M | 32 | Espagnol | 5 | 13 | 10 | 10 | 0 |

Il faut toutefois introduire une remarque concernant toutes les études citées jusqu'ici. À l'exception de l'étude de Chee et al. [9] où les sujets lisaient des phrases, toutes les autres employaient des tâches ne mettant en jeu que des mots isolés ou des images à dénommer. Ces tâches n'impliquent pas, par exemple, des processus syntaxiques. On pourrait imaginer que les langues multiples parlées par un individu partagent les mêmes aires cérébrales pour certains niveaux de traitement (par exemple la reconnaissance des mots), mais que d'autres niveaux (par exemple la syntaxe) sont représentés dans des aires distinctes. Il faut également noter que les sujets qui participaient à ces études étaient vraisemblablement de très bons bilingues, c'est-à-dire qu'ils maîtrisaient chacune des deux langues.

Première étude chez des bilingues « déséquilibrés »

Parallèlement à ces travaux, vers le milieu des années 1990, une première étude [10] a eu lieu chez des bilingues « déséquilibrés », c'est-à-dire dont le niveau de maîtrise de la seconde langue est largement inférieur à celui de la première langue. Ces bilingues ont une connaissance de leur seconde langue, souvent acquise scolairement, suffisante pour l'usage courant, mais n'ont pas l'aisance d'un « vrai » bilingue.

Les participants de cette étude étaient des Italiens qui parlaient un anglais acquis scolairement, avec un niveau modéré. La tâche était une écoute d'histoire en italien, en anglais ou en japonais. La méthode utilisée était la TEP et le résultat, tout à fait surprenant, ne montrait pas de différence entre les activations évoquées par l'anglais et le japonais, cette dernière langue étant inconnue des sujets ! L'explication que l'on peut donner à l'absurdité d'un tel résultat est la limite de la méthode utilisée. En effet, la TEP ne permettait pas à l'époque de faire des analyses individuelles. L'affirmation selon laquelle il n'y a pas de différence d'activation entre l'anglais et le japonais est fondée sur des activations moyennées entre les individus. Les auteurs ont alors avancé l'hypothèse, afin d'expliquer le résultat obtenu, qu'il existait sans doute des variabilités entre les

Variabilité anatomique dans les représentations corticales L1 et L2

Partant de cette hypothèse, les auteurs ont donc fait appel à l'IRMf pour obtenir des données individuelles plus stables. La même équipe, conduite cette fois-ci par Stanislas Dehaene à Orsay, a étudié un groupe de Français parlant un anglais scolaire (niveau modéré) [11]. La tâche était simplement une écoute de phrase en français ou en anglais. Les résultats sont présentés sur la figure 4.2 (voir atlas couleur, p. 161).

Les auteurs font deux observations :

- les activations de la seconde langue ne recouvrent pas tout à fait celles de la première ;
- d'un individu à l'autre, les activations évoquées par la seconde langue sont plus variables spatialement que celles évoquées par la première langue. Il semble donc qu'il y ait plus de variabilité dans la localisation des aires pour la seconde langue que pour la première.

Niveau de maîtrise ou âge d'acquisition de L2 ?

Le recouvrement entre la première et la seconde langue dépend-il plutôt de l'âge d'acquisition de la seconde langue ou de son niveau de maîtrise ? Pour tenter de répondre à cette question, l'équipe de Perani [12] a testé cette fois-ci deux groupes de sujets très bons bilingues. Le premier groupe (*late acquisition high proficiency*) était composé d'Italiens ayant appris l'anglais tardivement (après l'âge de 10 ans), mais ayant atteint un très bon niveau dans cette langue. Le second groupe (*early acquisition high proficiency*) comptait des bilingues catalan/espagnol ayant appris les deux langues dès leur plus jeune âge avec un très bon niveau de maîtrise. Les auteurs ont observé un recouvrement des deux langues, la seconde langue activant les mêmes régions que la première dans les deux groupes. Le recouvrement était donc indépendant de l'âge d'acquisition de la seconde langue.

Représentation de la première et de la seconde langue

À partir de la revue de littérature établie jusqu'ici, on peut dire qu'il existe un effet du niveau de maîtrise de la seconde langue, les aires recrutées par les deux langues étant similaires chez les bons bilingues, partiellement distinctes chez les bilingues médiocres et les activations associées à la seconde langue variant plus spatialement chez ces derniers. L'un des critères restant à étudier est l'âge d'acquisition. Autrement dit, y a-t-il un effet d'âge d'acquisition ?

Représentation de L1 et de L2 et âge d'acquisition : l'étude de Kim

La publication la plus célèbre et la plus citée à propos d'imagerie du cerveau bilingue, celle de Kim [13], affirme avoir mis en évidence un effet d'âge d'acquisition. Les auteurs ont comparé deux groupes de sujets : le premier comportait huit bilingues ayant appris leurs deux langues en famille dès le plus jeune âge ; le second était composé de huit bilingues ayant appris leur seconde langue tardivement, après l'âge de 15 ans. La tâche était une production de discours « interne » : les sujets devaient dire mentalement, en anglais (langue native) ce qu'ils avaient fait le matin de la veille ; puis les personnes devaient ensuite dire mentalement, dans leur seconde langue, ce qu'ils avaient fait l'après-midi du même jour. La condition de référence était du repos. Ce type de tâche, très peu contrôlé, est atypique et pour le moins original dans les études d'imagerie cérébrale.

L'étude a permis d'observer chez les bilingues natifs un recouvrement presque parfait des deux langues dans l'aire de Broca alors que, chez les huit bilingues tardifs, il y avait une séparation spatiale des *clusters* activés par la première et la seconde langue, avec une distance entre les *clusters* qui variait entre 0,5 et 1,5 cm dans l'aire de Broca (figure 4.3, voir atlas couleur, p. 162).

Deux remarques à propos de cette étude :

- les bilingues sont décrits comme étant de bon niveau en seconde langue, mais cette affirmation n'a été vérifiée par aucun test ; rien ne permet donc d'affirmer que ce soit l'âge d'acquisition et non le niveau de fluence qui interfère ;
- la tâche est « naturelle », donc assez peu contrôlée.

Représentation de L1 et de L2 et âge d'acquisition : études contradictoires

D'autres équipes ont tenté de répliquer le résultat obtenu par Kim et ne le reproduisent pas vraiment. Une étude [14] s'est intéressée à des trilingues, Flamands de langue maternelle ayant appris l'anglais et le français à l'école et ayant atteint dans ces deux langues un niveau raisonnable. Les tâches étaient plus contrôlées que dans l'étude de Kim : génération de mots, dénomination d'images et lecture silencieuse. L'observation montre que les mêmes aires sont activées par la première langue et par les secondes langues avec une tendance à des activations un peu plus étendues et un peu plus fortes pour les secondes langues. Les auteurs ne présentent pas de résultats individuels et ne corroborent donc pas l'étude de Kim.

Jugements de grammaticalité et âge d'acquisition

L'équipe de Wartenburger [15] a également tenté de reproduire les résultats de l'équipe de Kim. Les participants de l'étude étaient des Allemands bilingues allemand/anglais ayant acquis l'anglais soit depuis la plus tendre enfance, soit après l'âge de 6 ans (dans ce second groupe de sujets, la moyenne d'âge de début

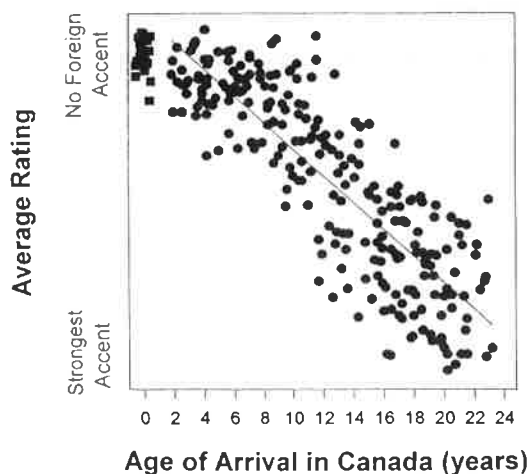


Figure 4.6. Qualité de l'accent anglais chez des immigrants italiens en fonction de leur âge d'arrivée au Canada (chaque point correspond à une personne). L'accent étranger croît régulièrement avec l'âge d'exposition à la seconde langue (reproduite d'après Flege et al., 1995 [18]).

Il est évident que l'enfant a besoin de circuits d'acquisition du langage, mais qu'une fois cette acquisition faite, il se débarrasse de ce système métabolique trop coûteux. Selon les prédictions de cette hypothèse, une seconde langue acquise plus tardivement ne sera pas traitée comme la première et sera éventuellement représentée différemment dans le cerveau. Dans les pages qui précèdent, nous avons analysé les données fournies à ce sujet du point de vue de l'imagerie cérébrale. L'hypothèse de la période critique se fonde notamment sur des données issues de la psycholinguistique.

La figure 4.6 présente des travaux portant sur le niveau d'accent d'immigrants italiens arrivés au Canada à des âges variés [18]. Des juges appréciaient la qualité de l'accent : plus la note obtenue était élevée, moins l'accent était détectable. On observe que plus la seconde langue est acquise tardivement, plus l'accent est prononcé. En fait, bien avant la puberté, on a identifié des individus qui, bien qu'ils soient arrivés très jeunes dans un pays (vers 4 – 5 ans), n'atteignent pas le niveau des natifs dans leur seconde langue. Il faut aussi noter sur le graphique de la figure que'il n'y a pas de période « critique » dans le sens où il n'y a pas d'âge critique au-delà duquel les individus auraient une grande aisance et après lequel leurs performances chuteraient soudainement. En effet, certaines versions de la période critique prétendent qu'il y a une plasticité totale jusqu'à la puberté (quelques études situent même la limite à l'âge de 6 ans) et qui disparaîtrait brutalement à l'adolescence. En l'état actuel des travaux publiés, aucun ne vient confirmer une telle continuité.

indélébiles dans les circuits du langage. Cela induit qu'il est impossible d'oublier sa première langue.

Peut-on oublier sa première langue ?

Pour répondre à cette question, nous avons étudié [19] des sujets d'origine coréenne adoptés en France à un âge moyen de 6 ans (le plus jeune avait 3 ans lors de son adoption, le plus vieux 10 ans). L'étude a été réalisée alors que les sujets avaient atteint l'âge de 25 – 30 ans ; ils avaient donc une maîtrise parfaite de la langue française, puisqu'ils résidaient depuis 20 ans environ en France, et ils n'avaient pas été en contact depuis avec leur langue première. Leur tâche en IRM était une écoute de phrase coréenne, japonaise, polonaise ou française.

Les résultats de l'IRMf montrent qu'à l'écoute de phrases coréennes, japonaises ou polonaises, il y a bien des activations bilatérales des gyrus temporaux supérieurs, mais aucune réponse spécifique au coréen, même en résultat individuel ! En revanche, l'observation des activations aux phrases françaises révèle que ces sujets ont des activations similaires à celles d'un groupe de Français natifs.

De tels résultats peuvent être dus à un manque de sensibilité de la technique employée ou correspondre à un réel effacement de la première langue. Sans pouvoir apporter de réponse définitive à cette dernière hypothèse, on peut l'étoffer en prenant appui sur les enseignements de tests comportementaux réalisés sur ce même groupe. Un certain nombre d'entre eux montrent que les adoptés coréens se comportent comme des monolingues français. Par exemple, ils ne perçoivent plus la différence de consonnes du coréen, particulièrement difficiles pour une oreille française : ils ont perdu la faculté de discriminer [20]. Plus généralement, ils décodent la parole avec les mêmes règles phonotactiques et phonologiques que les Français, différentes de celles des Coréens. Ces données prouvent qu'il y a une forte plasticité des circuits d'apprentissage du langage, au moins jusqu'à l'âge de 10 ans (âge maximum testé dans cette étude).

Une telle conclusion peut sembler contradictoire avec les études qui montrent des effets d'âge d'acquisition très précoces. Il demeure probable que l'interférence avec la première langue demeure l'une des grandes sources de difficultés à faire l'apprentissage d'une seconde langue (plus la première langue est fixée, plus il est difficile d'acquérir la seconde). Dans l'exemple des adoptés coréens, les sujets n'ont en quelque sorte plus eu besoin de leur langue initiale et ils ont pu mobiliser le système de cette langue pour apprendre la seconde.

Peut-on expliquer les différences interindividuelles de capacité à apprendre les langues étrangères ?

es sensibles de niveau à l'entrée à l'université, la langue la moins maîtrisée : étant le chinois.

spartités pouvaient-elles s'expliquer par des différences dans les capacités de aire et de la boucle phonologique ?

ne à effectuer, pour ces deux groupes de sujets singapouriens (le groupe de s bilingues et le groupe de bilingues plus médiocres), consistait, à l'écoute français, totalement étrangers pour eux, à mémoriser ces mots et à en les répétitions dans des suites de mots. C'est une tâche très facile, le taux rformance atteint étant de l'ordre de 85 – 95 %, mais qui met néanmoins t mémoire phonologique (il faut avoir préalablement mémorisé un mot détecter à deux items de distance).

ux groupes réalisaient les mêmes performances. En revanche, les activa- rébrales (figure 4.7, voir atlas couleur, p. 162) étaient différentes dans et Broca (circuits dont on pense qu'ils sont mis en jeu dans la boucle gique). Les bons bilingues activaient plus ces deux zones, en fonction de ulté de la tâche, que les « mauvais » bilingues. On observe également (bien ne soit pas visible sur la figure) que les bilingues médiocres, à performan- s, désactivent plus les aires médiales liées à l'attention et à l'effort.

emple ne répond malheureusement pas réellement à la question initiale- sée (« Peut-on expliquer les différences ? »). En effet, ce qu'on observe n'est e que le constat et non l'explication que les sujets considérés sont soit de it de médiocres bilingues. Pour apporter une réponse viable, il faudrait faire un comparatif avant/après l'apprentissage de la seconde langue, ce ncore pas été fait en imagerie. En revanche, la psychologie a déjà réalisé ce tudes.

tude réalisée en Finlande [22] a testé des enfants avant qu'ils commencent rdre l'anglais, dans une tâche de mémoire phonologique : la répétition de mots. Trois ans plus tard, leur niveau en anglais corrélait avec le score dans cette tâche. Une bonne mémoire phonologique semble donc bien facteur positif dans l'acquisition d'une seconde langue.

rences anatomiques interindividus

précédente était d'ordre fonctionnel, mais on peut également se poser la n de l'existence de différences anatomiques pour la capacité d'apprentis- ine langue ou de sons étrangers.

Golestani, dans notre laboratoire [23], a entraîné une centaine de sujets à percevoir la différence entre deux consonnes utilisées en hindi (une ne rétroflexe et une consonne dentale). Ce contraste est assez difficile pour teurs français. À l'issue d'un entraînement assez bref, deux groupes ont été : les dix meilleurs (G1) et les dix moins bons (G2). Nous avons pris chez ces différents types d'images : anatomiques, fonctionnelles et de diffusion.

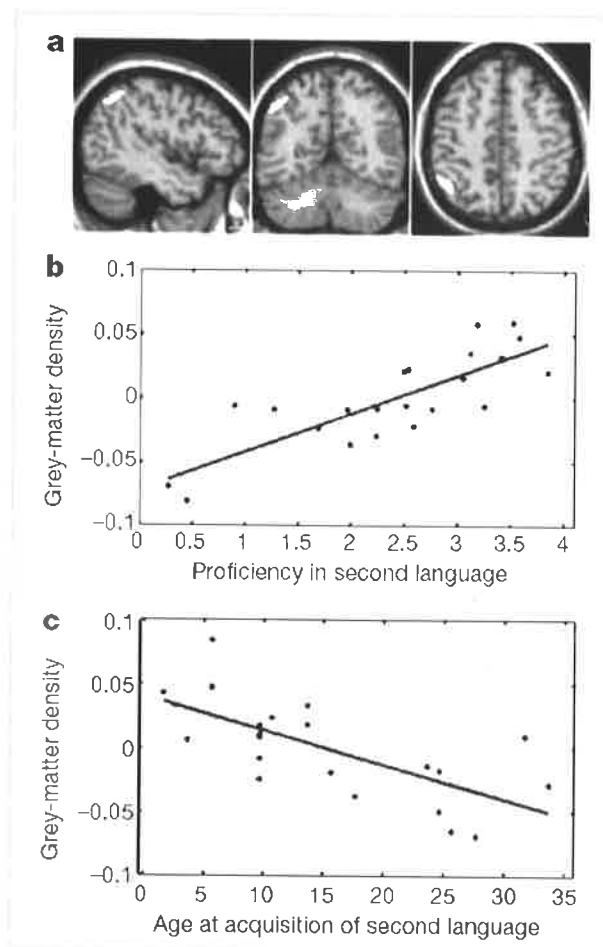


Figure 4.9. Une étude a identifié une zone pariétale où la probabilité d'avoir de la matière grise est d'autant plus importante que les sujets ont appris tôt une seconde langue et ont atteint un bon niveau (reproduite d'après Mechelli et al., 2004 [24]).

différence du volume de Heschl ne peut évidemment pas s'expliquer par l'entraî- nement, trop bref, et doit donc préexister à l'expérience. Cette différence de volume est peut être d'origine génétique, mais il est également possible d'y voir de l'acquis plutôt que de l'inné. On peut par exemple imaginer que les membres du second groupe ont reçu une meilleure éducation musicale, et qu'ainsi ils ont développé Heschl. À nouveau, ces données ne permettent pas de trancher. Il faudrait pouvoir suivre longitudinalement des enfants qui acquièrent le langage.

Une question légitime est la suivante : y a-t-il des différences structurales entre les cerveaux bilingue et monolingue ? Une étude toute récente [24] apporte une réponse à cette question. Les auteurs ont utilisé la technique de *voxel based*

par la VBM, de l'anatomie de 25 monolingues versus 58 bilingues. Le test est une probabilité plus importante de présence de matière grise dans la région pariétale inférieure chez les bilingues que chez les monolingues, de façon significative. Cette région n'est pas habituellement considérée comme une des régions essentielles du langage ; néanmoins, elle peut être activée dans certaines situations de fluence sémantique.

Une seconde expérience a été réalisée sur un groupe de 22 Italiens qui avaient un bilinguisme anglais entre 2 et 34 ans (leur niveau de maîtrise était inversement corrélé à l'âge d'apprentissage). Les résultats montrent une corrélation positive entre le niveau de maîtrise et la « densité » de matière grise dans la même région pariétale inférieure. La constance des résultats des deux expériences est particulièrement intéressante. Il est vraisemblable que les modifications de matière grise dans la région pariétale inférieure sont le résultat de l'apprentissage d'une seconde langue (puisque elles sont corrélées avec l'âge d'acquisition et le niveau de maîtrise). On peut espérer que ces résultats inaugurent une série de travaux comparant des cerveaux bilingues et des cerveaux monolingues.

Conclusion

Les données d'imagerie cérébrale sur le cerveau bilingue sont encore assez peu nombreuses. La question qui a reçu le plus d'attention est celle du recouvrement et de la dissociation des aires utilisées par la première et la seconde langue. Les paramètres les plus étudiés ont été l'âge d'acquisition et le niveau de maîtrise, qui sont généralement très corrélés. Dans les études publiées, l'effet du niveau de maîtrise semble plus manifeste que celui de l'âge d'acquisition : plus une langue est mal maîtrisée, plus les activations ont des étendues importantes, indiquant probablement l'effort plus important que nécessite le traitement de la seconde langue. Chez les bilingues de haut niveau, les patterns d'activation sont similaires aux deux langues, et se recouvrent quasiment entièrement (il faut garder à l'esprit la résolution spatiale permise par les techniques d'imagerie, qui est de l'ordre de quelques millimètres carrés de cortex).

Les travaux plus récents se penchent sur de nouvelles questions et s'intéressent particulièrement aux différences interindividuelles. La question des changements de matière grise induits dans le cerveau lors de l'apprentissage d'une seconde langue est certainement l'une des plus fascinantes et commence tout juste à être explorée [25-27].

References

Amann GA, Whitaker HA. The Bilingual Brain. *Arch Neurol* 1978 ; 35 : 409-12.
 Basso DM, Hillyard DR, Münte TF, McKhann GM, Ojemann GA. Functional separation of languages in the human brain: a comparison of electrical stimulation language mapping in 25 bilingual

- 4 Klein D, Zatorre R, Milner B, Meyer E, Evans A. Left putaminal activation when speaking a second language: evidence from PET. *Neuroreport* 1994 ; 5 : 2295-7.
- 5 Klein D, Milner B, Zatorre R, Meyer R, Evans A. The neural substrates underlying word generation : a bilingual functional-imaging study. *Proc Natl Acad Sci* 1995 ; 92 : 2899-903.
- 6 Klein D, Milner BA, Zatorre RJ, Zhao V, Nikelski EJ. Cerebral organisation in bilinguals: A PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport* 1999 ; 10 : 2841-6.
- 7 Illes J, Francis WS, Desmond JE, Gabrielli JDE, Glover GH, Poldrack R, et al. Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals. *Brain Lang* 1999 ; 70 : 347-63.
- 8 Hernandez AE, Dapretto M, Mazziotta J, Bookheimer S. Language switching and language representation in Spanish-English bilinguals : an fMRI study. *Neuroimage* 2001 ; 14 : 510-20.
- 9 Chee MW, Caplan D, Soon CS, Sriram N, Tan EW, Thiel T, et al. Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron* 1999 ; 23 : 127-37.
- 10 Perani D, Dehaene S, Grassi F, Cohen L, Cappa S, Dupoux E, et al. Brain processing of native and foreign languages. *Neuroreport* 1996 ; 7 : 2439-44.
- 11 Dehaene S, Dupoux E, Mehler J, Cohen L, Paulesu E, Perani D, et al. Anatomical variability in the cortical representation of first and second languages. *Neuroreport* 1997 ; 8 : 3809-15.
- 12 Perani D, Paulesu E, Sebastian-Galles N, Dupoux E, Dehaene S, Bettinardi V, et al. The bilingual brain. Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain* 1998 ; 121 : 1841-52.
- 13 Kim KHS, Relkin NR, Lee KM, Hirsch J. Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature* 1997 ; 388 : 171-4.
- 14 Vingerhoets G, Van Borsel J, Tesink C, Van den Noort M, Deblaere K, Seurinck R, et al. Multilingualism : an fMRI study. *Neuroimage* 2003 ; 20 : 2181-96.
- 15 Wartenburger I, Heekeren HR, Abutalebi J, Cappa S, Villringer A, Perani D. Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron* 2003 ; 37 : 159-70.
- 16 Golestani G, Pallier C. Syntax production in bilinguals [en préparation].
- 17 Pinker, S. L'instinct du langage. Paris : Odile Jacob ; 1999
- 18 Flege JE, Munro MJ, MacKay IRA. Factors affecting strength of perceived foreign accent in a second language. *J Acoust Soc Am* 1995 ; 97 : 3125-34.
- 19 Pallier C, Dehaene S, Poline JB, LeBihan D, Argenti AM, Dupoux E, et al. Brain imaging of language plasticity in adopted adults : can a second language replace the first ? *Cereb Cortex* 2003 ; 13 : 155-61.
- 20 Ventureyra V, Pallier C, Yoo HY. The loss of first language phonetic perception in adopted Koreans. *J Neurolinguistics* 2004 ; 17 : 79-91.
- 21 Chee MW, Soon CS, Lee HL, Pallier C. Left insula activation: A marker for language attainment in bilinguals. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004 ; 101 : 15265-70.
- 22 Service E. Phonology, working memory, and foreign-language learning. *Q J Exp Psychol A* 1992 ; 45 : 21-50.
- 23 Golestani N, Molko N, Pallier C. Anatomical correlates of learning novel speech sounds. Poster presented at the Cognitive Neuroscience Society 10th Annual Meeting ; 2004 ; New York.

1 DE, Tajima K, Callan AM, Kubo R, Masaki S, Akahane-Yamada R. Learning-induced neural plasticity associated with improved identification performance after learning of a difficult second-language phonetic contrast. *Neuroimage* 2003 ; 19 : 113-24.

tani N, Zatorre RJ. Learning new sounds of speech : reallocation of neural resources. *Neuroimage* 2004 ; 21 : 494-506.

yeau G, Marie N, Balduyck S, Gros H, Démonet JF, Cardebat D. Lexical learning of a new language : a PET study in healthy French subjects. *Neuroimage* 2004 ; 22 : 115-118.

Chapitre 5

Voir les mots : imagerie et pathologie de la lecture

Laurent Cohen

Introduction

Nous avons aujourd'hui à peu près le même crâne qu'il y a 100 000 ans et son contenu est probablement sensiblement identique. Néanmoins, il y a 100 000 ans nous ne savions pas lire alors que maintenant nous savons le faire. Cela signifie que les mécanismes cérébraux spécialisés pour la lecture ne sont pas innés, mais acquis. Le fait que nous puissions apprendre à lire signifie que nous exploitons des mécanismes plus généraux qui sont déjà présents, qui peuvent servir à apprendre à lire, mais qui ont également d'autres raisons d'être. De ce fait, si les différentes cultures ont développé différents systèmes d'écriture assez variés, ceux-ci ne sont pas absolument quelconques, ils présentent tous un air de famille parce qu'ils doivent être compatibles avec la machinerie cérébrale qu'ils exploitent.

Système visuel et système du langage

Le premier système d'intérêt général sur lequel s'appuie le développement de la lecture est évidemment la vision : notre système visuel sait reconnaître des objets et il est apte à apprendre à reconnaître les objets particuliers que sont les lettres et les ensembles de lettres. Le second système exploité est le système du langage. Le langage humain a ceci de particulier qu'il est organisé de façon hiérarchique : les phrases viennent les unes après les autres ; ces phrases sont faites de mots qui viennent les uns après les autres ; ces mots sont faits de syllabes qui viennent les unes après les autres, etc.

Quand on apprend à lire, on apprend d'une part à enrichir le répertoire visuel d'un certain nombre d'objets particuliers que sont les lettres (on apprend un alphabet), d'autre part on apprend à porter l'attention sur des petits morceaux de