HAL
open science

Imagerie cérébrale du cerveau bilingue

Christophe C Pallier, Anne-Marie Liliane Argenti

To cite this version:

Christophe C Pallier, Anne-Marie Liliane Argenti. Imagerie cérébrale du cerveau bilingue. Olivier Etard; Nathalie Tzourio-Mazoyer. Cerveau et Langage., Hermès, 2003, Traité de Sciences Cognitives,, 9782746207677. hal-02336699

HAL Id: hal-02336699

https://hal.science/hal-02336699v1

Submitted on 29 Oct 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Chapitre 1

Imagerie cérébrale du cerveau bilingue

Le cerveau bilingue fascine. Plusieurs questions viennent naturellement à l'esprit : en quoi le cerveau d'un bilingue diffère-t-il du cerveau d'un monolingue ? Les deux langues d'un bilingue sont-elles traitées par les mêmes aires cérébrales, ou bien par des aires partiellement ou totalement distinctes ? Y-a-t-il forcément une langue « dominante » ? La mesure des activations cérébrales permet-elle de prédire la capacité d'un individu à maitriser une seconde langue ? Que se passe t-il lors de la traduction d'une langue à l'autre ?...

Pendant longtemps, les seules données dont disposaient les neuropsychologues reposaient sur la description des déficits consécutifs à des lésions cérébrales. Ainsi, on savait que des bilingues peuvent perdre de façon sélective l'usage d'une de leurs deux langues, et que la langue préservée n'est pas nécessairement la langue maternelle, ni celle qu'ils parlaient le plus couramment avant l'accident. Quelquefois, mais pas toujours, la langue « perdue » peut être progressivement récupérée (comme chez des aphasiques monolingues). Bien entendu, la perte de l'usage d'une langue ne signifie pas forcément que celle-ci soit complètement « effacée » du cerveau. D'ailleurs, dans la phase de récupération, certains patients peuvent employer uniquement l'une de leur deux langues certains jours et, d'autres jours, uniquement l'autre langue [PAR 95]. D'autres données étaient fournies par la technique de stimulation électrique intracrânienne. La stimulation de certains sites peut empêcher la production de parole. Or, de façon intéressante, l'excitation des certains sites interfère quelle que soit la langue, alors que d'autres sites affectent de façon sélective la première ou la seconde langue [OJE 83]. Ces observations suggèrent que les deux langues ne recrutent pas exactement les mêmes aires cérébrales. Toutefois, la complexité et la variabilité de ces

---

Chapitre rédigé par Christophe PALLIER et Anne-Marie ARGENTI.

observations n'a pas permis de dégager de conclusions très fermes quant au cerveau bilingue. C'est pourquoi l'avènement des techniques d'imagerie cérébrale moderne (TEP et IRMf) a provoqué beaucoup d'espoir parmi les neurolinguistes intéressés par le fonctionnement du langage, chez les monolingues comme chez les bilingues.

Ce chapitre présente une revue des travaux publiés sur l'imagerie du cerveau bilingue. Ces travaux n'étant pas si nombreux à l'heure actuelle, nous avons estimé utile d'examiner également les études qui ont comparé la perception de la langue maternelle et de langues étrangères, chez des monolingues. Du point de vue du bilinguisme, les deux questions les plus importantes sont : a) quelles aires cérébrales ont été modifiées par l'acquisition de la langue maternelle ? b) Y-a-t-il des différences d'organisation cérébrale entre des populations de monolingues parlant des langues différentes ?

1.1. Traitement de la langue maternelle

Notre langue maternelle ne conditionne certainement pas toute notre pensée, mais elle influence clairement notre perception des sons de parole. Les différentes langues humaines emploient des sons différents pour construire les mots, et il arrive fréquemment qu'un locuteur soit incapable de percevoir la différence entre des sons qui sont pourtant distingués par les locuteurs d'une langue étrangère. De nombreux travaux de psychologie expérimentale ont démontré que le système perceptif de décodage de la parole est spécialisé pour la langue maternelle (voir [PAL 97] et [STR 95] pour des revues). Les études sur l'acquisition du langage chez les très jeunes enfants montrent que c'est dès la première année de vie que ce système se spécialise pour la langue maternelle [WER 84, KUH 92]. Alors qu'à la naissance le bébé discrimine spontanément tous les sons des langues humaines, vers 12 mois déjà, il est devenu moins sensible à certaines distinctions qui ne sont pas présentes dans son environnement (bien qu'il conserve la capacité de réapprendre ces sons plus tard [WER 92, WER 94]).

Peut-on détecter des corrélats cérébraux des processus spécialisés pour la langue maternelle ? En utilisant les potentiels évoqués, [NÄÄTÄN 97] ont observé une réponse de mismatch (MMN) distinctes chez des locuteurs finnois et estoniens lorsque ceux-ci entendaient une voyelle qui existe dans une langue mais pas dans l'autre. Plus précisément, des voyelles /ö/ ou /õ/ étaient présentées au milieu d'une série de voyelles identiques /e/. La voyelle /ö/ existe en finnois comme en estonien ; par contre /õ/ n'existe qu'en estonien. La MMN est une réponse observée lorsque le cortex détecte un changement sonore. Or, les potentiels évoqués révèlent une atténuation de la MMN chez les finnois lorsque le stimulus déviant est /õ/, précisément la voyelle qui n'existe pas dans leur langue. À l'aide de la magnéto-encéphalographie, les auteurs localisent l'origine de la MMN dans une zone proche du cortex auditif, dans le gyrus temporal supérieur gauche, qui semble effectivement être une des aires les plus importantes pour le décodage acoustico-phonétique des sons de parole [HIC 00, BUR 00, WIS 01].

Il faut souligner qu'il est possible d'entraîner des personnes à percevoir la différence entre des sons qui leur sont, au départ, quasiment indistinguables. Ainsi [KRA 95] ont entraîné treize adultes américains à détecter la différence entre deux versions synthétiques de la syllabe « *da* ». Ils ont observé une augmentation de l'amplitude et de la durée de la MMN, consécutive à l'entrainement. Des travaux qui font suite ont montré que l'apparition de la MMN peut précéder la capacité à percevoir consciemment une différence pour des distinctions particulièrement subtiles [TRE 98, TRE 97].

Une autre étude mesurant la MMN a comparé des locuteurs japonais et français [DEH 00]. Ces deux langues diffèrent par les suites de sons autorisées. Par exemple des groupes de consonnes comme « *dm* », « *bz* » sont acceptables à l'intérieur de mots français mais pas dans des mots japonais. En fait, lorsqu'on présente un stimulus tel que « *adma* » à des japonais, ils affirment entendre « *aduma* » : leur système de perception de parole insère une voyelle illusoire « *u* » pour rendre le stimulus conforme à la langue japonaise. Cela se traduit par le fait que les japonais ont les plus grandes difficultés à entendre la différence entre des stimuli comme « adma » et « aduma » [DUP 99]. De fait, [DEH 00] ont découvert que seuls les locuteurs français exhibaient une MMN dans une situation où « *adma* » était le stimulus de référence et « *aduma* » le stimulus déviant. Ce résultat montre une influence de la phonologie de la langue maternelle sur une étape très précoce du traitement de la parole.

Les langues humaines ne diffèrent pas seulement par les phonèmes qu'elles emploient et par les règles pour les combiner. Par exemple, le chinois et le thaï sont des langues qui utilisent les tons, c'est à dire des variations de la hauteur de la voix, pour distinguer les mots. Le français ou l'anglais n'utilisent pas la hauteur de la voix pour distinguer les mots entre-eux. Cette différence se reflète-elle dans les activations corticales des locuteurs des langues tonales et non-tonales lorsque ceux-ci écoutent leur langue maternelle ?

Plusieurs études ont utilisé la TEP pour comparer des locuteurs de l'anglais, du chinois ou du thaïlandais alors que ceux-ci devaient discriminer des stimuli sur la base de leur pattern tonal [KLE 01, GAN 98, GAN 00, HSI 01]. Bien que les aires activées varient quelque peu selon ces études, leurs résultats convergent en montrant que les anglais, dont la langue maternelle n'utilise pas les tons, activent essentiellement des aires frontales de l'hémisphère droit pour traiter ces stimuli, alors que les chinois ou les thaï montrent des activations dominantes à gauche. L'étude de [HSI 01] incorporait une condition expérimentale où la discrimination pouvait s'effectuer sur la base des voyelles. Dans cette situation, les anglais montrent des activations dans l'aire de Broca, de façon similaire aux chinois quand ceux-ci traitaient les tons. Cela suggère que l'aire de Broca est utilisée dès lors qu'il faut encoder en mémoire de travail des caractéristiques utilisée dans la phonologie de langue. L'absence d'activation chez les chinois, dans l'aire homologue de Broca à droite, qui sous-tend les discriminations fondées sur la hauteur de la voix, est notable. On aurait pu imaginer que cette aire soit,

au contraire, sur-recrutée chez des gens dont la langue exigent des discriminations fondées sur la hauteur de la voix.

Les études que nous venons de décrire se concentraient exclusivement sur des stimuli très simples, typiquement des syllabes présentées en isolation. Elles ont cependant déjà permis de mettre en évidence des réponses cérébrales spécifiques aux sons de la langue maternelle. On pourrait imaginer que d'autres différences entre les langues, par exemple du point de vue grammatical, puissent également avoir un impact sur les représentations corticales. Qu'en est-il lorsqu'on présente à des participants de la parole plus « naturelle » ?

La première étude qui a comparé les activations cérébrales lors de l'écoute d'un discours dans la langue maternelle et dans une langue inconnue est celle de [MAZ 93]. Des participants français écoutaient des histoires en français ou en tamil, une langue du sud de l'Inde et du Sri Lanka. L'écoute passive du tamil entraînait des augmentations détectables du débit sanguin uniquement dans les gyri temporaux supérieurs, alors que l'écoute du français activait également des zones médianes du lobe temporal gauche, le gyrus frontal inférieur gauche, ainsi que les pôles temporaux bilatéralement, et une aire préfrontale supérieure (dans BA8). Il faut souligner que tous les niveaux de traitement utiles pour la compréhension de la parole, du niveau phonologique au niveau conceptuel, sont mis en jeu dans une telle comparaison. Mais de façon intéressante, les auteurs avaient également inclus une condition de « jaberwooky », c'est à dire de parole continue mais où les mots lexicaux (noms, verbes et adjectifs) ont été remplacé par des pseudo-mots sans signification. Par comparaison avec le tamil, cette condition provoquait des activations dans les pôles temporaux, que les auteurs interprétaient comme pouvant être liés au traitement de la prosodie. Notons ici qu'une difficulté dans l'interprétation des activations dues langue étrangère, est qu'on ne sait pas précisement jusqu'à quel point les processus de décodage phonologique/prosodique, voire de reconnaissance des mots, sont impliqués.

Deux autres études ont employé des stimuli de discours continu naturel : [PER 96] ont présenté de courtes histoires enregistrées en italien et en japonais à des Italiens ; [SCH 98] a, lui, présenté des phrases en Anglais et en Turc à des Américains. L'étude de [PER 96] (détaillée plus bas dans la section sur les bilingues) utilisait le PET, et reproduisait en partie les résultats de Mazoyer : la soustraction Italien-Japonais révèle des activations dans le gyrus frontal inférieur gauche (BA 45), dans les pôles temporaux, ainsi que dans les gyri angulaires gauche et droits. Bien que cette comparaison (Italien-Japonais) ne révèle pas d'activation dans le lobe temporal gauche, celui-ci est activé (Ba21) dans une soustraction faisant intervenir une autre condition contrôle, constituée des phrases japonaises jouées à l'envers. Il est possible que la consigne donnée aux sujets (« vous devrez répondre à des questions portant sur des caractéristiques physiques des phrases japonaises »), ait conduit ceux-ci à faire un effort de décodage des phrases étrangères plus important que celui exigé par la consigne donnée par Mazoyer et al.. Les auteurs suggérent que cette zone pourrait être spécialisée pour

le traitement du signal de parole quel que soit la langue (par exemple, pour effectuer un décodage phonétique ou prosodique).

[SCH 98] utilisait l'IRMf, ce qui lui a permis d'examiner les résultats individuels et de constater la très bonne reproductibilité des activations : tous les sujets montraient des activations plus importantes dans la partie postérieure du sillon temporal supérieur gauche lors de l'écoute de l'anglais par rapport à l'écoute du turc (et dans une moindre mesure, dans des aires symétriques à droite). La moitié des sujets montraient également une activation dans le gyrus frontal inférieur, peut-être parce qu'ils se répétaient mentalement les phrases en les écoutant. L'absence d'activation dans les pôles temporaux est peut-être due à la difficulté à observer cette région en IRMf. Chez aucun des participants, qui étaient tous de langue anglaise, le turc n'a provoqué d'activation supérieure à celle due à l'anglais.

Les études précédents employaient des locuteurs de diverses langue maternelles. Permettent-elles de conclure que les mêmes zones corticales sont employées pour comprendre le langage, quelle que soit la langue maternelle ? En d'autres termes, l'organisation cérébrale de locuteurs monolingues ayant des langues maternelles différentes est-elle rigoureusement identique ? Conclure dans un sens ou dans l'autre serait certainement trop hâtif au vu la faible base de données actuelle, notamment du point de vue des langues examinées. On ne peut exclure la possibilité que l'amélioration des techniques de mesure permette un jour de détecter des différences entre certaines langues qui domineraient les variabilités interindividuelles. De fait, il existe déjà deux cas, certes un peu particuliers, qui montrent des différences en fonction de la langue maternelle : il s'agit d'une part, de la lecture, et d'autre part, de la langue des signes.

[PAU 00] ont étudié la lecture chez des volontaires italiens et anglais, et ont observé des patterns d'activations différents en fonction de la langue maternelle. Les sujets lisaient des mots ou des pseudo-mots, tout en étant scannés par TEP. Alors que l'orthographe de l'italien est très régulière, celle de l'anglais est notoirement complexe. Les Italiens montraient une activation plus importante que les Anglais dans la zone du planum temporale gauche, une région régulièrement associée aux processus phonologiques. Les Anglais montraient, eux, des activations plus importantes dans la région inféro-temporale postérieure et la partie antérieure du gyrus frontal inférieur. Cette étude démontre que des caractéristiques de l'orthographe de la langue maternelle ont un impact sur les activations cérébrales lors de la lecture. En fait, il serait passionnant de savoir ce que des bilingues italiens/anglais active lorsqu'ils lisent chacune de ces deux langues.

La seconde étude qui révèle un impact de la langue maternelle sur les activations cérébrales est celle de [NEV 98]. Ils ont comparé des locuteurs sourds de la langue des signes à des locuteurs entendants de l'anglais. Lorsque les sourd-muets traitent la langue des signes, ils activent à gauche les mêmes aires temporales et frontales

que des locuteurs entendants traitant leur langue maternelle. Toutefois, les sourds-muets montrent également des activations très importantes dans les aires homologues à droite. Les auteurs suggèrent que le codage spatial de l'information, typique de la langue des signes, pourrait mobiliser des fonctionnalités de l'hémisphère droit. Ils concluent qu'il existe des contraintes biologiques fortes qui prédisposent l'hémisphère gauche à traiter le langage, mais que la modalité d'acquisition à un impact sur l'organisation des activations cérébrales.

En résumé, l'apprentissage du langage est sous-tendu par des modifications des réseaux neuronaux, et l'imagerie cérébrale utilisant les potentiels évoqués, la TEP ou l'IRMf, révèle des différences de traitement des stimuli linguistiques selon qu'ils appartiennent ou non à la langue maternelle. Néanmoins, il serait important de mieux comprendre les processus qui peuvent être déclenchés par l'écoute de stimuli de langue étrangère. Par exemple, il semble a priori naturel que le système de décodage acoustico-phonétique, même s'il est spécialisé pour la langue maternelle, essaye de traiter ces stimuli. Quelles conséquences cela a-t-il pour les activations cérébrales ? La seule indication nous nous disposions à l'heure actuelle est la comparaison entre japonais « à l'endroit » et « à l'envers » de l'étude de [PER 98],qui révélait des activations dans le cortex temporal médian chez des italiens . Plus de travaux sont nécessaires pour comparer les traitements de la parole étrangère et de stimuli auditifs non-linguistiques.

Les activations observées lors de l'écoute de discours dans la langue maternelle (principalement le long du sillon temporal supérieur à gauche) sont assez reproductibles entre individus, et à travers les quelques langues qui ont été examinées Toutefois, on n'est pas encore en mesure d'affirmer que toutes les langues du monde sont représentées corticalement de la même façon. Des études plus précises qui, idéalement, isoleraient les différentes étapes de traitement, lors de la compréhension, mais également lors de la production du langage seront nécessaires. En effet, il est clair que des travaux comparant les locuteurs monolingues de différentes langues sont essentiels pour l'étude du cerveau des bilingues.

1.2. Le cerveau bilingue

Une quinzaine d'études ont été publiées qui ont examiné des bilingues avec la TEP ou l'IRMf. Le tableau 1 les répertorie.

Dans ce qui est, à notre connaissance, la toute première étude d'imagerie du bilinguisme, [KLE 94] ont demandé à des bilingues anglais/français de répéter des mots, soit dans leur première langue (L1=anglais), soit dans leur seconde langue (L2=français), alors qu'ils étaient placés dans une caméra à positons. Bien que ces bilingues, tous canadiens, avaient appris le français après l'âge de cinq ans (moyenne=7.3 ans), ils avaient néanmoins un bon niveau dans cette langue. Le résultat le plus remarquable

Tableau 1.1. *Liste des études sur le bilinguisme utilisant la TEP ou l'IRMf*

Référence	Sujets bilingues	Tâche(s)	Meth.	Résultats
[KLE 94]	français-anglais (L2 appris après 5 ans)	répétition de mots de L1 ou L2	PET	L2 > L1 putamen gauche
[KLE 95]	"	génération de mots / traduction	PET	L1 = L2
[KLE 99]	mandarin-anglais (HP)	répétition de mots	PET	L1 = L2
[YET 96]	diverses langues (LP)	génération de mots		L1 < L3
[CHE 99a]	mandarin-anglais (HP/EA)	Compréhension de phrases écrites en anglais ou en chinois	IRM	L1 = L2
[CHE 99b]	mandarin-anglais (HP/EA et HP/LA)	génération de mots à partir de la syllabe initiale	IRM	L1 = L2, pour EA et LA
[CHE 01]	mandarin-anglais (HP/EA et LP/LA)	jugements sémantiques	IRM	L1<L2 en préfrontal et parietal
[ILL 99]	anglais-espagnol (LA)	décision sémantique (concret/abstrait) et non-sémantique (casse)	IRM	L1 = L2
[KIM 97]	langues diverses (EA et LA)	génération de discours intérieur	IRM	EA : L1 = L2, LA : L1 <> L2 vers Broca
[PER 96]	Italien-Anglais (LA)	écoute d'histoires	PET	L2 << L1
[PER 98]	Italien-Anglais (HP/LA) et Espagnol-Catalan (HP/EA)	écoute d'histoires	PET	L1 = L2
[DEH 97]	français-anglais (LA)	écoute d'histoires	IRM	L2 plus variable que L1
[PRI 99]	allemand-anglais (HP)	Traduction	PET	
[HER 00]	espagnol-anglais (EA)	dénomination d'images	IRM	L1 = L2
[RIN 00]	finnois-anglais (HP)	traduction simultanée	PET	(L1->L2) > (L2->L1)
[NEV 98]	langue des signes-anglais	lecture de l'anglais/ visualisation signes	IRM	activations à gauche pour l'anglais, bilatérale pour l'ASL

Note : L1=première langue ; L2=seconde langue ; EA=bilingues précoces (early acquisition) ; LA=bilingues tardifs (late acquisition) ; HP=très bon niveau en L2 (high proficiency) ; LP=niveau moyen en L2 (low proficiency) ;

est la grande similarité des patterns d'activations dans les deux conditions : la seule différence entre L1 et L2 était localisée dans le putamen gauche, plus activé par L2 que par L1. Les auteurs ont avancé l'hypothèse que cela pouvait être du à un contrôle moteur plus complexe pour articuler des mots dans la seconde langue plutôt que dans la première. À l'appui de cette interprétation, ils remarquent qu'une atteinte du putamen peut entraîner l'apparition du « syndrome de l'accent étranger ».

Cependant, dans une continuation de ces travaux, [KLE 95] ont demandé aux particpants d'effectuer des tâches plus complexes qu'une simple répétition de mots : ils devaient générer des mots à partir d'une rime, trouver des synonymes, ou bien traduire des mots d'une langue vers l'autre. En prenant comme ligne de base la répétition de mot dans chaque langue, les auteurs n'ont observé aucune différence entre L1 et L2, ni de différence entre les diverses tâches de génération : dans toutes les conditions, un réseau frontal comprenant (BA 45, 46, 47 et 8) était mis en évidence. [KLE 99] réplique ce résultat, c'est à dire un recouvrement complet entre L1 et L2, chez sept bilingues ayant le mandarin comme langue maternelle et l'anglais comme seconde langue.

On pourrait éventuellement argumenter que la TEP manque de résolution spatiale. Toutefois, le même type de résultat a été obtenu dans deux études utilisant l'IRMf [CHE 99b, ILL 99]. [CHE 99b] utilisaient une tâche de complétion de syllabe (où le participant voit, par exemple « *pal* », et doit fournir des mots commençant par ces lettres). Vingt-quatre bilingues Mandarin/Anglais ont été testés, dont une quinzaine avait été exposés à l'anglais avant l'âge de six ans (et utilisaient plus l'anglais que le chinois au quotidien) et neuf avait appris l'anglais plus tardivement, après l'âge de 12 ans. Aucune différence entre L1 et L2 n'est ressortie ; de plus, les réseaux activées sont les mêmes pour les bilingues précoces que pour les bilingues tardifs.

Dans l'étude d'[ILL 99], les participants étaient des bilingues anglais/espagnols ayant été exposés à leur seconde langue au plus tôt vers 11 ans. Ils devaient effectuer soit une tâche de décision sémantique (décision concret ou abstrait), soit une tâche de décision de surface (décision majuscules ou minuscules). La comparaison des deux tâches révèle des activations significatives dans le gyrus frontal inférieur gauche et droit, mais, encore une fois, aucun effet de langue.

Dans les études présentées jusqu'ici, les stimuli étaient de simples mots. Mais une étude au moins, en IRMf, a présenté des phrases entières que les sujets devaient comprendre [CHE 99a]. Les phrases étaient présentées visuellement, en anglais ou en chinois mandarin, à des bilingues ayant appris les deux langues dans l'enfance. Encore une fois, les analyses montrent les mêmes aires cérébrales (dans des régions préfrontales, temporales, et pariétales supérieures, ainsi que dans l'aire motrice supplémentaire) pour les deux langues, et cela, malgré la différence entre les caractères chinois et anglais.

Il est notable que les volontaires qui ont participé dans ces études étaient, presque tous, des bilingues de très bon niveau. Cela contraste avec deux études, qui ont également utilisé des tâches de production de la parole, et qui ont observé des patterns d'activation différences pour L1 et L2 [YET 96, CHE 01].

Dans l'étude de [YET 96], cinq participants devaient générer mentalement des mots commençant par une lettre donnée, dans une des trois langues qu'ils connaissaient. Le nombre de voxels activés significativement dans le lobe frontal gauche

étaient plus important pour la langue dans laquelle le sujet était le moins bon. Cependant, selon les informations fournies sur les sujets, il semble probable qu'ils n'aient eu que quelques connaissances scolaires de L3 ; si tel est le cas, la différence d'activation refléterait essentiellement un effet de difficulté.

Cette interprétation est renforcée par l'étude récente de [CHE 01]. Les participants étaient des bilingues Mandarin/Anglais, dont certains avaient appris l'anglais aux environs de la puberté, et avaient des performances moins bonnes que des bilingues plus précoces en anglais. La tâche comportemental requérait un jugement sémantique qui induisait des activations frontales et pariétales moins importantes pour la langue dominante. Des activations frontales inférieures droites étaient également associées à la langue la moins bien maîtrisée et acquise le plus tardivement.

Finalement, ces résultats sont mitigés. Ils ne révèlent pas d'évidentes différences entre L1 et L2, et celles qui ont été observées pourraient être expliqués par des différences de facilité de la tâche dans une langue par rapport à l'autre.

C'est pourquoi l'étude de [KIM 97] retient l'attention car elle a révélé une différence assez frappante entre L1 et L2, modulée par l'âge d'acquisition. [KIM 97] ont demandé à des bilingues précoces ou tardifs de se remémorer mentalement leur journée précédente, soit dans leur première, soit dans leur seconde langue. Avec une IRMf de haute résolution (1.75mm x 1.75mm), Kim et al. ont trouvé, chez tous les individus, des activations dans l'aire de Broca. Ils ont ensuite localisé les centres de gravité des activations, respectivement pour L1 et L2. Chez chacun des bilingues tardifs, ces centroïdes différeraient d'une distance de l'ordre du centimètre, alors que chez les bilingues précoces, les centroïdes étaient quasiment confondus. En d'autres termes, les activations pour L1 et L2 dans Broca étaient superposées pour les bilingues précoces, et séparées spatialement pour les bilingues tardifs. Une analyse similaire dans une région temporale supérieure baptisé « aire de Wernicke » par les auteurs, montre une superposition des deux langues, quel que soit l'âge d'acquisition de L2. La parole interne engageant à la fois des processus phonologiques, syntaxiques, lexicaux et conceptuels, il n'est pas évident de savoir quel(s) niveau(x) est(sont) responsable(s) de ces activations dans Broca. Toutefois, les candidats les plus probables sont la phonologie et la syntaxe, d'une part parce que l'aire de Broca est souvent impliquée par ces processus, et, d'autre part, parce que la phonologie et la syntaxe sont les deux domaines du langage qui semblent le plus affectés par l'âge d'acquisition d'une seconde langue [WEB 96]. Cependant, bien que les volontaires de l'étude de [KIM 97] soient décrit comme « proficient », leur degré de maîtrise de L2 n'a pas été évalué rigoureusement.

Alors, que les études que nous venons de décrire employaient des tâches de production de parole (éventuellement silencieuse), d'autres chercheurs se sont intéressés au versant réceptif de la parole.

[PER 96] ont examiné neuf Italiens qui avaient appris l'anglais à l'école. Ces participants devaient écouter des histoires présentées dans la modalité auditive, soit en italien, soit en anglais, soit en japonais, soit en japonais à l'envers. La TEP montrait que la langue maternelle activait les aires temporales typiquement observées dans cette situation (e.g. [MAZ 93, SCH 98]). Mais de façon surprenante, l'anglais n'activait pas plus d'aires que le japonais (en fait, la comparaison montrait des zones où les activations dues au japonais dépassaient celles dues à l'anglais). Les faibles activations évoquées par une langue pourtant comprise par les participants, était un résultat assez surprenant. Une hypothèse avancée par les auteurs suggérait l'existence de variations individuelles importantes dans les réseaux de traitement de L2. En effet, les analyses statistiques nécessaires pour interpréter les données de TEP sont des analyses moyennes de groupe ; si les sujets dans groupe ont chacun des activations importantes mais qui ne se recouvrent pas spatialement, l'analyse de groupe ne détecte aucune activation.

Pour tester cette hypothèse, [DEH 97] ont utilisé l'IRMf, une technique à même de fournir des données individuelles interprétables. Huit sujets français ayant appris l'anglais à l'école après l'âge de 7 ans, ont participé à cette étude. Leur tâche était d'écouter des histoires en anglais et en français, alternant toutes les demi-minutes avec de la parole temporellement inversée. La comparaison des cartes d'activations individuelles montre clairement plus de variabilité dans les zones activées par L2 que par L1. Par exemple, pour leur seconde langues, deux sujets avaient des activations significatives uniquement dans l'hémisphère droit. Pour expliquer l'origine de cette variabilité, les auteurs évoquent les conditions d'apprentissage de L2 (qui pourraient différer plus pour L2 que pour L1), et éventuellement l'âge précis d'acquisition de L2.

[PER 98] ont poursuivi ces travaux en posant la question de savoir lequel des deux facteurs : âge d'acquisition et degré de maîtrise de la seconde langue, déterminait le recouvrement des aires employées pour comprendre L1 et L2. [PER 98] ont examiné des bilingues des très bon niveau. Un groupe était constitué de bilingues catalan/espagnols, qui avait acquis les deux langues dès le plus jeune âges, alors que l'autre, comprenaient des bilingues italiens/anglais ayant appris l'anglais après 12 ans. Cependant, les sujets dans ce dernier groupe était d'un excellent niveau en anglais (certains étaient traducteurs professionnels). Le résultat principal de cette étude est qu'il n'y pas de différence importante entre les deux langues, dans aucun des deux groupes. Cela suggère qu'une seconde langue très bien maitrisée, même si elle a été acquise tardivement, activent les mêmes aires que L1. Cette conclusion doit être tempérée par le fait que la technique employé, le PET, ne permet d'examiner les résultats individuel. Le moyennage inhérent aux analyses statistiques pourrait avoir fait disparaitre des différences entre L1 et L2 intra-individus.

Une autre étude a examiné des bilingues de très haut niveau, avec la TEP [RIN 00]. Les participants étaient dix bilingues finnois/anglais qui étaient tous des traducteurs professionnels au parlement européen. Leur langue maternelle était le finnois, et il

n'est pas précisé à quel âge ils avaient appris l'anglais. Ils devaient soit répéter, soit faire la traduction simultanée d'un texte présenté auditivement. La traduction de L2 vers L1, comparée à la répétition en L1, révélait des activations frontales gauches (BA6 et 45). La traduction de L1 vers L2, révélait des activations plus larges autour des mêmes zones, ainsi que des activations dans des aires temporales inférieures (BA 20/28). Toutefois, la comparaison directe entre les deux directions de traduction [(L1->L2)-(L2->L1)], produit un résultat significatif uniquement dans une zone située dans l'aire de Broca (BA44). Cette aire, associée en particulier à la mémoire de travail verbale, est donc plus activée quand la traduction à lieu dans le sens qui est le plus difficile (L1->L2). Bien que les auteurs ne présentent pas la comparaison directe entre les conditions de répétitions en L1 et L2, la description des résultats laisse supposer qu'elles étaient identiques. Pour les traitements purement linguistiques, les activations dues à chacune des langues se recouvrent donc probablement, ce qui corroborerait les résultats de [PER 98].

C'est encore à cette même conclusion à laquelle aboutissent [HER 00]. Leurs sujets, bilingues espagnols/anglais, devaient dénommer des images soit dans une langue, soit dans l'autre. Aucune différence entre les activations corrélées aux deux langues n'était évidente. Toutefois, quand les sujets devaient utiliser alternativement chacune des langues à l'intérieur d'une session experimentale, une activation dorso-latérale préfrontale inférieure était observée. Selon les auteurs, l'activation de cette zone est certainement due aux processus stratégiques de sélection de la langue.

Finalement, une question qui a été peu abordée est celle des aires cérébrales engagées lors de la traduction. Hormis les études de [RIN 00] et de [KLE 95] décrites précédemment, seuls [PRI 99] ont abordé cette question. Ces derniers trouvent en TEP des activations dans le putamen et le noyau caudé lorsqu'ils comparent des sessions de traduction avec des sessions de lecture. Ils attribuent ces activations à la nécessité d'activer en alternance deux systèmes phonologiques, ce qui nécessiterait des inhibitions hypothétiquement controlées par ces circuits sous-corticaux. Il faudrait néanmoins que d'autres études confirment ces résultats pour les affirmer plus solidement.

Conclusion

L'imagerie du bilinguisme en est à ses débuts. La variabilité des tâches de test et de contrôle utilisées dans les expériences est à l'origine de stratégies hétérogènes de la part des sujets qui ne facilitent pas la comparaison entre les différentes études. Néanmoins, un résultat important peut d'ores et déjà être considéré comme établi :

> Plus une seconde langue a été acquise jeune et/ou est bien maîtrisée, plus les activations dues à L1 et L2 sont similaires. Cela est vrai en compréhension comme en production.

Ce résultat n'a rien d'évident. Avant l'avènement de l'imagerie cérébrale, on aurait pu s'attendre au contraire à ce que deux langues bien maîtrisées soient sous-tendues par des aires cérébrales distinctes puisqu'au niveau comportemental elles interfèrent peu entre-elles. Pourtant ce n'est pas le cas [KIM 97, PER 98] : les aires qui sous-tendent les traitements dans L1 et L2 se recouvrent quasiment parfaitement chez les bilingues de haut niveau. Bien sûr, cette affirmation n'est vraie que dans la limite de la résolution actuelle des instruments de mesure, qui est de l'ordre de quelques millimètres, et des quelques paradigmes expérimentaux qui ont été employés.

Quant aux bilingues « non parfaits », c'est à dire sans doute la majorité des bilingues, les zones activées par L2 semblent plus variables [DEH 97] d'un individu à l'autre et ne recouvrir que partiellement celles de L1 [KIM 97, PER 96]. Une question actuellement non résolue est de savoir si les aires activées par la seconde langue sont véritablement spécifiques à celle-ci, ou bien si, dans certaines circonstances, elles pourraient aussi traiter la première langue. Par exemple, travailler avec une seconde langue moins bien maîtrisée que la première peut demander plus d'efforts ou d'attention, ce qui entraîne typiquement des augmentations de l'activité cérébrales. Cette remarque suggère que, paradoxalement, les aires les plus intéressantes, sont peut-être plutôt celles qui sont activées par L1 et pas par L2 : comprendre leur rôle fonctionnel pourrait peut-être expliquer des déficits sélectifs dans la seconde langue.

Finalement, il reste encore à préciser les rôles respectifs des deux variables âge d'acquisition et degré de maitrise de la seconde langue. On sait que ces deux variables sont très fortement corrélées [WEB 96]. Or, une seule étude a tenté de les décorréler [PER 98] : lorsqu'ils doivent comprendre des histoires, des bilingues de très haut niveau ayant appris leur seconde langue tardivement ont des activations qui se recouvrent pour L1 et L2. Si cela est confirmé par d'autres travaux, une question se pose : ce recouvrement est-il le résultat de l'apprentissage ? Ou bien ces individus utilisaient-ils les aires de L1 depuis le début de l'acquisition de L2 ? Une autre question d'importance pratique évidente reste sans réponse : ces bilingues « parfaits » ont-ils des cerveaux exceptionnels, ou bien, tout un chacun placé dans un environnement adéquat, a t-il la capacité de devenir lui aussi un bilingue « parfait » ?

1.3. Bibliographie

[BUR 00] BURTON M. W., SMALL S. L., BLUMSTEIN S. E., « The role of segmentation in phonological processing : an fMRI investigation », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 12, n°4, p. 679–690, 2000.

[CHE 99a] CHEE M., CAPLAN D., SOON C., SRIRAM N., TAN E., THIEL T., WEEKES B., « Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI », *Neuron*, vol. 23, n°1, p. 127–137, 1999.

[CHE 99b] CHEE M., TAN E., THIEL T., « Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging », *Journal of Neuroscience*, vol. 19, n°8, p. 3050–3056, 1999.

[CHE 01] CHEE M. W., HON N., LEE H. L., SOON C. S., « Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments », *Neuroimage*, vol. 13, p. 1155–1163, 2001.

[DEH 97] DEHAENE S., DUPOUX E., MEHLER J., COHEN L., PAULESU E., PERANI D., VAN DE MOORTELE P.-F., LÉHERICY S., LEBIHAN D., « Anatomical variability in the cortical representation of first and second languages », *Neuroreport*, vol. 8, p. 3809–3815, 1997.

[DEH 00] DEHAENE-LAMBERTZ G., DUPOUX E., GOUT A., « Electrophysiological correlates of phonological processing : a cross-linguistic study », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 12, n°4, p. 635–647, 2000.

[DUP 99] DUPOUX E., KAKEHI K., HIROSE Y., PALLIER C., MEHLER J., « Epenthetic vowels in Japanese : A perceptual illusion ? », *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, vol. 25, n°6, p. 1568-1578, 1999.

[GAN 98] GANDOUR J., WONG D., HUTCHINS G. D., « Pitch processing in the human brain is influenced by language experience », *Neuroreport*, vol. 9, n°9, p. 2115–2119, 1998.

[GAN 00] GANDOUR J., WONG D., HSIEH L., WEINZAPFEL B., LANCKER D. V., HUTCHINS G. D., « A cross-linguistic PET study of tone perception », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 12, n°1, p. 207-222, 2000.

[HER 00] HERNANDEZ A. E., MARTINEZ A., KOHNERT K., « In Search of the language switch : an fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals », *Brain and Language*, vol. 73, n°3, p. 421-431, 2000.

[HIC 00] HICKOK G., POEPPEL D., « Towards a functional neuroanatomy of speech perception », *Trends in Cognitive Science*, vol. 4, p. 131–138, 2000.

[HSI 01] HSIEH L., GANDOUR J., WONG D., HUTCHINS G., « Functional heterogeneity of inferior frontal gyrus is shaped by linguistic experience », *Brain and Language*, vol. 76, n°3, p. 227–252, 2001.

[ILL 99] ILLES J., FRANCIS W. S., DESMOND J. E., GABRIELLI J. D. E., GLOVER G. H., POLDRACK R., LEE C. J., WAGNER A. D., « Convergent cortical representation of semantic processing in bilinguals », *Brain and Language*, vol. 70, p. 347–363, 1999.

[KIM 97] KIM K. H. S., RELKIN N. R., LEE K.-M., HIRSCH J., « Distinct cortical areas associated with native and second languages », *Nature*, vol. 388, n°10 july 1997, p. 171-174, 1997.

[KLE 94] KLEIN D., ZATORRE R., MILNER B., MEYER E., EVANS A., « Left putaminal activation when speaking a second language : evidence from PET », *Neuroreport*, vol. 5, n°17, p. 2295–2297, 1994.

[KLE 95] KLEIN D., MILNER B., ZATORRE R., MEYER R., EVANS A., « The neural substrates underlying word generation : a bilingual functional-imaging study », *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 92, p. 2899-2903, 1995.

[KLE 99] KLEIN D., MILNER B. A., ZATORRE R. J., ZHAO V., NIKELSKI E. J., « Cerebral organisation in bilinguals : A PET study of Chinese-English verb generation », *Neuroreport*, vol. 10, n°13, p. 2841–2846, 1999.

[KLE 01] KLEIN D., ZATORRE R. J., MILNER B. A., ZHAO V., « A cross-linguistic PET study of tone perception in Mandarin Chinese and English speakers », *Neuroimage*, vol. 13, p. 646–653, 2001.

[KRA 95] KRAUS N., MCGEE T., CARREL T. D., KING C., TREMBLAY K., NICOL T., « Central Auditory System Plasticity Associated with Speech Discrimination Training », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 7, n°1, p. 25-32, 1995.

[KUH 92] KUHL P., WILLIAMS K., LACERDA F., STEVENS K., LINDBLOM B., « Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 months of age », *Science*, vol. 255, p. 606-608, 1992.

[MAZ 93] MAZOYER B. M., DEHAENE S., TZOURIO N., FRAK V., MURAYAMA N., COHEN L., LÉVRIER O., SALAMON G., SYROTA A., MEHLER J., « The cortical representation of speech », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 5, p. 467-479, 1993.

[NÄÄTÄN 97] NÄÄTÄNEN R., LEHTOKOSKI A., LENNES M., CHEOUR M., HUOTILAINEN M., LIVONEN A., VAINO M., ALKUS P., ILOMONIEMI R., LUUK A., ALLIK J., SINKKONEN J., ALHO K., « Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses », *Nature*, vol. 385, p. 432-434, 1997.

[NEV 98] NEVILLE H., BAVELIER D., CORINA D., RAUSCHECKER JAND KARNI A., LALWANI A., BRAUN A., CLARK V., JEZZARD P., TURNER R., « Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects : biological constraints and effects of experience », *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 95, n°3, p. 922-929, 1998.

[OJE 83] OJEMAN G. A., « Brain organization for language from the perspective of electrical stimulation mapping », *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 6, p. 189–230, 1983.

[PAL 97] PALLIER C., CHRISTOPHE A., MEHLER J., « Language-specific listening », *Trends in Cognitive Science*, vol. 1, n°4, p. 129-132, 1997.

[PAR 95] PARADIS M., Ed., *Aspects of Bilingual Aphasia*, Pergamon Press, Oxford, 1995.

[PAU 00] PAULESU E., MCCRORY E., FAZIO F., MENONCELLO L., BRUNSWICK N., CAPPA S. F., COTELLI M., COSSU G., CORTE F., LORUSSO M., PESENTI S., CALLAGHER A., PERANI D., PRICE C., FRITH C. D., FRITH U., « A cultural effect on brain function », *Nature Neuroscience*, vol. 3, n°1, p. 91–96, 2000.

[PER 96] PERANI D., DEHAENE S., GRASSI F., COHEN L., CAPPA S., DUPOUX E., FAZIO F., MEHLER J., « Brain processing of native and foreign languages », *NeuroReport*, vol. 7, p. 2439–2444, 1996.

[PER 98] PERANI D., PAULESU E., SEBASTIAN N., DUPOUX E., DEHAENE S., BETTINARDI V., CAPPA S. F., FAZIO F., MEHLER J., « The bilingual brain. Profiency and age of acquisition of the second language », *Brain*, vol. 121, p. 1841–1852, 1998.

[PRI 99] PRICE C., GREEN D., VON STUDNITZ R., « A functional imaging study of translation and language switching. », *Brain*, vol. 122, p. 2221-2235, 1999.

[RIN 00] RINNE J., TOMMOLA J., LAINE M., KRAUSE B., SCHMIDT D., KAASINEN V., TERAS M., SIPILA H., SUNNARI M., « The translating brain : cerebral activation patterns during simultaneous interpreting. », *Neuroscience Letters*, vol. 294, n°2, p. 85–88, 2000.

[SCH 98] SCHLOSSER M. J., AOYAGI N., FULBRIGHT R. K., GORE J. C., MCCARTHY G., « Functional MRI studies of auditory comprehension », *Hum Brain Mapp*, vol. 6, p. 1-13, 1998.

[STR 95] STRANGE W., Ed., *Speech Perception and Linguistic Experience*, York Press, Baltimore, 1995.

[TRE 97] TREMBLAY K., KRAUS N., CARRELL T. D., MCGEE T., « Central auditory system plasticity : Generalization to novel stimuli following listening training », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 102, n°6, p. 3762-3773, 1997.

[TRE 98] TREMBLAY K., KRAUS N., MCGEE T., « The time course of auditory perceptual learning : neurophysiological changes during speech-sound training », *Neuroreport*, vol. 9, n°16, p. 3557–3560, 1998.

[WEB 96] WEBER-FOX C. M., NEVILLE H. J., « Maturational Constraints on Functional Specializations for Language Processing : ERP and Behavioral evidence in Bilingual Speakers », *Journal Cognitive Neuroscience*, vol. 8, n°3, p. 231-256, 1996.

[WER 84] WERKER J. F., TEES R. C., « Cross-language speech perception : Evidence for perceptual reorganization during the first year of life », *Infant Behavavior and Development*, vol. 7, p. 49-63, 1984.

[WER 92] WERKER J. F., TEES R. C., « The organization and reorganization of human speech perception. », *Annual Review of Neuroscience*, vol. 15, p. 377-402, 1992.

[WER 94] WERKER J. F., « Cross-language speech perception : Developmental change does not involve loss », GOODMAN J., NUSBAUM H., Eds., *The Development of Speech Perception : The Transition from Speech Sounds to Spoken Words*, p. 93-120, MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

[WIS 01] WISE R. J. S., SCOTT S. K., BLANK S. C., MUMMERY C. J., MURPHY K., WARBURTON E. A., « Separate neural subsystems within ‘ Wernicke’s area’ », *Brain*, vol. 124, p. 83–95, 2001.

[YET 96] YETKIN O., ZERRIN YETKIN F., HAUGHTON V. M., COX R. W., « Use of functional MR to map language in multilingual volunteers », *American Journal of Neuroradiology*, vol. 17, n°3, p. 473–477, 1996.