

Université Lumière Lyon 2 & Université Claude Bernard Lyon 1

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en sciences cognitives

Présentée par

CLAIRE GRATALOUP

LA RECONSTRUCTION COGNITIVE DE LA PAROLE DÉGRADÉE :
ÉTUDE DE L'INTELLIGIBILITÉ COMME INDICE D'UNE
CAPACITÉ COGNITIVE HUMAINE.

Tutrice scientifique : Dr Fanny MEUNIER

Directeur de thèse : Dr Jean-Marie HOMBERT

Jury:

Pr Ann Bradlow (Rapporteur)

Pr Lionel Collet (Examineur)

Pr Ulrich Frauenfelder (Rapporteur)

Dr Jean-Marie Hombert (Directeur de thèse)

Dr Fanny Meunier (Tutrice scientifique)

Dr Noël Nguyen (Examineur)

Dr Christophe Pallier (Examineur)

Remerciements

Ma reconnaissance infinie s'adresse tout d'abord à Fanny qui me guide avec dynamisme et enthousiasme depuis cinq années et sans qui je n'aurais pas accompli ce travail. Elle m'a tout appris depuis mon stage de maîtrise et je lui dois plus qu'un encadrement scientifique solide et constant : elle m'a transmis l'envie de faire de la Recherche mon métier. J'espère y parvenir et l'associer longtemps à mes recherches futures.

Je remercie Jean-Marie Hombert d'avoir accepté la direction de cette thèse ainsi que Lionel Collet, Noël Nguyen et Christophe Pallier pour avoir accepté d'être membres du jury, et tout particulièrement mes rapporteurs, Ann Bradlow et Uli Frauenfelder, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail. J'espère avoir été à la hauteur de leurs attentes.

Je remercie également toutes les personnes avec lesquelles j'ai travaillé au cours de ces trois années de thèse : merci à Evelyne Veuillet pour son travail sur les mesures auditives et sa contribution scientifique, merci à Michel Hoen pour son aide précieuse, ses conseils et ses encouragements. Merci à Matt Davis pour m'avoir accueillie à Cambridge et à qui je dois une vision plus « acoustique » de mes travaux. Merci aux étudiantes de l'École des Psychologues Praticiens qui ont travaillé au labo et nous ont aidé pour les patients dyslexiques. Je n'oublie pas les 200 participants qui se sont prêtés volontairement à ces recherches, qu'ils soient étudiants, patients dyslexiques ou témoins, merci pour leur participation.

Je remercie chaleureusement l'ensemble du Laboratoire Dynamique Du Langage où depuis cinq ans j'ai bénéficié de conditions de travail idéales. J'ai apprécié les portes de bureaux ouvertes, les conseils et le soutien des membres du laboratoire à commencer par François Pellegrino qui m'a apporté son aide et son savoir-faire dans les phases les plus techniques de mes travaux, Florence, Linda, Egidio et Christian, toujours là pour résoudre les problèmes ; Blandine, Virginie, Claire, Caroline, les doctorants et étudiants de DDL mais également toutes les personnes que j'ai croisées au quotidien. Merci, je n'oublierais pas votre disponibilité et votre bonne humeur.

Et puis je tiens à remercier ma famille qui a suivi ces longues études sans jamais mettre en doute mes choix. Merci à mon Papa, à Papy, Mamie et Nico. Merci à Christophe que j'aime et dont je veux partager la vie. Merci mon amour pour ton soutien, ton réconfort et ta patience.

Enfin, je souhaite dédier ce travail à Maman qui me manque à l'infini et qui veille sur moi depuis les étoiles. En tombant par hasard sur la thèse que tu m'avais dédiée, j'ai compris que l'amour qui nous uni est plus fort que la séparation. J'espère que tu es fière de moi...

Résumé

Ces travaux se sont intéressés au phénomène de la compréhension de la parole dégradée. Grâce aux approches conjointes de la psycholinguistique et de la neurophysiologie, des études comportementales et des tests auditifs ont été menés chez des participants adultes sains et chez des participants adultes dyslexiques. Les mesures comportementales ont exploré les capacités des participants à reconstruire de la parole dégradée artificiellement. Deux types de dégradations de la parole ont été utilisées: l'inversion temporelle du signal et la parole dans la parole. Les résultats montrent l'existence d'une capacité cognitive à reconstruire de la parole dégradée qui dépend du niveau d'altération du signal d'origine, mais également de paramètres internes au système cognitif, et propres à chaque individu, tels la capacité d'activation des mécanismes lexicaux, et peut être la latéralisation hémisphérique. Les caractéristiques psycholinguistiques des mots à restituer conditionnent leur compréhension en situation de perception difficile, de même que les caractéristiques psycholinguistiques du contenu lexical du bruit concurrent lors de la perception de la parole dans la parole. Les tests auditifs cliniques ont permis de mettre en évidence des corrélations entre la latéralisation des voies auditives descendantes des participants et leurs capacités à comprendre de la parole dégradée. Les résultats des patients dyslexiques ont montré des performances réduites pour reconstruire de la parole dégradée associées à un profil symétrique des voies auditives descendantes. Ces résultats sont interprétés en faveur de l'hypothèse d'un lien entre asymétrie cérébrale et capacités langagières.

Mots-clés : Compréhension de la parole dégradée, Parole inversée, Parole dans la parole, Effets psycholinguistiques, Dyslexie, Système efférent olivo-cochléaire Médian, Latéralisation auditive périphérique.

Abstract

This study investigated degraded speech comprehension. Using psycholinguistic and neurophysiologic approaches, behavioural studies and auditory tests were conducted among healthy adult participants and dyslexic adult participants. Behavioural experiments explored the participants' abilities to restore artificially degraded speech. Two types of degradation were used: reversed speech and speech in speech. The results evidence a cognitive capacity to reconstruct degraded speech that depends on the degradation level of the original speech signal but also on some cognitive system parameters. These parameters are specific to each individual, such as the ability to activate lexical mechanisms and possibly the hemispheric lateralization. Psycholinguistic characteristics of target words affect their comprehension in a situation where speech is difficult to understand. During speech in speech perception, psycholinguistic characteristics of words from the competing babble influence the target's restitution. Auditory tests have shown correlations between the participants' lateralization of auditory descending pathways and their abilities to understand degraded speech. Results from dyslexic individuals in the reconstruction of degraded speech exhibit reduced performances associated with a symmetric pattern of descending auditory pathways. These results support the hypothesis of a link between cortical asymmetry and language processing skills.

Key-words : Degraded speech comprehension, Reversed speech, Speech in speech, Psycholinguistic effects, Dyslexia, Médial efferent olivo cochlear bundle, Peripheral auditory lateralization.

Table des matières

PARTIE THÉORIQUE	11
CHAPITRE I. Introduction théorique	13
A. Introduction	15
B. Processus ascendants et descendants dans la compréhension de la parole.....	19
B.1. Processus ascendants dans la perception de la parole.....	19
B.2. Processus descendants dans la compréhension de la parole	30
C. Modèles psycholinguistiques de la compréhension de la parole.....	37
C.1. Le modèle de la Cohorte (Marslen-Wilson & Welsh, 1978).....	37
C.2. Le modèle RACE (Cutler & Norris, 1979).....	40
C.3. Le modèle TRACE (McClelland & Elman, 1986)	40
C.4. Le modèle NAM (Luce, Pisoni & Goldinger, 1990)	42
C.5. Le modèle Short List (Norris, 1994).....	43
C.6. Conclusion.....	44
D. La parole dégradée	47
D.1. Dégradation artificielle du signal de parole.....	47
D.2. Manipulation de l'intelligibilité.....	48
D.3. La parole inversée.....	52
D.4. Le bruit <i>cocktail party</i>	55
E. Troubles du langage, le cas de la dyslexie	61
E.1. La dyslexie.....	62
E.2. Les principales théories de la dyslexie développementale	65
E.3. La dyslexie chez l'adulte	68
E.4. La compréhension de la parole dégradée chez les dyslexiques	68
PARTIE EXPÉRIMENTALE	73
CHAPITRE II. Reconstruction de la parole inversée	75
A. Introduction à la partie expérimentale. Problématique et hypothèses	77
A.1. Introduction à la partie expérimentale	77
A.2. Problématique.....	79
A.3. Hypothèses	79
B. Intelligibilité de la parole inversée chez le sujet sain normo-entendant.....	81
B.1. Introduction	81
B.2. Expérience 1a : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de mots chez l'adulte sain normo-entendant	82
B.3. Expérience 1b : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de pseudomots chez l'adulte sain normo-entendant.....	91
B.4. Comparaison des expériences 1a et 1b	94
B.5. Discussion.....	95
C. Intelligibilité de la parole inversée chez le patient dyslexique normo-entendant.....	105
C.1. Introduction	105
C.2. Expérience 2a : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de mots chez l'adulte dyslexique normo-entendant	106
C.3. Expérience 2b : effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de pseudomots chez l'adulte dyslexique normo-entendant	112
C.4. Comparaison des Expériences 2a et 2b	114
C.5. Discussion.....	115
D. Mesures auditives chez le sujet sain normo-entendant et chez le sujet dyslexique.....	121

D.1.	Introduction	121
D.2.	Descriptif des tests auditifs pratiqués	121
D.3.	Mesures auditives chez le sujet sain normo-entendant.....	128
D.4.	Mesures auditives chez le participant dyslexique normo-entendant	134
E.	Parole inversée : discussion.....	139
E.1.	Rappel des résultats obtenus.....	139
E.2.	Discussion et perspectives	142
CHAPITRE III. Reconstruction de la parole dans la parole : situation <i>cocktail party</i>		149
A.	Intelligibilité de la parole dans la parole chez le sujet sain normo-entendant.....	151
A.1.	Introduction	151
A.2.	Expérience 3 : Effet du type de bruit et du rapport signal/bruit sur la compréhension de la parole dans la parole chez le sujet sain normo-entendant.....	153
A.3.	Expérience 4a : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de mots cibles en situation <i>cocktail party</i> chez le sujet sain normo-entendant.....	164
A.4.	Expérience 4b : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de pseudomots cibles en situation <i>cocktail party</i> chez le sujet sain normo-entendant.....	169
A.5.	Comparaison des Expériences 4a et 4b	173
A.6.	Discussion.....	173
B.	Intelligibilité de la parole dans la parole chez les dyslexiques normo-entendants.....	177
B.1.	Expérience 5a : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de mots cibles en situation <i>cocktail party</i> chez le sujet dyslexique normo-entendant.....	178
B.2.	Expérience 5b : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de pseudomots cibles en situation <i>cocktail party</i> chez le sujet dyslexique normo-entendant.....	182
B.3.	Comparaison des expériences 5a et 5b	185
B.4.	Discussion.....	186
C.	Système efférent et parole dans la parole.....	191
C.1.	Introduction	191
C.2.	Participants dyslexiques et témoins	191
C.3.	Système efférent et parole dans le bruit chez les dyslexiques	192
C.4.	Système efférent et parole dans le bruit chez les témoins	193
C.5.	Discussion.....	194
D.	Parole dans la parole : Discussion.....	197
D.1.	Rappel des résultats obtenus.....	197
D.2.	Les différents effets de masquage.....	198
D.3.	Compétitions lexicales et effet de fréquence	200
D.4.	Cas de la dyslexie	203
D.5.	Asymétrie centrale et performances de compréhension de la parole dégradée	204
CHAPITRE IV. Conclusions et perspectives.....		205
BIBLIOGRAPHIE		211
ANNEXES.....		231

PARTIE THÉORIQUE

CHAPITRE I.

INTRODUCTION THÉORIQUE

A. INTRODUCTION

La compréhension de la parole est un phénomène qui à première vue, semble fluide. En effet, nous décryptons quotidiennement des messages parlés sans aucune difficulté, bien qu'il advienne très rarement que la parole soit utilisée en conditions « idéales », dans un lieu parfaitement silencieux. Dans la vie de tous les jours, bien au contraire, nous sommes amenés à comprendre la parole malgré la présence de bruits extérieurs et de parasites sonores qui altèrent la qualité du signal émis. N'avez-vous jamais « tendu l'oreille » pour prendre connaissance du bulletin météo diffusé par un poste d'autoradio ? Dans ce cas précis, le message cible est dégradé par la présence de bruits ambiants provenant de l'intérieur de l'habitacle de la voiture (comme les bruits de conversation des autres passagers), mais aussi par des bruits relatifs à l'environnement extérieur. La compréhension du message parlé nécessite de compenser ces dégradations, elle va donc dépendre à la fois du niveau de détérioration du message, mais aussi de nos capacités à restaurer l'information dégradée. Notre système cognitif va donc mettre en jeu des processus perceptifs de bas niveaux mais également des processus intégrés pour rétablir l'information verbale et accéder au sens du message parlé. Les détails du processus de compréhension de la parole ne sont pas encore parfaitement décryptés et cela malgré une quantité considérable d'études menées depuis les 50 dernières années. De plus, si le phénomène de la compréhension de la parole n'est pas complètement connu au sein du système cognitif normal, il est encore plus complexe à étudier au sein du système cognitif de patients souffrant de troubles du langage. Cependant, l'étude des mécanismes de la compréhension de la parole chez ce type de patients peut nous aider à mieux appréhender le fonctionnement du système cognitif normal.

Les travaux présentés dans cette thèse se situent à l'interface de plusieurs disciplines : la psycholinguistique – elle-même issue de la rencontre entre psychologie et linguistique, et la neurophysiologie. L'approche pluridisciplinaire du phénomène de reconstruction cognitive de la parole que nous avons développée nous a permis d'apporter un regard nouveau sur cette aptitude cognitive propre à l'humain. Les résultats présentés ici, sont issus de la combinaison de ces approches paraissant éloignées et qui se sont pourtant révélées complémentaires.

Cette thèse s'articule autour de plusieurs questions :

- 1/ Quels mécanismes cognitifs nous permettent de « reconstruire » la parole dans une situation de perception dégradée ?
- 2/ Quel est le rôle du système auditif dans cette reconstruction ?
- 3/ Est-il possible de caractériser la variabilité interindividuelle des mécanismes de reconstruction ?
- 4/ Dans le cadre d'un trouble du langage, comme la dyslexie, quelles sont les différences de performances liées aux troubles et que nous apprennent-elles sur le fonctionnement normal ?

À ces quatre questions, nous avons tenté d'apporter des éléments de réponses par le biais d'études comportementales utilisant différentes dégradations artificielles du signal de parole, et de mesures neurophysiologiques du système auditif, chez l'adulte humain sain et l'adulte dyslexique.

Organisation de la partie théorique de la thèse

Pour introduire et situer le cadre de ces travaux de recherche, nous allons tout d'abord, dans un chapitre théorique, exposer le contenu des différents champs d'étude nécessaire à notre problématique. Comme tout processus cognitif, la compréhension du langage fait intervenir des processus ascendants (informations sensorielles remontant de la périphérie vers le système cognitif) et des processus descendants (informations intégrées influençant les niveaux de traitement plus précoces). Nous décrirons donc, dans un premier temps, les processus ascendants et descendants dans la compréhension de la parole (partie B.). Concernant les processus ascendants, nous rappellerons l'anatomie du système auditif humain, nous verrons les principales voies auditives ascendantes, mais également le Système Efférent Olivo-Cochléaire Médian, rétrocontrôle du cortex auditif primaire jusqu'à la cochlée. Le système efférent est particulièrement intéressant à explorer puisqu'il reflète potentiellement au niveau périphérique l'asymétrie des aires auditives centrales. Nous étudierons également les processus descendants dans la compréhension de la parole. Il s'agit de l'influence des connaissances relatives aux mots de notre langue que nous stockons en mémoire. Ces connaissances sont mises à contribution lors du processus de reconnaissance des mots. Nous exposerons différents arguments expérimentaux mettant en évidence l'influence du lexique mental sur la perception du signal de parole. Puis, dans une seconde partie nous passerons en revue les différents modèles psycholinguistiques de reconnaissance

de la parole (partie C.). Nous verrons les arguments qui opposent théories autonomes et théories interactives. La partie suivante (partie D.) portera sur les travaux décrivant le processus de reconnaissance de la parole. Nous détaillerons les études qui utilisent la dégradation artificielle du signal de parole comme paradigme d'étude des processus de compréhension. Nous nous intéresserons aux travaux utilisant les dégradations artificielles avec lesquelles nous avons travaillé, à savoir, la parole inversée et la parole dans la parole. Enfin, la dernière partie de ce chapitre théorique (partie E.) sera consacrée à la compréhension de la parole dans le cas d'un trouble du langage bien particulier : la dyslexie. Nous rappellerons brièvement les notions de dyslexie de surface et de dyslexie phonologique. Les participants à nos travaux de recherche étant tous adultes, nous aborderons la persistance des troubles chez les adultes dyslexiques, et terminerons cette partie théorique par des exemples d'études portant sur la perception de la parole dégradée chez les dyslexiques.

Organisation de la partie expérimentale de la thèse

Les travaux expérimentaux de la thèse seront présentés en deux chapitres. Un premier chapitre présentera les données issues de l'étude sur la reconstruction de la parole inversée. Dans un second chapitre, nous présenterons les données collectées pour la reconstruction de la parole dans la parole. Chaque chapitre se composera d'un volet étude comportementale et d'un volet audiométrie. Ces deux volets seront étudiés dans un premier temps chez l'adulte sain et dans un second temps chez le patient dyslexique adulte. Nous reviendrons sur l'organisation de la partie expérimentale de la thèse au début du chapitre II.

Enfin, un quatrième et dernier chapitre exposera les conclusions et perspectives de ces travaux.

B. PROCESSUS ASCENDANTS ET DESCENDANTS DANS LA COMPRÉHENSION DE LA PAROLE

Bien qu'elle semble naturelle et aisée, la compréhension de la parole repose en fait sur le déroulement d'activités perceptives et cognitives complexes. Nous comprenons la parole grâce d'une part aux informations perçues par notre système auditif, et d'autre part, aux connaissances, stockées en mémoire, que nous possédons sur les mots de notre langue. La combinaison de ces deux sources d'informations nous permet d'attribuer une signification au message verbal. Les informations sensorielles circulent de la périphérie vers les structures intégrées. Les informations linguistiques issues des structures de hauts niveaux participent aux traitements langagiers de plus bas niveaux. Ces processus, décrits comme « ascendants » et « descendants » sont impliqués de façon complémentaire dans la perception de la parole humaine.

B.1. Processus ascendants dans la perception de la parole

La parole est un signal physique, une onde acoustique, qui traverse le milieu de conduction (l'air la plupart du temps) et qui parvient par des mécanismes de transduction mécanique et électrique jusqu'au système auditif périphérique. Comme chacun des cinq sens, l'audition est dotée d'un système ascendant, remontant l'information depuis les récepteurs sensoriels périphériques jusqu'aux aires corticales, et d'un système de rétrocontrôle descendant permettant de moduler le message nerveux afférent.

B.1.1. Le système auditif humain

B.1.1.1. L'oreille

Comprendre la parole passe tout d'abord par la perception du stimulus auditif qui parvient à notre oreille. Lorsque l'onde acoustique entre dans le système sensoriel auditif, elle traverse les trois parties de l'oreille (Figure 1) : l'oreille externe délimitée par le pavillon et le tympan, l'oreille moyenne (du tympan jusqu'à la fenêtre ovale) et enfin l'oreille interne.

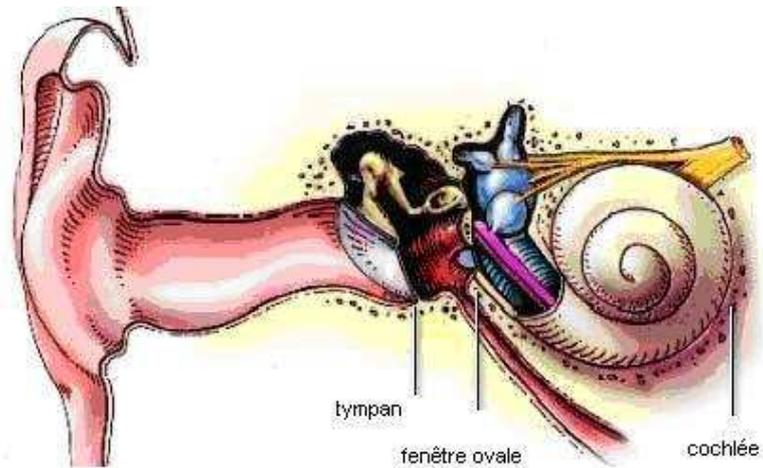


Figure 1 : Schéma de l'oreille externe, moyenne et interne, chez l'humain¹.

B.1.1.1.1. L'oreille externe et l'oreille moyenne

L'oreille externe permet de capter le signal sonore (grâce au pavillon) et de le transmettre jusqu'au tympan par le conduit auditif externe. L'oreille moyenne joue un rôle de transmission du signal entre le milieu aérien et le milieu liquidien de l'oreille interne. C'est au niveau de l'oreille moyenne qu'a lieu le réflexe stapédien dont le rôle est de protéger l'oreille interne en cas de surstimulation acoustique. L'oreille moyenne est également capable de transmettre des sons depuis l'oreille interne vers l'extérieur par un mécanisme de transfert rétrograde. Cette particularité permet de transmettre les otoémissions acoustiques et il est possible de les enregistrer dans le conduit auditif externe comme nous le verrons plus loin.

B.1.1.1.2. L'oreille interne

L'oreille interne contient la cochlée qui s'enroule sur elle-même à l'instar d'un limaçon et constitue un filtre fournissant au système une analyse en fréquence et en temps du signal acoustique. Les cellules réceptrices de l'audition sont disposées de façon tonotopique le long de la cochlée au niveau de l'organe de Corti. Cette spécificité conduit au décodage des différentes fréquences d'un son en temps réel. Elles permettent de transformer la vibration acoustique en un message nerveux. Il existe deux types de récepteurs sensoriels : les cellules ciliées externes (CCE) et les cellules ciliées internes (CCI). Ces deux types de cellules doivent leur nom à la présence de stéréocils à leur pôle apical. Les CCI sont disposées en une seule couche. Les fibres afférentes auditives qui constituent le nerf cochléaire sont connectées à leur pôle basal. Les CCE, disposées en trois rangées, ont la propriété de pouvoir se contracter.

¹ Dessin de S. Blatrix, extrait du site "Promenade autour de la cochlée" <http://www.cochlee.info/> par Pujol, Blatrix, & Pujol (1999). Montpellier.

Cette spécificité intervient dans le phénomène d'amplification cochléaire d'une part, et est à l'origine des otoémissions acoustiques d'autre part. Les CCE sont principalement innervées par les fibres du système efférent olivo-cochléaire médian. C'est par le biais de la contraction des CCE que le système nerveux central pourrait exercer une influence descendante sur les mécanismes d'amplification cochléaire et donc intervenir dans la perception de signaux sonores dans le bruit (Cooper & Guinan, 2003).

B.1.1.2. Les voies principales auditives ascendantes

Le message nerveux auditif naît au niveau de l'organe de Corti, puis il se propage le long des fibres afférentes jusqu'au ganglion spiral et atteint ensuite le nerf auditif. À ce niveau, le message est déjà décodé en termes de temps, fréquence et intensité. Les fibres nerveuses entrent ensuite dans le tronc cérébral et se projettent sur les noyaux cochléaires au niveau du bulbe rachidien puis sur les complexes olivaires supérieurs ipsilatéral et controlatéral. Ensuite, les fibres gagnent le colliculus inférieur au niveau du mésencéphale puis le thalamus auditif au niveau du corps genouillé médian et enfin le cortex auditif.

Ce trajet décrit les voies principales auditives ascendantes ou voies auditives primaires (Figure 2). Ces voies sont organisées tonotopiquement. Il est à noter qu'il existe également des voies auditives ascendantes non-primaires qui ne sont pas dédiées exclusivement à la modalité auditive.

Le cortex auditif fait partie du lobe temporal du cerveau. Il est constitué du cortex auditif primaire (aire de Brodmann 41) organisé tonotopiquement et du cortex auditif associatif (secondaire) diffus dans le lobe temporal. Il existe une asymétrie interhémisphérique entre les cortex auditifs droit et gauche non liée à la latéralité manuelle. Classiquement, le cortex auditif gauche est plus volumineux que le droit (Geschwind & Levitsky, 1968). Cette asymétrie refléterait la spécialisation fonctionnelle de l'hémisphère gauche pour le traitement temporel des stimuli auditifs et expliquerait la latéralisation gauche du langage, ce dernier étant constitué majoritairement de variations acoustiques rapides (Tallal & Newcombe, 1978).

Au cours du trajet ascendant, les neurones auditifs émettent des voies transversales permettant de relier entre elles les structures homologues droite et gauche. Ces voies interviennent dans le traitement binaural de l'information auditive, notamment pour la transmission controlatérale du message auditif, mais également pour moduler l'action de la structure homologue.

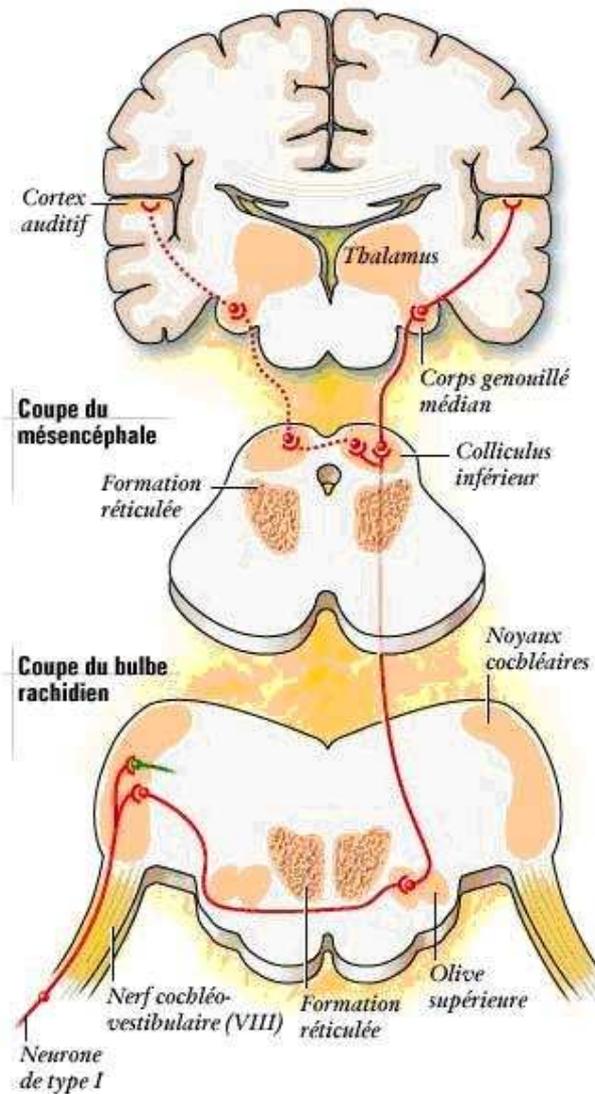


Figure 2 : Appareil auditif humain. Schéma des voies auditives primaires²

B.1.2. Le rétrocontrôle auditif

Les voies auditives efférentes ont été largement décrites chez l'animal grâce à des techniques de marquage neuronales (Huffman & Henson, 1990 ; Warr, Guinan & White 1986). Chez l'humain, par contre, il est impossible d'explorer ces voies de manière non-invasive sauf pour le système efférent olivo-cochléaire (Khalifa, 1999 ; Micheyl, 1995 ; Moulin, 1993). Les fibres auditives efférentes se projettent sur trois relais principaux : du cortex auditif au colliculus inférieur, du colliculus au complexe olivaire supérieur et du complexe olivaire supérieur à la cochlée. Globalement, ces voies descendantes peuvent

² Dessin de S. Blatrix, extrait du site "Promenade autour de la cochlée" <http://www.cochlee.info/> par Pujol, Blatrix, & Pujol (1999). Montpellier.

exercer une activité excitatrice ou inhibitrice sur les structures sur lesquelles elles font synapse. Dans le cadre de cette thèse, nous nous limiterons à la description des fibres reliant le complexe olivaire supérieur médian à la cochlée du fait de leur rôle potentiel dans l'audition en milieu bruité.

B.1.2.1. Le système efférent olivo-cochléaire

Le système auditif efférent olivo-cochléaire est constitué de fibres nerveuses en provenance du complexe olivaire supérieur. Il chemine avec le nerf vestibulaire et se décompose en système efférent latéral et système efférent médian.

B.1.2.1.1. Le système efférent olivo-cochléaire latéral

Le système efférent latéral provient du noyau olivaire supérieur latéral. Il se connecte au CCI de la cochlée.

B.1.2.1.2. Le système efférent olivo-cochléaire médian

Le système efférent médian, ou Système Efférent Olivo-cochléaire Médian (SEOCM) a été bien décrit chez le chat (Rasmussen 1946), cependant, sa description chez l'homme reste imprécise du fait de la rareté des études morpho-histologiques.

i) Anatomie du SEOCM

Le SEOCM a pour origine principale le noyau olivaire supérieur médian. Il chemine par le nerf vestibulaire jusqu'à l'organe de Corti (Warr, *et al.*, 1986) où il se connecte aux CCE de la cochlée (Figure 3). Le SEOCM représente moins de la moitié des fibres efférentes qui se projettent sur la cochlée. Sa distribution est majoritairement controlatérale (75 %).

Le SEOCM permet un rétrocontrôle rapide des aires corticales auditives sur le fonctionnement de la cochlée. Il fait partie d'une boucle cortico-cochléaire dont le rôle est un rétrocontrôle élaboré permettant de moduler le message auditif ascendant en fonction des activités cognitivo-perceptives en cours (Huffman & Henson, 1990). Le SEOCM fait également partie d'une boucle de rétrocontrôle de la cochlée sur elle-même (boucle cochléo-cochléaire).

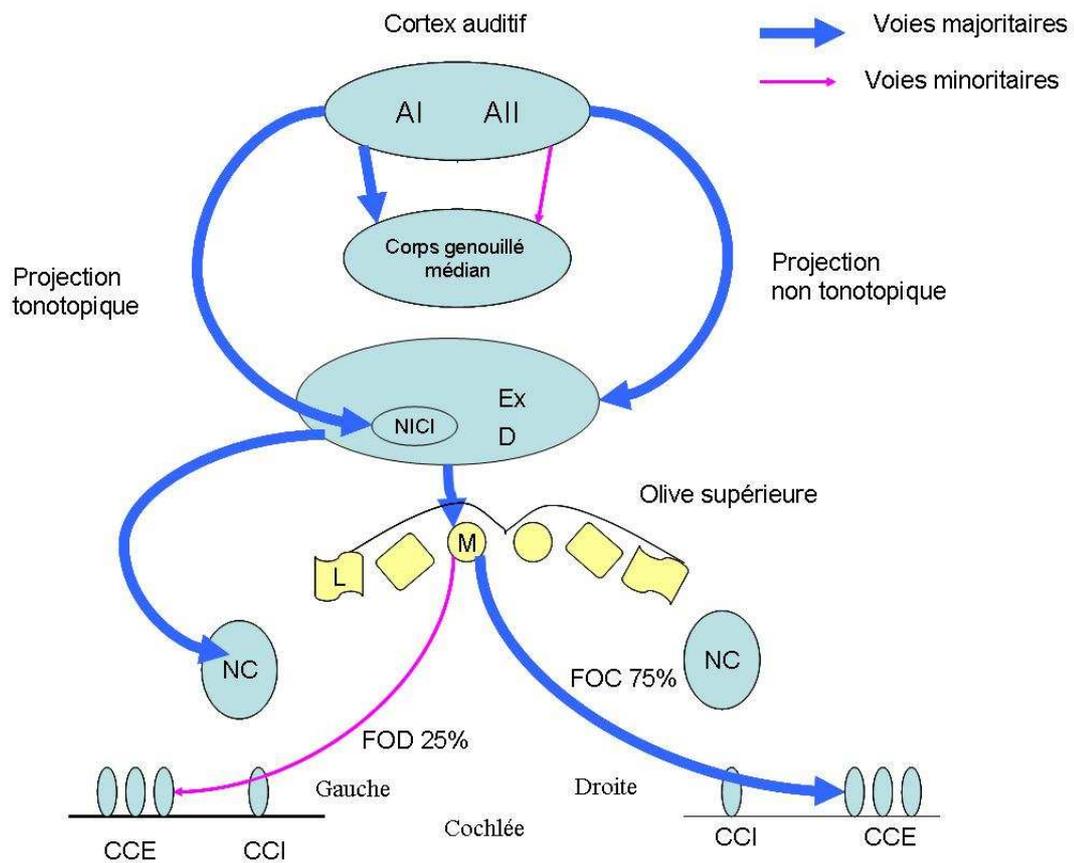


Figure 3 : Représentation schématique des voies auditives descendantes³ (D'après Giraud, 1997)

i) Exploration du SEOCM

L'enregistrement des potentiels évoqués auditifs ainsi que les mesures audiométriques permettent d'explorer le système auditif afférent. Le système efférent, lui, peut être exploré grâce aux otoémissions acoustiques.

ii) Physiologie du SEOCM

Des études électrophysiologiques ont permis d'explorer le fonctionnement du SEOCM. L'activité des fibres du SEOCM est essentiellement inhibitrice. Elles modulent l'activité de la périphérie auditive en inhibant les contractions rapides des cellules ciliées externes de la cochlée (Guinan, 1986 ; Kemp, 1979).

ii) Enregistrement des otoémissions acoustiques

Il est possible d'explorer le fonctionnement du SEOCM chez l'humain grâce à une technique non invasive : l'enregistrement des otoémissions acoustiques. Les otoémissions

³ AI : Cortex auditif primaire ; AII : Cortex auditif secondaire ; NICI (Ex, D) : Noyau Interne (Externe, Dorsal) du Colliculus Inférieur ; M, L : Olive supérieure Médiane, Latérale ; NC : Noyau Cochléaire ; FOC : Faisceau Olivo-cochléaire Croisé (voie croisée) ; FOD : Faisceau Olivo-cochléaire Direct (voie non-croisée).

acoustiques (OEA) sont de petits sons produits par les CCE de la cochlée. Il est possible d'enregistrer ces sons à l'aide d'un microphone miniaturisé placé au niveau du conduit auditif externe. Il existe trois types d'otoémissions acoustiques que l'on peut enregistrer grâce à cette technique : les otoémissions acoustiques spontanées (OEAS), les otoémissions acoustiques provoquées (OEAP) et les produits de distorsion acoustique (PDA). Nous nous attacherons à décrire plus particulièrement les OEAP, car associées à un bruit controlatéral pendant leur enregistrement, elles permettent d'évaluer la fonctionnalité du SEOCM.

Les PDA sont dus aux mécanismes cochléaires actifs et à des mécanismes passifs selon l'intensité de stimulation. Leur utilisation en recherche permet d'explorer les phénomènes de propagation dans l'oreille interne. Les OEAS sont produites spontanément, c'est-à-dire en l'absence de stimulation auditive. Elles sont le témoin d'un bon fonctionnement cochléaire et sont présentes plus fréquemment chez les femmes et dans l'oreille droite (Moulin, Collet, Veuillet & Morgon, 1993). Les OEAP sont recueillies en réponse à une stimulation auditive brève comme un clic. La méthode décrite ici est celle de Bray & Kemp (1987). Le système utilise une sonde placée dans le conduit auditif externe qui contient un émetteur et un microphone. L'émetteur est relié à un générateur de son qui envoie une stimulation acoustique transitoire dans l'oreille. Les otoémissions acoustiques provoquées par cette stimulation sont en retour enregistrées par le microphone et traduites en signal électrique puis analysées par transformée de Fourier (grâce à un logiciel spécifique de type *Otodynamics*[®] ILO).

ii) Relation entre OEAP et fonctionnement du SEOCM

Du fait du lien étroit entre le SEOCM et les CCE de la cochlée, l'activation du SEOCM est susceptible de modifier l'amplitude des OEAP. En effet, leur amplitude diminue lorsque le SEOCM est activé par une stimulation auditive controlatérale (bruit blanc ou bruit à bande étroite). D'ailleurs, la réduction d'amplitude est d'autant plus importante que la stimulation est de forte intensité. Le SEOCM, activé par le bruit controlatéral a donc un effet inhibiteur sur les OEAP dans l'oreille ipsilatérale. La comparaison des OEAP enregistrées en l'absence et en présence d'un bruit controlatéral permet d'évaluer la force de suppression (et donc le bon fonctionnement) du SEOCM.

iii) Technique d'enregistrement

On recueille des OEAP sans et avec une stimulation controlatérale. Le bruit controlatéral correspond à un bruit blanc d'intensité constante (30 dB) diffusé grâce à un casque audio dont un seul écouteur est appliqué sur l'oreille controlatérale du participant. La sonde placée dans l'oreille testée envoie le bruit ipsilatéral (clic) en utilisant cinq intensités

différentes (variant par pas de 3 dB) de façon à annuler l'effet de variabilité interindividuelle de l'amplitude des OEAP. On enregistre les OEAP pendant les 20 à 25 ms qui suivent le déclenchement des clics. On a donc deux mesures pour chacune des cinq intensités ipsilatérales testées (une avec bruit controlatéral et une sans). On calcule ensuite l'atténuation équivalente moyenne (en dB) pour l'oreille testée, qui correspond à la réduction moyenne de l'intensité de stimulation du clic requise pour obtenir la même variation d'amplitude des OEAP que celle provoquée par le bruit blanc controlatéral. Plus l'atténuation équivalente est négative, plus le SEOCM est fonctionnel.

i) Rôles fonctionnels du SEOCM

Plusieurs études ont montré un rôle du SEOCM dans la perception et le traitement des stimuli auditifs, plus particulièrement dans le bruit.

ii) Rôle protecteur contre les surstimulations acoustiques

Le SEOCM jouerait un rôle de protection de l'oreille interne contre les surstimulations auditives du fait de son pouvoir inhibiteur sur les structures périphériques auditives (Micheyl, Morlet, Giraud, Collet & Morgon, 1995).

ii) Audition dans le bruit.

L'activité modulatrice du SEOCM pourrait permettre de conserver les capacités de discrimination d'intensités en milieu bruyant. Cette amélioration de l'audition s'explique physiologiquement par un phénomène d'« anti-masking » qui améliore le rapport signal/bruit. L'activation controlatérale du SEOCM provoque une inhibition des mécanismes cochléaires actifs du côté ipsilatéral, ce qui entraîne une atténuation des phénomènes d'amplification cochléaire et donc une diminution de la réponse au bruit des fibres auditives afférentes. La conséquence directe est une amélioration du rapport signal/bruit et une amélioration des capacités auditives discriminatives. Expérimentalement parlant, il a été montré que chez les participants normo-entendants, l'activité du SEOCM évoquée par un bruit controlatéral est liée aux performances de détection et de discrimination d'intensité de signaux sonores simples et complexes en présence de bruit ipsilatéral (Micheyl & Collet, 1996).

ii) Implication du SEOCM dans la perception de la parole

Une étude de Giraud, Garnier, Micheyl, Lina-Granade, Chays & Chéry-Croze (1997) suggère une implication du SEOCM dans la compréhension de la parole dans le bruit. Les auteurs ont comparé l'intelligibilité de signaux de parole (mots monosyllabiques) dans le bruit

chez des participants sains et des patients ayant subi une section du nerf vestibulaire (donc SEOCM sectionné). D'autre part, ils ont enregistré les OEAP chez ces deux catégories de participants pour déterminer la qualité du retour olivo-cochléaire. Les résultats montrent une corrélation entre l'efficacité du rétrocontrôle olivo-cochléaire efférent et les performances d'intelligibilité de la parole dans le bruit chez des participants normo-entendants. Chez les patients présentant un nerf vestibulaire sectionné, aucune amélioration des performances de compréhension de la parole dans le bruit par le biais de l'activation du SEOCM n'a été observée. Ces résultats et l'hypothèse d'un rôle du SEOCM dans l'audition dans le bruit sont renforcés par les travaux de Zeng, Martino, Linthicum & Soli (2000) qui ont montré une chute des performances d'audition dans le bruit après neurotomie vestibulaire (voie par laquelle chemine le SEOCM).

ii) Rôle dans l'attention sélective auditive

Le SEOCM pourrait également jouer un rôle de filtre attentionnel auditif. On enregistre une modification significative de l'amplitude des otoémissions acoustiques provoquées – qui témoignent de l'activité modulatrice du SEOCM – lors d'une tâche attentionnelle auditive (Giard, Collet, Bouchet & Pernier, 1994). Par ailleurs, d'autres travaux ont montré une incapacité à focaliser leur attention auditive sur une région fréquentielle particulière chez des patients ayant subi une neurotomie vestibulaire (Scharf, Magnan & Chays, 1997).

B.1.3. Du signal sonore à la représentation linguistique

Au niveau du cortex, plusieurs étapes de traitement sont nécessaires avant d'aboutir à une représentation linguistique du signal de parole. Le système cognitif va devoir dégager un sens à partir d'une onde acoustique.

B.1.3.1. Description physique du signal sonore

Il est possible de décrire le signal sonore à l'aide de trois grandeurs physiques : la fréquence, le temps et l'amplitude de la vibration. Le spectrogramme est communément utilisé pour représenter visuellement la parole. Il représente les fréquences de l'onde sonore en fonction du temps. L'intensité du signal est représentée par le caractère foncé de la bande noire pour une fréquence donnée. Les zones blanches indiquent une absence d'énergie pour la bande de fréquence correspondante. La sensation sonore de l'intensité dépend de l'amplitude de la vibration. La sensation de son aigu ou grave (hauteur) dépend de la fréquence de la vibration.

B.1.3.2. La reconnaissance des mots

Le percept auditif est transformé en percept linguistique par l'intermédiaire des représentations linguistiques abstraites phonologiques et phonémiques qui correspondent aux mots du système linguistique. Chaque phonème de la langue possède des caractéristiques spectrales qui lui sont propres. L'identification de la parole consiste à appairer correctement ces formes spectrales aux représentations phonétiques stockées en mémoire dans le lexique mental. La reconnaissance des mots est une étape clé pour la compréhension de la parole. Elle a un caractère automatique et irrépensible, cependant cette opération rencontre de multiples difficultés.

B.1.3.2.1. Continuité de la parole

La principale difficulté pour analyser la parole tient au fait que le signal est un flux continu, ne présentant pas de frontières entre ses composants, que ce soit des phrases, des mots ou des unités plus petites comme les syllabes. Contrairement au langage écrit, qui en français par exemple, appose explicitement un espace blanc entre les mots d'un texte, le langage parlé ne contient pas de séparation explicite entre ses composants. L'exemple le plus parlant est celui de l'écoute d'une langue étrangère. La sensation de continuité est frappante pour le locuteur exposé pour la première fois à une nouvelle langue. Cette sensation de continuité est présente également visuellement lorsqu'on observe l'enveloppe spectrale d'un signal de parole ou un spectrogramme. En regardant ces deux types de représentation, on réalise que les indices acoustiques de deux sons successifs se chevauchent temporellement. Dans une séquence consonne-voyelle, par exemple la syllabe /ba/, la fin de la réalisation de la consonne est simultanée à la réalisation du début de la voyelle. Dans ces conditions, comment le système fait-il pour segmenter la parole en phonèmes, de façon efficace et stable ?

La continuité n'est pas le seul obstacle au traitement auditif du signal de parole. Il existe des variations inter et intra-individuelles importantes que le système doit gérer. À cela s'ajoute une multitude de réalisations acoustiques différentes des phonèmes en fonction du contexte co-articulatoire.

Enfin, il ne faut pas oublier qu'en plus de toutes ces difficultés, le système doit bien souvent faire face à une détérioration du signal due à la présence de bruit extérieur. Nous reviendrons ultérieurement sur la perception du signal de parole en conditions difficiles.

B.1.3.2.2. Appariement entre représentations auditives et phonétiques

Il existe une grande variabilité des signaux de parole que traite le système auditif humain. En effet, un même énoncé peut prendre différentes formes acoustiques selon que le locuteur est un homme ou une femme, ou en fonction des accents régionaux. Il s'agit de la variabilité intrinsèque. L'extraction des informations pertinentes pour l'accès au lexique suppose que l'auditeur soit capable de gérer les diverses sources de variabilité inter- et intra-individuelles qu'il rencontre. La variabilité interindividuelle se traduit par une différence de réalisation acoustique due aux différences d'âge, de sexe, de débit de parole des locuteurs. Cette variabilité est déterminée par le contexte phonétique, comme par exemple la hauteur de la voix ou la vitesse d'élocution. La variabilité intra-individuelle correspond à des réalisations acoustiques différentes chez un même locuteur en fonction du moment de la journée, de l'état psychologique, etc.

Il existe également une variabilité extrinsèque, déterminée par le contexte articulatoire. En effet, pour réaliser un message verbal à une vitesse d'élocution normale, le locuteur doit anticiper le phonème suivant à chaque instant. Il s'agit du phénomène de coarticulation. Du fait de la juxtaposition des phonèmes les uns à la suite des autres, leur réalisation acoustique varie en fonction de leur voisinage. Par exemple, la réalisation du phonème /d/ ne sera pas exactement la même s'il est suivi du phonème /i/ que s'il est suivi du phonème /a/. En effet, la production de ces deux voyelles nécessite un arrondissement des lèvres différent or, l'appareil articulatoire doit anticiper la production de la voyelle pendant la réalisation de la consonne. La palette de réalisation acoustique des phonèmes est très large, cependant, l'appariement entre l'image auditive et la représentation linguistique stockée en mémoire est un phénomène robuste qui doit sa stabilité à la redondance des indices acoustiques (ou traits acoustiques) présents dans le signal.

B.1.3.2.3. Appariement entre représentations phonétiques et phonologiques

Il arrive parfois que la production d'un phonème soit tellement déviante qu'il en devienne un autre. Par exemple, dans « banque de France », le son [k] de « banque » suivi du son [d] devient le son [g]. Le système de compréhension de la parole doit donc, une fois le décodage acoustico-phonétique réalisé, appairer la représentation phonologique adéquate de façon à activer les bonnes représentations lexicales stockées en mémoire.

Les représentations phonologiques des mots de notre langue interviennent très précocement dans le traitement du signal de parole. Ces traitements s'appliquent automatiquement aux informations perçues par le système auditif sensoriel et sont dits de « bas niveaux ».

Les informations ascendantes circulent de la périphérie vers le système cognitif, cependant, la compréhension de la parole s'appuie également sur les connaissances dont dispose notre système cognitif et qui l'aident à décoder le message parlé : les connaissances de hauts niveaux.

B.2. Processus descendants dans la compréhension de la parole

En parallèle des processus ascendants (ou *bottom-up*) qui véhiculent les informations acoustiques en provenance du milieu extérieur vers le système cognitif, les processus descendants (ou *top-down*) vont intervenir également dans le mécanisme de décodage du signal de parole. Il s'agit des connaissances de l'auditeur relatives aux mots de la langue qu'il est en train d'entendre. Toutes ces connaissances sont stockées en mémoire de manière diffuse dans le cerveau, en psycholinguistique, on utilise pour les rassembler le concept de « lexique mental ».

B.2.1. Le lexique mental.

Le concept du « lexique mental » a été énoncé pour la première fois par Anne Treisman en 1960. Le lexique mental est décrit comme un système dans lequel se déroulerait l'appariement entre le signal physique de parole et le sens associé stocké en mémoire à long terme. Il se construit au cours de l'acquisition de notre langue maternelle en se « nourrissant » des informations auditives perçues. Ce concept est assimilé à une sorte de « dictionnaire mental » qui contiendrait toutes les connaissances, qu'elles soient sémantiques, orthographiques, phonologiques, syntaxiques ou pragmatiques, qu'un individu possède sur les mots d'une langue. Connaître un mot de sa langue revient donc à connaître la relation entre une forme (visuelle ou auditive) et une signification. Le lexique mental serait organisé de façon hiérarchique ce qui lui permettrait de récupérer, de façon extrêmement rapide et efficace, les relations entre ces connaissances, chaque fois qu'un mot entre dans le système que ce soit auditivement ou visuellement dans le cas de la lecture. Lors de la perception d'un signal de parole, le lexique entre en jeu pour permettre l'accès au sens, il permet de

sélectionner le bon candidat parmi des dizaines de milliers de mots en moins de 500 ms. Les informations qu'il contient doivent donc, pour correspondre à une telle vitesse de recherche, être hautement organisées. Ce sont des connaissances abstraites et élaborées c'est pourquoi on les appelle connaissances de « hauts niveaux ». Elles vont emprunter la voie « descendante » pour influencer la compréhension du message parlé. On parle de « processus descendants » dans la perception de la parole car les connaissances circulent depuis des structures hautement intégrées vers des niveaux moins intégrés. Depuis l'acceptation de l'idée de l'existence du lexique mental, les psycholinguistes n'ont cessé de s'interroger sur son mode de fonctionnement (accès aux informations) et sur son architecture interne.

Dans la situation d'une perception difficile (présence de bruit, signal détérioré) la contribution du lexique à la compréhension est d'autant plus importante car il doit « combler » le manque d'information sensorielle. Les connaissances de hauts niveaux exercent une complémentarité voire une influence sur les traitements de bas niveaux. Le lexique mental se caractérise par un « effet attracteur » : il attire à lui les informations auditives pour les transformer en message pourvu de sens. Cette intervention du lexique est automatique et irrépessible.

Si l'intervention du lexique mental dans la compréhension de la parole ne fait pas de doute, on s'interroge cependant sur la nature des indices que le système cognitif utilise pour structurer le lexique et pour simplifier l'accès lexical. La syllabe pourrait être l'unité privilégiée sur laquelle se base notre système cognitif pour initier les recherches lexicales.

B.2.2. La syllabe, une unité privilégiée pour l'accès au lexique

Une syllabe est un segment de parole constitué au minimum d'une consonne et d'une voyelle. Décrite dans la littérature comme « l'unité fondamentale de la parole » et « l'élément de base pour la classification dans la compréhension de la parole et l'accès au lexique » (Mehler, 1981 ; Mehler, Dupoux & Segui, 1990 ; Segui, 1984 ; Segui, Dupoux & Mehler, 1990 ; Pallier, 1994) ; la syllabe semble être une unité perceptive pertinente pour la reconstruction de la parole, cependant, cette théorie est très controversée et fait l'objet de nombreux débats.

D'après les travaux de Mehler, Segui & Frauenfelder (1981), la syllabe est probablement le produit d'un mécanisme de segmentation opérant sur le signal acoustique. C'est une unité de perception universelle qui sert d'interface entre le signal de parole et le lexique mental. Les auteurs s'appuient sur des expériences comportementales qui montrent

que les temps de détection des syllabes sont inférieurs aux temps de détection des phonèmes. Ces travaux ont cependant été largement critiqués par Cutler & Norris (1988) qui montrent qu'en anglais, les attaques des syllabes fortes constituent des points d'alignement pour les processus de recherche lexicale sans que le signal soit catégorisé en unités syllabiques. Les travaux de Marslen-Wilson (1987) contredisent ceux de Mehler, *et al.* (1981) en montrant que l'accès au lexique mental est un processus continu qui débute dès les premiers sons d'un mot. La rapidité du processus de reconnaissance des mots parlés n'est pas compatible avec l'idée selon laquelle le processus d'accès au lexique attendrait la fin de la réalisation acoustique de la première syllabe.

En fait, la syllabe jouerait un rôle spécifique à chaque langue (Cutler, McQueen, Norris & Somejuan, 2001). En français, les syllabes ne sont pas, comme le pensait Mehler (1981), des unités de perception que l'auditeur utilise pour classifier le signal sonore avant l'accès au lexique ; mais ce sont plutôt des fragments de référence sur lesquelles on se base pour segmenter le signal de parole lors de son analyse lexicale (Frauenfelder & Content, 1999 ; Content, Dumay & Frauenfelder, 2000). Le rôle de la syllabe dans la segmentation lexicale du français provient de son rôle dans la structure rythmique de cette langue. Le lexique s'organiserait donc de façon pertinente en choisissant des indices spécifiques à chaque langue pour construire les représentations lexicales. Les représentations qu'il conserve sont extrêmement solides. Ainsi, d'un percept flou va émerger une seule et unique signification. L'effet attracteur du lexique mental va pouvoir aider, par exemple, à percevoir un signal de parole doté de sens à l'intérieur d'un signal complexe tel un brouhaha. Il est possible de montrer expérimentalement l'intervention du lexique dans différentes tâches langagières. Nous allons décrire différentes études mettant en évidence l'intervention du lexique mental dans la compréhension du signal de parole.

B.2.3. Influence du lexique mental sur la perception de la parole. Arguments expérimentaux

Afin d'effectuer un appariement correct entre le signal de parole et les représentations linguistiques stockées en mémoire, plusieurs étapes de traitements complexes sont nécessaires. De nombreux auteurs envisagent une rétroaction des représentations lexicales sur les représentations phonémiques. Quatre effets témoignent du pouvoir attracteur du lexique mental dans la compréhension de la parole (Crouzet, 2000) : il s'agit des effets des connaissances de hauts niveaux sur la catégorisation, la détection ou la restauration de phonèmes ainsi que pour le phénomène de compensation pour la coarticulation. Tous ces

effets témoignent de rétroactions des niveaux lexicaux vers les niveaux pré-lexicaux lors de l'appariement de l'image auditive aux représentations phonologiques ou phonémiques correspondantes.

B.2.3.1. L'effet du statut lexical sur la catégorisation phonémique

L'interaction entre le lexique et les phonèmes perçus est mis en évidence par Ganong (1980) qui montre l'effet du statut lexical sur la catégorisation d'un phonème ambigu. L'auteur présente une séquence CVC dont la consonne d'attaque varie selon un continuum de voisement allant de /d/ à /t/. À une extrémité du continuum la séquence constitue un mot (exemple : /dʏR/) et à l'autre extrémité, elle constitue un non mot (exemple : /tʏR/). Ganong constate un déplacement de la frontière catégorielle : les participants préfèrent catégoriser le phonème ambigu de façon à produire un mot. Cet effet met en évidence une tendance des auditeurs à percevoir un signal de parole comme étant un mot plutôt qu'un pseudomot ; le lexique « aimante » le choix vers un percept linguistique prouve d'une rétroaction des représentations lexicales sur les représentations phonémiques.

B.2.3.2. L'effet du statut lexical sur la détection de phonèmes

Lors de la détection d'un phonème pouvant apparaître à divers endroits (début, milieu, fin) de stimuli auditifs plurisyllabiques lexicaux ou non, on constate un effet de la position du phonème à détecter qui diffère selon que l'item porteur est un mot ou non. On n'observe pas d'effet lexical sur la détection des phonèmes placés en position initiale (Segui & Frauenfelder, 1986) par contre un effet apparaît lorsque le phonème à détecter se trouve en fin de stimulus : les phonèmes sont mieux détectés et plus vite dans des mots que dans des non-mots. Cette différence suggère une intervention du lexique mental au cours de la tâche. En effet, lors de la détection d'un phonème à l'intérieur d'un mot, les connaissances (notamment phonologiques) stockées dans le lexique vont descendre « à la rencontre » des informations auditives ascendantes et faciliter la détection. Pour un non-mot, seules les informations auditives sont disponibles pour l'analyse phonologique ce qui complique la tâche.

B.2.3.3. Effets lexicaux sur la restauration phonémique

Le phénomène de restauration phonémique a été mis en évidence par Warren (1970). Il découvre que les auditeurs ont du mal à différencier un segment de parole *remplacé* par du bruit d'un segment de parole *associé* à un bruit. Les participants perçoivent le segment de

parole qui a été enlevé comme indemne et seulement recouvert par le bruit. Une étude plus récente de Samuel (1997) a montré un effet lexical dans le phénomène de restauration phonémique lors d'une procédure d'adaptation sélective. La procédure d'adaptation sélective consiste à présenter à un auditeur des séquences de parole comportant de manière répétée un phonème particulier, précisément celui auquel on veut que l'auditeur s'adapte. Par exemple pour le phonème /d/, le locuteur sera exposé aux mots « *armadillo, confidential...* ». Après un certain temps d'exposition, le locuteur est placé face à un phonème ambigu provenant d'un continuum /t/ /d/. L'effet obtenu suite à la surexposition au phonème /d/ est un déplacement de la frontière catégorielle en faveur du phonème opposé à celui présenté pendant la phase d'adaptation. Dans l'étude de Samuel, la phase d'adaptation sélective se fait avec des stimuli dans lesquels on a détérioré le phonème critique (par remplacement ou superposition de bruit). Dans la phase de catégorisation phonémique il observe également un déplacement de la frontière catégorielle en faveur du phonème opposé à celui qui a été remplacé par du bruit pendant la phase d'adaptation. Cela signifie qu'il y a eu adaptation au phonème /d/ même si celui-ci était physiquement absent de la liste des mots destinés à l'adaptation. Samuel explique ce phénomène par le fait que les représentations lexicales ont rétroagi sur les niveaux de représentations pré-lexicaux par une modification de l'activation des récepteurs phonémiques.

B.2.3.4. Effet lexical dans la compensation pour la coarticulation

La compensation perceptive des phénomènes coarticulatoires permet de percevoir le bon phonème lorsque celui-ci est déformé par son contexte d'articulation. C'est le cas dans l'exemple « *banque de France* » cité plus haut. Mais rappelons tout d'abord que la perception d'un phonème ambigu peut être influencée par celle du phonème qui le précède. Il s'agit du phénomène de la compensation pour la coarticulation qui a été mis en évidence en anglais par Mann et Repp (1981). En effet, en anglais, un phonème ambigu pris sur le continuum /t/ - /k/ va être perçu /t/ s'il est prononcé après /ʃ/ mais /k/ s'il vient après /s/. Elman & McClelland (1988) ont utilisé la compensation pour la coarticulation pour montrer une influence du lexique sur la perception des phonèmes. Lorsqu'on présente un phonème ambigu issu du continuum /t/ - /k/ à des locuteurs anglais, ceux-ci catégorisent le percept ambigu comme /t/ après le mot *foolish* et comme /k/ après le mot *christmas*. D'autre part, on observe le même phénomène lorsque le phonème final de *foolish* et de *christmas* est aussi un phonème ambigu

pris sur un continuum /s/ - /ʃ/. C'est-à-dire que le phonème ambigu issu du continuum /t/ - /k/ est perçu /t/ après le mot *fooli*_{/phonème ambigu/} et comme /k/ après le mot *christma*_{/phonème ambigu/}. Le phénomène de la compensation pour la coarticulation de Mann & Repp (1981) ne suffit pas à expliquer les résultats puisque le phonème final est lui-même ambigu. Il semblerait que le contexte lexical joue un rôle essentiel dans ce cas précis. Le contexte *fooli* induit l'interprétation du premier phonème ambigu comme étant /ʃ/ et ensuite le phénomène de la compensation pour la coarticulation interprète le deuxième phonème ambigu comme étant /t/. Il semble donc que le contexte lexical puisse induire une restauration phonémique mais aussi un phénomène de compensation pour la coarticulation. Cette étude illustre la capacité du système de perception de la parole à avoir recours à des connaissances intégrées sur les contraintes de production de la parole pour modifier les représentations dérivées du signal acoustique et appairer correctement le percept auditif aux représentations phonologiques.

B.2.3.5. Le problème des effets lexicaux dans les pseudomots

Les effets lexicaux interviendraient également pour les non-mots dans certaines tâches. Par exemple, la détection de phonèmes est plus facile dans un non-mot proche d'un vrai mot (*foiture*) que dans un non-mot qui ne ressemble à aucun mot (*gdale*) (voir Connine, Titone, Deelman & Blasko, 1997). Cela montre l'intervention de processus d'accès au lexique au cours du traitement de stimuli de parole qui n'ont pas de représentation lexicale.

Ces effets lexicaux témoignent de l'effet attracteur du lexique mental qui intervient aux différents niveaux de traitement du langage. Cependant, un débat existe entre les partisans d'une indépendance des traitements de hauts et de bas niveaux (approche autonome) et ceux qui envisagent plutôt un fonctionnement interactif. Dans la partie suivante de ce chapitre théorique, nous allons passer en revue les différents modèles psycholinguistiques de reconnaissance de la parole. Nous décrivons la confrontation entre l'approche interactive soutenue entre autres par McClelland & Elman (1986) et le courant autonome représenté par Cutler, Mehler, Norris & Segui (1987).

C. MODÈLES PSYCHOLINGUISTIQUES DE LA COMPRÉHENSION DE LA PAROLE

Comprendre la parole consiste à appairer le signal sonore aux représentations linguistiques stockées en mémoire. Différents modèles ont été mis au point pour tenter de décrire l'appariement entre les informations sensorielles qui parviennent au système auditif et les représentations lexicales. La compréhension de la parole, comme tout processus cognitif, est sous-tendue par des mécanismes ascendants (ou *bottom-up*) et des mécanismes descendants (ou *top-down*). Les différents modèles de compréhension de la parole débattent entre indépendance et interaction entre ces processus faisant intervenir mécanismes de hauts-niveaux et de bas-niveaux. Nous allons présenter dans cette partie, les différents modèles psycholinguistiques de reconnaissance de mots parlés ainsi que leurs théories concernant le traitement de l'information auditive.

C.1. Le modèle de la Cohorte (Marslen-Wilson & Welsh, 1978)

C.1.1. Le modèle de la Cohorte, première version.

Ce modèle de compréhension de la parole, appelé aussi « Active Direct Access Model » est le premier modèle psycholinguistique spécifique au traitement du langage parlé à avoir été proposé. C'est le premier modèle à introduire l'idée que l'accès au lexique consiste en un processus de sélection parmi un ensemble de candidats potentiels. Selon cette théorie, le signal est analysé de façon séquentielle, c'est-à-dire au fur et à mesure de son entrée dans le système auditif. L'analyse est dite « de gauche à droite ». Dès les 100 premières millisecondes du signal acoustique, soit dès les premiers phonèmes qu'il traite, l'auditeur active dans le lexique une « cohorte » qui correspond à un ensemble de candidats possibles, c'est-à-dire commençant par ces phonèmes. Ensuite, au fur et à mesure du déroulement du signal, le système élimine de la cohorte les candidats qui ne correspondent plus au stimulus acoustique. L'activation des candidats se fait selon la loi du « tout ou rien » : ils peuvent être soit entièrement activés soit pas du tout. Les activations se font de bas en haut (l'activation

provient de l'information sensorielle), il n'y a pas d'activation ou d'inhibitions latérales. Lorsque la réalisation acoustique du signal est terminée, tous les candidats de la cohorte ne correspondant pas exactement au percept ont été écartés. La reconnaissance du mot se fait lorsqu'il ne reste plus qu'un seul candidat.

Le modèle de la cohorte ne prend pas du tout en compte les effets de contexte ; son fonctionnement est exclusivement basé sur les propriétés acoustico-phonétiques de l'*input*. Le modèle de la Cohorte prédit le moment précis auquel le mot va être reconnu ; il s'agit du point d'unicité ou point d'identification. C'est le point précis à partir duquel le mot diffère de tous les autres mots de la cohorte. Par exemple, pour le mot « *vocabulaire* », le phonème /y/ est le point d'unicité. Marslen-Wilson (1984) a montré que dans une tâche de détection de phonème, la position du point d'unicité influence le temps de réponse (plus le point d'unicité est tardif, plus la tâche demande de temps). De même, la position du point d'unification intervient aussi dans le décours d'une tâche de catégorisation de genre (Radeau, Mousty & Bertelson, 1989). Cet aspect du modèle de la cohorte a également été validé par les travaux de Zwitserlood (1989) qui dans une tâche d'amorçage sémantique intermodal montre que lorsque la cible est présentée avant le point d'unicité de l'amorce, on observe un effet d'amorçage y compris pour une amorce incompatible (/kapit/ issu de /kapiten/ et de /kapital/ amorce BOOT et GELD). Par contre si la cible visuelle est présentée après le point d'unicité de l'amorce, seule l'amorce sémantiquement reliée occasionne un effet d'amorçage (seul /kapiten/ active BOOT).

C.1.1.1. Importance des débuts de mots

Le système langagier est contraint de traiter le signal de parole de façon unidirectionnelle selon son ordre temporel de réalisation. Le modèle de la Cohorte accorde une grande importance aux débuts de mots pour s'approcher le plus possible de ce traitement sériel. En effet, c'est sur la base des premiers segments traités que l'auditeur sélectionne la « cohorte » de candidats potentiels. Une étude de Marslen-Wilson & Zwitserlood (1989) semble confirmer cette hypothèse. L'amorce auditive « *honing* » (miel) facilite la tâche de décision lexicale sur la cible visuelle *BIJ* (abeille) alors que ce n'est pas le cas des amorces auditives « *woning* » (logement) ou « *foning* » (pseudomot). Cela signifie que « *woning* », pourtant proche orthographiquement de *honing* ne va pas activer la représentation de ce dernier. Les auteurs en concluent que l'appariement entre le percept auditif et les représentations stockées en mémoire est unidirectionnel et que les amorces présentant un défaut d'appariement

n'aboutissent pas à l'activation d'une représentation différente même si elle est proche. Les travaux en français de Spinelli, Segui & Radeau (2001) vont dans le même sens en montrant que l'amorce auditive /kaʁ/ facilite le traitement de *cartable* alors que /tabl/ ne facilite pas le traitement de *cartable*. On observe un effet de facilitation du traitement de la cible en cas de recouvrement initial mais pas de recouvrement final. Ces résultats sont en accord avec le critère d'alignement initial du modèle de la Cohorte.

C.1.1.2. Limites du modèle de la Cohorte

Le modèle Cohorte ne reconnaît pas les mots qui présentent un défaut d'appariement initial si par exemple ils sont mal prononcés. En effet, le mot « *chigarette* », pour reprendre le célèbre exemple de Norris (1994), est très bien identifié par le système comme étant une erreur de prononciation du mot « *cigarette* ». Cohorte pourtant ne peut reconnaître cette forme comme étant l'une des réalisations acoustiques possibles de « *cigarette* ». Il est cependant évident que la parole en situation naturelle est rarement perçue dans un contexte idéal ; la plupart du temps, le système est gêné par des dégradations extérieures comme par exemple la présence de bruit, ou bien par un défaut de prononciation dû au phénomène de coarticulation. Il semble donc peu probable que la réussite de l'appariement entre percept et connaissance stockée soit aussi dépendant de l'intégrité de l'information acoustique.

C.1.2. Cohorte II : le modèle de la Cohorte modifié

Cohorte II a été proposé par Marslen-Wilson en 1987. La principale différence entre Cohorte I et Cohorte II tient au fait que l'activation des candidats lexicaux dans Cohorte II ne se fait plus selon le principe du « tout ou rien » mais en terme de niveaux d'activation. Cohorte II n'exige pas que l'appariement entre le percept et la représentation lexicale soit parfait, il prend en compte la qualité d'ajustement entre les deux. Ainsi, un défaut d'appariement initial comme dans « *chigarette* », n'empêche pas le mot d'être reconnu. L'appariement se fait sur la base des traits phonétiques et non plus sur la base des phonèmes entiers. Une autre évolution de Cohorte II tient au fait que cette version modifiée prend en compte les effets de fréquence. Le niveau d'activation des candidats va dépendre de leur qualité d'ajustement avec l'entrée mais aussi de leur fréquence d'occurrence. Cohorte II propose comme dans Cohorte I des activations et inhibitions ascendantes mais pas d'inhibitions descendantes ni latérales. Il propose en plus du statut privilégié des débuts de mots, la notion de qualité d'appariement et intègre le paramètre de fréquence.

C.2. Le modèle RACE (Cutler & Norris, 1979)

RACE est un modèle autonome proposé par Cutler & Norris en 1979. Il est autonome dans le sens où les informations phonémiques n'interagissent jamais avec les connaissances lexicales. Du fait de la très grande spécificité de RACE, nous ne présenterons que brièvement ce modèle. En effet, RACE modélise les tâches de catégorisation phonémiques et explique certains phénomènes intervenant dans la compréhension de la parole (comme par exemple les effets d'interaction lexicale/phonèmes lors de la catégorisation d'un phonème ambigu pris sur un continuum de voisement dont l'une des extrémités est un mot et l'autre un pseudomot). RACE possède deux voies de traitement, une voie lexicale et une voie pré-lexicale. Au moment de la prise de décision, le locuteur dispose des deux types d'informations : lexicale et phonémique, en parallèle. RACE explique l'intervention des connaissances lexicales dans la prise de décision finale mais sans aucune influence de ces connaissances lexicales au cours du traitement des informations phonémiques. Dans un modèle purement symbolique tel que RACE, l'information lexicale n'est disponible qu'une fois le mot identifié. Il existe de ce fait, des effets que RACE ne peut prédire comme par exemple les effets lexicaux dans la perception des non-mots. Ce modèle autonome s'est retrouvé confronté à un courant interactif soutenu par McClelland & Elman (1986).

C.3. Le modèle TRACE (McClelland & Elman, 1986)

C.3.1. Les trois niveaux de TRACE

Le modèle TRACE a été mis au point pour combler les lacunes de Cohorte tout en conservant ses points forts. Contrairement à Cohorte, TRACE est un modèle entièrement interactif dans lequel les informations circulent à la fois de bas en haut et de haut en bas. TRACE est basé sur le modèle à activation interactive de McClelland & Rumelhart (1981) pour la reconnaissance des mots écrits. TRACE contient trois niveaux de représentation interconnectés entre eux : le niveau des traits acoustiques, le niveau des unités phonémiques et le niveau des mots. Le premier niveau est constitué de détecteurs de traits phonétiques. Le second niveau identifie les phonèmes en fonction du degré d'activation des traits et de celui des unités lexicales. Les mots sont activés au troisième niveau d'unités. Ces trois niveaux traitent l'information de façon bidirectionnelle en établissant entre eux des connexions excitatrices et inhibitrices.

C.3.2. Activations et inhibitions dans TRACE

Les connexions entre niveaux sont excitatrices alors que les connexions entre unités d'un même niveau sont inhibitrices. Par exemple, l'activation du trait de voisement va activer tous les phonèmes comportant ce trait. De même, l'activation du phonème /t/ va activer tous les mots contenant ce phonème quelle que soit sa position dans le mot. Chaque unité doit atteindre un certain niveau d'activation avant de pouvoir activer d'autres unités à son tour. La décharge d'activation dépend du niveau d'activation de l'unité activatrice et de la force du lien existant entre les deux unités. Lorsqu'un mot est activé, il va en retour rétro-activer les phonèmes qui le composent. Ce système renforce l'activation des unités déjà activées. En parallèle de ces activations, des inhibitions ont lieu entre les unités d'un même niveau. Un phonème activé va inhiber les autres phonèmes et cela d'autant plus efficacement qu'il est fortement activé, et que les connexions sont fortes. Au final, les unités les plus activées entretiennent leur activation et inhibent les unités les plus faiblement activées aboutissant à l'élimination des hypothèses lexicales les moins probables. Un mot sera reconnu lorsque son niveau d'activation domine le niveau d'activation de tous les autres mots du lexique. Ce seuil d'activation est déterminé par la règle de Luce (1959) : la probabilité de réponse d'une unité particulière est calculée en divisant la force de réponse de cette unité par la somme des forces de réponse de toutes les unités pour un temps donné.

C.3.3. Le système de réduplication du lexique

Contrairement à Cohorte où le problème de la segmentation de la parole doit être résolu avant l'entrée du mot dans le système ; TRACE résout le phénomène de continuité par une réduplication du lexique à chaque entrée d'une nouvelle information dans le système. TRACE n'accorde pas de statut privilégié aux débuts de mots. Le modèle suppose que le système ignore où se trouve le début des mots ; à chaque nouveau phonème qui entre dans le système, un mécanisme d'alignement exhaustif est mis en place afin que la totalité du lexique soit disponible et éventuellement activable à chaque début de mot possible. Ainsi l'entrée « *chat* » va activer tous les mots commençant par le phonème /ʃ/ mais également tous les mots commençant par le phonème /a/. L'avantage du mécanisme d'alignement exhaustif est qu'il permet de segmenter le signal sans besoin de détecter les frontières de mots, qui sont d'ailleurs peu saillantes dans le flux de parole. Le principal problème qui en résulte est que le

modèle nécessite de multiples réductions du lexique, soit une quantité énorme d'informations à gérer à chaque instant. Cette hypothèse contraint donc énormément la taille du lexique si on veut que celui-ci soit dupliqué de multiples fois tout en restant cognitivement manipulable. Cette contrainte, rend TRACE peu réaliste lorsqu'on considère la taille approximative du lexique soit plusieurs dizaines de milliers de mots.

Les inhibitions entre les différents mots activés vont aboutir à la sélection du mot qui correspond le mieux à l'entrée auditive. L'état d'activation de chaque unité de chaque niveau à chaque instant est déterminé par les activations et inhibitions qu'elle reçoit des autres unités auxquelles elle est connectée. Ainsi, dans TRACE, l'activation d'une unité au niveau des phonèmes provient des activations au niveau des traits (influences ascendantes guidées par le percept sensoriel) mais aussi des activations provenant des unités activées au niveau des mots (influences lexicales descendantes). TRACE propose donc un vrai traitement interactif de l'information linguistique en prenant en compte l'information périphérique sensorielle mais aussi le retour des informations lexicales. Considérons à présent le modèle NAM (Neighborhood Activation Model) mis au point par Luce, Pisoni & Goldinger, (1990).

C.4. Le modèle NAM (Luce, Pisoni & Goldinger, 1990)

Le modèle NAM doit son originalité au fait qu'il prend en compte l'influence du voisinage et de la densité de voisins sur la reconnaissance d'un mot. Le voisinage d'un mot donné correspond à l'ensemble des mots qui lui sont phonétiquement similaires. Sont considérés comme voisins d'une entrée lexicale, tous les mots qui peuvent être générés par addition, délétion, ou substitution d'un phonème, quelle que soit sa position. Par exemple le mot « *gâteau* » est un voisin du mot « *bateau* » et « *chat* » est un voisin du mot « *achat* ». Le voisinage est un critère très important qui contraint l'accès au lexique au même titre que la fréquence d'occurrence dont tient compte Cohorte II. Dans NAM, le processus de reconnaissance des mots est influencé par la fréquence des mots, mais aussi par la fréquence des mots voisins (fréquence cumulée des entrées phonétiquement similaires) et par la densité du voisinage (nombre de voisins phonétiques possibles). NAM postule que l'activation des mots en mémoire est purement dirigée par le percept auditif puisque cette activation est directement basée sur l'activation de *patterns* acoustico-phonétiques. Le modèle suppose l'activation multiple de toutes les représentations compatibles avec l'entrée. Au fur et à mesure que l'entrée sensorielle parvient au système, les niveaux d'activation sont ajustés de

façon à ce que les candidats qui correspondent toujours à l'entrée soient plus activés et que ceux qui correspondent moins bien à l'entrée soient atténués. Lorsqu'un mot est sélectionné, son activation est modulée par l'information acoustico-phonétique ascendante mais aussi par l'état d'activation global du système décisionnel et par la fréquence du mot. NAM diffère de Cohorte dans le sens où c'est un calcul qui aboutit à la reconnaissance du mot et non pas la réduction de la cohorte à un seul et unique candidat possible. De même, NAM est différent de TRACE du fait qu'il n'utilise pas de connexions inhibitrices entre les représentations lexicales du troisième niveau pour faire le choix du candidat le plus adapté. La sortie du système de décision, c'est-à-dire le mot sélectionné, est calculée selon une règle de probabilité de voisinage qui prend en compte trois valeurs pondérées les unes par rapport aux autres : premièrement, la fréquence d'un mot stimulus et son intelligibilité, deuxièmement, le niveau de confusion dû aux voisins, c'est-à-dire, la quantité de mots similaires qui vont entrer en compétition pour la reconnaissance, et enfin, la fréquence des mots voisins. Ainsi, la reconnaissance d'un mot est basée sur le calcul de la probabilité d'une entrée lexicale d'être favorisée par rapport à ses voisins phonologiques.

C.5. Le modèle Short List (Norris, 1994)

Comme Cohorte et NAM, ShortList est un modèle entièrement ascendant. Dans ShortList les informations circulent uniquement de bas en haut. De ce fait, les connaissances lexicales de haut-niveaux ne peuvent pas influencer les traitements qui se déroulent à des niveaux plus précoces. Dans ShortList il n'existe pas d'activation/inhibition descendantes, seules les activations/inhibitions ascendantes et latérales ont lieu. ShortList utilise des représentations lexicales explicites qui lui permettent une confrontation directe avec le signal. De ce fait, ShortList est capable de détecter et d'identifier les défauts de prononciation.

Le modèle propose deux étapes de traitement : la première consiste en l'activation d'une liste initiale de candidats potentiels (comme dans Cohorte), la seconde est une étape de compétitions lexicales semblable à celle de TRACE. Pour aboutir à la sélection du bon candidat, ShortList utilise des boucles de rétroaction et restreint le nombre de candidats activés. La première étape consiste à sélectionner une liste réduite de candidats, la « short list », dont la taille est régulée par un système de score d'ajustement entre le signal et les entrées lexicales. À chaque phonème entrant, le score est établi de la façon suivante : un bon appariement est codé positivement (+ 1) et un défaut d'appariement est codé négativement (- 3). L'appartenance d'un candidat à la « short list », dépend de sa congruité avec le signal.

Les candidats les moins appariés au signal d'entrée sortent automatiquement de la « *short list* » du fait de leur faible score d'ajustement. La « *short list* » est donc constituée d'un ensemble de candidats potentiels qui vont ensuite entrer en compétition les uns contre les autres pour être sélectionnés. Cette deuxième étape fonctionne exactement comme les compétitions lexicales de troisième niveau dans TRACE. Les différents compétiteurs s'inhibent entre eux. Les mots présentant les mêmes phonèmes (recouvrement phonémique) vont s'inhiber de façon proportionnelle au nombre de phonèmes qu'ils partagent. L'avantage de ShortList par rapport à TRACE est que la taille réduite de la « *short list* » additionnée à un nombre restreint de connexions relayant l'activation, permet au modèle de fonctionner avec un lexique de taille plus réaliste (environ 25 000 mots). Le problème de la segmentation de la parole est résolu dans ShortList comme dans TRACE grâce aux processus de compétitions lexicales. Dans la séquence « *Un chat grincheux* », on peut supposer que le mot « *chagrin* » va être activé. La sélection du candidat « *chagrin* » laisserait l'item « *cheux* » isolé, sans appariement possible. Ainsi, c'est bien les mots « *chat* » et « *grincheux* » qui vont émerger car ils correspondent parfaitement à l'ensemble de la séquence.

Une extension de ShortList a été proposée par Norris, Mc Queen & Cutler (2000) avec le modèle MERGE. MERGE modélise spécifiquement les décisions phonémiques sans retour du lexique sur les niveaux de traitement inférieurs. Le sujet de cette thèse ne portant pas précisément sur les décisions phonémiques, nous ne développerons pas ici le modèle MERGE.

C.6. Conclusion

Les modèles psycholinguistiques que nous avons détaillés ici se résument en deux grandes idées opposées : l'interactivité et l'autonomie. Tous envisagent le phénomène de compréhension de la parole en considérant que celle-ci arrive intacte dans le système langagier. Aucun des modèles ne propose une approche correspondant à la situation de perception réelle que rencontrent les locuteurs au quotidien. Dans la plupart des cas, le signal que nous percevons est dégradé par la présence de bruit ou de voix concurrentes. Il est très rare de percevoir un signal de parole dans le silence, nous sommes constamment exposés à un mélange de bruits environnants que ce soit le bruit de la rue, celui d'un poste de radio ou de télévision ou bien le bruit provenant d'une autre conversation, etc. Aucun des modèles psycholinguistiques de la perception de la parole présenté dans cette partie ne convient à la situation que nous étudions : celle de la perception de la parole dégradée. Cependant, le but de

ce travail n'est pas de tester les prédictions des modèles décrits précédemment, ni de modifier ou d'améliorer l'un d'entre eux. L'apport des modèles psycholinguistiques à notre question ne réside pas dans leur approche de la perception de la parole, mais plutôt dans leur description des mécanismes de compétitions lexicales et leurs théories concernant les processus ascendants et descendants. En effet, les modèles décrivent tous l'activation des processus ascendants et descendants et prennent part à des théories mettant en jeu soit les deux types de processus soit un seul. Cohorte et ShortList sont des modèles entièrement ascendants dans lesquels la reconnaissance de la parole est basée uniquement sur les informations ascendantes. D'autres modèles mettent en jeu processus ascendants et descendants selon une approche autonome (RACE) ou bien interactive comme c'est le cas pour TRACE.

Il est par ailleurs utile pour notre étude de connaître les différentes théories quant aux processus de compétitions entre candidats lexicaux activés. Les différents modèles s'accordent sur cette notion d'activation des candidats lexicaux, ils diffèrent cependant sur le plan de la description de cette activation. Pour Cohorte par exemple, les mots sont activés de façon binaire (loi du « tout ou rien »). Chaque mot possède un seuil d'activation, si le seuil est dépassé le mot est activé, si le niveau d'activation reste en dessous du seuil, le mot n'est pas activé. Pour TRACE, le niveau d'activation d'un candidat va dépendre de la somme des activations et des inhibitions qu'il reçoit. Le mot sera reconnu lorsque son niveau d'activation sera significativement plus élevé que celui de tous les autres mots en compétition. Il sera intéressant d'avoir à l'esprit les explications théoriques de ces modèles lorsque nous discuterons le phénomène des compétitions lexicales dans nos expériences. En effet, pour la perception de la parole dans la parole (chapitre III.), par exemple, nous verrons que les mots faisant partie du bruit de fond sont parfois activés et sont susceptibles d'entrer en compétition avec le discours cible et ainsi gêner fortement la compréhension du message parlé.

D. LA PAROLE DÉGRADÉE

La situation langagière la plus courante n'est certainement pas une situation de perception idéale. Il est très rare de mener une conversation dans le silence complet. En effet, la plupart du temps, nous percevons la parole dans un environnement rempli d'autres sources sonores, que ce soit le bruit ambiant de la rue, des bruits paroliers provenant d'autres conversations ou toute autre manifestation sonore qui gêne la compréhension du locuteur que l'on est en train d'écouter. Qui n'a jamais été gêné pour comprendre une annonce issue de haut-parleurs dans une gare aux heures d'affluence ou bien pour suivre un flash info diffusé par un poste d'autoradio mal réglé ? Toutes ces dégradations sonores constituent autant d'obstacles à la compréhension qu'il faut surmonter afin de comprendre le message parlé. Ainsi il arrive parfois que l'environnement sonore nous empêche de suivre une conversation. Cependant, la plupart du temps, le système langagier surmonte cette difficulté et arrive à maintenir la compréhension. Quels sont les mécanismes qui nous permettent de comprendre la parole lorsqu'elle est dégradée par un phénomène extérieur ?

Pour comprendre le langage parlé dans de telles circonstances, il faut d'une part discriminer la parole des phénomènes parasites et d'autre part, corriger les erreurs de perception dues à la distorsion du signal ou à la présence de bruit ambiant. L'intelligibilité du signal de parole va donc dépendre de la clarté d'émission du signal, mais également de nos aptitudes à distinguer le message pertinent du bruit de fond et de nos capacités à reconstruire le message si celui-ci est dégradé.

D.1. Dégradation artificielle du signal de parole

Nos travaux de recherche s'intéressent précisément à la compréhension de la parole dégradée. Pour étudier expérimentalement le phénomène de compréhension de la parole dégradée, il est possible de modifier artificiellement l'intelligibilité d'un enregistrement de parole. En manipulant le signal, l'expérimentateur peut obtenir un matériel expérimental qui

ne soit pas trop difficile à comprendre mais suffisamment dégradé pour mettre en jeu l'ensemble des mécanismes cognitifs qu'il souhaite observer.

Le moyen le plus simple dont nous disposons pour faire varier de façon contrôlée l'intelligibilité du signal de parole est de le dégrader artificiellement. Dans ces travaux de thèse, nous avons utilisé deux types de dégradation du signal : la parole inversée (ou *reversed speech* en anglais), qui consiste à inverser temporellement la parole ; et la parole dans la parole (ou bruit *cocktail party*), qui consiste à masquer la voix cible par d'autres bruits de voix. Pour ces deux types de dégradation, il est possible de manipuler l'intelligibilité du signal en faisant varier la taille des inversions pour la parole inversée ou en faisant varier le nombre de voix concurrentes pour la parole dans la parole. Nous décrivons précisément les différents niveaux de dégradation que nous avons utilisés ainsi que les techniques qui nous ont permis de les obtenir dans les chapitres expérimentaux utilisant chacun des deux types de dégradation. Tout d'abord, nous allons décrire quelques travaux utilisant différents types de dégradations artificielles de la parole.

D.2. Manipulation de l'intelligibilité

D.2.1. Intelligibilité et compréhension

Il a été démontré à plusieurs reprises que le langage parlé reste intelligible, dans une certaine mesure, malgré certaines détériorations acoustiques (Moore, 2004). Nous allons en voir plusieurs exemples dans cette partie. Il est possible d'appliquer au signal des dégradations de hauts niveaux : par exemple des dégradations sémantiques ou syntaxiques ; mais on peut également dégrader les composantes de bas niveaux, en modifiant la fréquence de la voix ou les caractéristiques temporelles du signal de parole. L'intelligibilité d'un signal de parole dégradé est mesurable. Il est possible d'avoir accès à cette mesure en enregistrant les réponses d'un auditeur qui effectue une tâche de perception de parole dégradée et qui répète ou transcrit ce qu'il a entendu.

D.2.2. L'illusion de continuité et la restauration phonémique

Les travaux de Warren (1970) montrent que le remplacement d'un phonème par un bruit ne perturbe pas la compréhension du mot détérioré. Il s'agit du phénomène de « l'illusion de continuité ». En situation expérimentale, les auditeurs sont incapables d'identifier quel était le segment perturbé. Plus encore, Warren a montré que les auditeurs ne font aucune différence

entre une séquence de parole dans laquelle un phonème a été remplacé par du bruit d'une séquence de parole dans laquelle on a superposé du bruit au phonème. La perception de ce phonème absent est appelée « phénomène de restauration phonémique ».

Lorsque la détérioration porte sur un phonème ambigu, le contexte phrastique influence la récupération du phonème manquant (Warren & Warren, 1970). Par exemple, si l'auditeur n'entend que le stimulus *eel dont le premier phonème est détérioré, le mot peut être perçu comme étant *meel*, *wheel*, *heel* ou *peel*, cependant si le contexte phrastique est : « The *eel was on the table », les auditeurs déclarent avoir entendu *meel*. L'effet attracteur du lexique se manifeste ici par la mise en jeu des connaissances phonologiques et sémantiques. De même, dans une tâche de détection de phonèmes, Cutler, Mehler, Norris & Segui (1987) ont montré qu'un même phonème est détecté plus facilement dans un mot que dans un non-mot. Lorsque le contexte de réalisation du phonème forme un ensemble doté de sens (un mot) le traitement phonémique est plus rapide et la perception du phonème cible est facilitée. Cet effet de « lexicalité » est plus important lorsque le phonème à détecter se trouve en fin de mot (Frauenfelder, Segui & Dijkstra, 1990). D'autres exemples d'études montrant un effet du contexte sur la perception de phonèmes ont été cités dans le Chapitre I. dans le paragraphe portant sur l'influence du lexique mental sur la perception de la parole, notamment les études de Samuel (1997) et d'Elman & McClelland (1988).

Selon Ellis (1998), les phénomènes tels que l'illusion de continuité ou la restauration phonémique montrent que le cerveau est capable d'utiliser les indices du contexte pour interpréter et décrypter des ensembles sonores complexes. Ces travaux, utilisant une dégradation de petite taille (un phonème seulement), montrent que le système est capable de passer outre la dégradation pour aboutir à la compréhension du message parlé. Il s'agirait en quelque sorte d'un mécanisme de « réparation » de la portion de signal altérée, afin de ne pas gêner l'intelligibilité.

D.2.3. Différentes dégradations artificielles

Il existe de multiples façons de dégrader artificiellement le signal de parole. Ces procédés ont émergé avec l'utilisation courante de l'informatique et notamment des logiciels de manipulation de la parole (Moore, 2004). Aujourd'hui on est capable d'appliquer n'importe quelle distorsion au signal, ou même de créer entièrement artificiellement de la parole. Nous allons présenter ici quelques exemples de dégradations artificielles possibles.

Cette liste ne se veut pas exhaustive, mais à pour but de représenter ici quelques exemples de dégradations utilisées dans les études récentes sur la parole.

En 2003, Davis et Johnsruide ont utilisé trois types de distorsion du signal pour tenter de fractionner le système de compréhension de la parole en différents niveaux de traitement hiérarchisés. Ces trois types de dégradation ont été réalisés grâce au logiciel Praat. À l'intérieur de ces trois distorsions les auteurs ont choisi trois niveaux d'intelligibilité (mesurée par le nombre de mots correctement restitués) de façon à générer un continuum d'intelligibilité. Ils ont également enregistré l'activation des aires cérébrales du langage spécifiquement à chaque type de dégradation en couplant leur étude comportementale à une étude en IRM fonctionnelle. Leurs travaux montrent d'une part la capacité du système langagier à restaurer de la parole dégradée et d'autre part l'existence de structures qui pourraient être impliquées dans la compensation de la distorsion.

D.2.3.1. La parole segmentée

Ce type de détérioration mis au point par Bashford, Warren & Brown (1996) consiste à alterner des portions de signal de parole intactes avec un signal bruité, dit SCN (Signal Correlated Noise), dont l'enveloppe spectrale et l'amplitude sont identiques à ceux du signal de parole initial, mais qui n'est constitué que de bruit. Le SCN ne contenant aucune information linguistique, aucun mécanisme de compréhension n'est sollicité. Des portions de 200 ms de signal de parole intact sont alternées avec des portions de SCN d'une durée de 100, 200 ou 500 ms. Ce type de matériel a permis aux auteurs de mettre en évidence des aires cérébrales spécialisées dans le traitement des changements spectraux rapides.

D.2.3.2. Le vocoded speech

Le « *vocoded speech* » ou parole « vocodée » (Shannon, Zeng, Kamath, Wygonski & Ekelid, 1995) est un signal de parole filtré en fréquence grâce à des filtres passe-bande. Les signaux de parole sont tout d'abord divisés en bandes de fréquence. Dans chaque bande de fréquence, l'enveloppe de l'amplitude est extraite et utilisée pour moduler en amplitude un enregistrement de bruit dans la même bande de fréquence. Ensuite, le *vocoded speech* est synthétisé en combinant ensemble les différentes bandes de fréquence du bruit modulées en amplitude. La parole vocodée a été mise au point par l'équipe de Shannon pour simuler la perception du langage par un implant cochléaire. Ce type de dégradation donne une impression de voix de robot. C'est une situation de perception très complexe.

D.2.3.3. La parole dans le bruit

La parole dans le bruit a été générée en additionnant en bruit de fond un spectre de parole continu à trois niveaux de rapport signal sur bruit (-1, -4 ou -6 dB). L'amplitude globale de chaque stimulus de parole dans le bruit a été contrôlée de façon à correspondre à l'amplitude du signal de parole d'origine.

Grâce à ces trois conditions expérimentales, Davis et Johnsrude mettent en évidence une continuité dans la perte d'intelligibilité sur les trois types de distorsion appliqués au signal et des traitements cognitifs différentiels selon le type de détérioration utilisé. Plus la dégradation est importante, plus l'intelligibilité diminue. De plus, chaque type de détérioration semble activer des zones cérébrales différentes, selon le processus de compréhension qu'elle met en jeu (traitement temporel rapide, reconstruction sémantique, etc.). D'autres types de distorsion ont été mis au point spécifiquement pour répondre à certains critères expérimentaux. C'est le cas par exemple du « rotated speech » (Scott, Blank, Rosen & Wise, 2000).

D.2.3.4. Le rotated speech

Le « rotated speech » (Scott, *et al.*, 2000) consiste à effectuer une inversion spectrale de la parole. Il conserve certains traits phonétiques et l'intonation de la voix. Les auteurs ont créé cette dégradation car ils avaient spécifiquement besoin d'un signal de parole d'intelligibilité variable mais de complexité acoustique équivalente à celle d'un signal de parole original. Grâce à cette distorsion, ils ont mis en évidence une nouvelle voie dans le lobe temporal pour la compréhension de la parole.

La parole est un signal auditif des plus complexes, dont la compréhension nécessite de multiples traitements. Le cerveau humain consacre une place très importante aux aires dévolues au déchiffrement du message parlé ainsi qu'à la séparation de flux de paroles issus de voix concurrentes. Les travaux de recherche présentés ici, ont pour but d'étudier l'intelligibilité comme indice de la compréhension du message verbal. Nous avons donc détérioré artificiellement des signaux de parole de façon à observer la perte d'intelligibilité, la mesurer, et analyser les mécanismes de résistance que le système langagier met en place face à cette perte d'intelligibilité. Pour nos expériences, nous avons utilisé deux types de dégradations artificielles : la parole inversée et la parole dans la parole.

Nous allons à présent détailler séparément ces deux types de dégradation, exposer plusieurs travaux de la littérature les utilisant et expliquer dans quel but nous les avons choisis parmi l'ensemble des dégradations artificielles possibles.

D.3. La parole inversée.

Dans leurs travaux de 1999, Saberi et Perrott se sont intéressés à l'intelligibilité de la parole inversée. Avant ces travaux, il n'avait jamais été envisagé que le cerveau humain soit capable de comprendre un signal de parole présenté à l'envers.

D.3.1. Le reversed-speech

La parole inversée est une dégradation qui permet de conserver les composantes de bas niveaux du signal de parole (comme la composition spectrale du signal) mais qui perturbe les composantes de hauts niveaux (tels les phonèmes). Inverser la parole consiste à inverser le signal sur sa dimension temporelle. La parole inversée a été qualifiée comme « *la forme la plus drastique de dégradation temporelle de la parole* » par Licklider & Miller (1960). Elle a la particularité de conserver certaines propriétés acoustiques du langage humain ; notamment la répartition fréquentielle des sons, leur amplitude, leur spectre d'énergie et certaines caractéristiques rythmiques et temporelles. La parole inversée possède les mêmes caractéristiques physiques que la parole naturelle, la différence réside dans la coarticulation qui ne respecte pas les contraintes articulatoires de l'appareil vocal humain. La parole inversée est totalement imprononçable. Il s'avère cependant que, dans une certaine mesure, nous pouvons la déchiffrer.

D.3.2. Comprendre la parole inversée

La parole jouée à l'envers a longtemps été utilisée comme condition contrôle dans des expériences comportementales portant sur le traitement du langage (Mehler, Jusczyk, Lambertz, Halsted, Bertoncini & Amiel-Tison, 1988). Dans l'étude de Mehler, *et al.* (1988), les auteurs testaient les capacités de nourrissons de quatre jours à discriminer des langues étrangères de leur langue maternelle grâce à la technique de succion non nutritive. La parole inversée utilisée comme condition contrôle dans cette étude correspondait à une séquence de parole normale inversée sur la totalité de sa durée. L'intérêt d'utiliser la parole inversée comme condition contrôle est qu'elle présente le même contenu physique que la parole normale, sauf qu'on ne peut en dégager aucun sens et que les règles articulatoires de la langue sont totalement violées. Il s'agit en fait d'un bruit très apparié au signal de parole d'origine.

Les travaux de Saberi & Perrott (1999), publiés dans la revue *Nature*, ont été les premiers à mettre en évidence une capacité cognitive à reconstruire de la parole inversée.

Dans leur étude, il ne s'agissait pas de retourner la totalité du signal de parole, mais de petites portions appelées « fenêtres d'inversions ». Les auteurs ont segmenté le signal de parole en plusieurs fenêtres de même durée (la taille des fenêtres testée était de 50 à 200 ms). Les portions ont ensuite été retournées sur leur axe temporel puis recollées ensemble. Les auteurs observent que pour des fenêtres d'inversion de 50 ms, l'intelligibilité est intacte et que le seuil de 50 % d'intelligibilité est atteint pour des fenêtres d'inversion d'une durée de 130 ms. Il faut cependant noter que les participants testés ne l'étaient que sur une phrase unique répétée plusieurs fois avec les différentes tailles d'inversion, et que les performances mesurées n'étaient en fait qu'une estimation subjective de l'intelligibilité de la phrase.

En 2001, les travaux de Greenberg et Arai ont montré également que, dans une certaine mesure, les auditeurs étaient capables de traiter et de reconstruire de la parole anglaise inversée localement. Les auteurs ont testé des intervalles d'inversion de 20 à 180 ms sur un corpus de phrases plus important que celui de Saberi et Perrott, pour éviter un apprentissage des phrases. Les phrases étaient diffusées en champ libre par des haut-parleurs. Les auditeurs pouvaient écouter chaque phrase jusqu'à quatre fois avant de transcrire leur réponse. Les résultats montrent que l'intelligibilité décroît régulièrement lorsque la taille de l'inversion augmente et présente un plancher à partir de 100 ms d'inversion. Les auteurs observent une forte corrélation entre l'intelligibilité des phrases inversées et le contour d'un spectre de modulation complexe (représentation intégrant les paramètres d'amplitude et de phase du signal). Les conclusions de cette étude portent sur l'importance des composantes de phase et d'amplitude de l'enveloppe spectrale pour l'intelligibilité.

Concernant le français, les travaux en parole inversée de Meunier, Cenier, Barkat & Magrin-Chagnolleau (2002) visaient à quantifier les capacités du système cognitif à récupérer les informations lexicales dégradées par l'inversion. Meunier, *et al.* (2002), ont utilisé cinquante phrases issues d'une base de données, prononcées par dix locuteurs différents. Pour créer les stimuli, le signal de parole a été inversé de n millisecondes toutes les n millisecondes grâce au logiciel MATLAB. Les auteurs ont testé dix fenêtres d'inversion de longueur croissante, soit dix valeurs de n : 20, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 140, 180 et 0 ms (contrôle). Les performances de reconstruction sont obtenues en codant manuellement les retranscriptions en pourcentage de mots exacts par rapport au nombre de mots de la phrase stimulus. Ainsi, pour chaque participant, on obtient un pourcentage de reconstruction moyen pour chaque condition d'inversion. Les résultats montrent une dégradation de l'intelligibilité lorsque la taille des fenêtres d'inversion du signal augmente (Figure 4). Les auteurs observent une très forte corrélation négative ($r = -0.95$) entre l'intelligibilité et la taille de la fenêtre d'inversion.

L'intelligibilité est conservée à 90 % lorsque la fenêtre d'inversion est inférieure à 50 ms. Puis entre 50 et 100 ms, les performances de restitution des mots chutent progressivement jusqu'à 25 % ; enfin lorsque l'inversion devient supérieure à 100 ms, l'intelligibilité reste inférieure à 10 %.

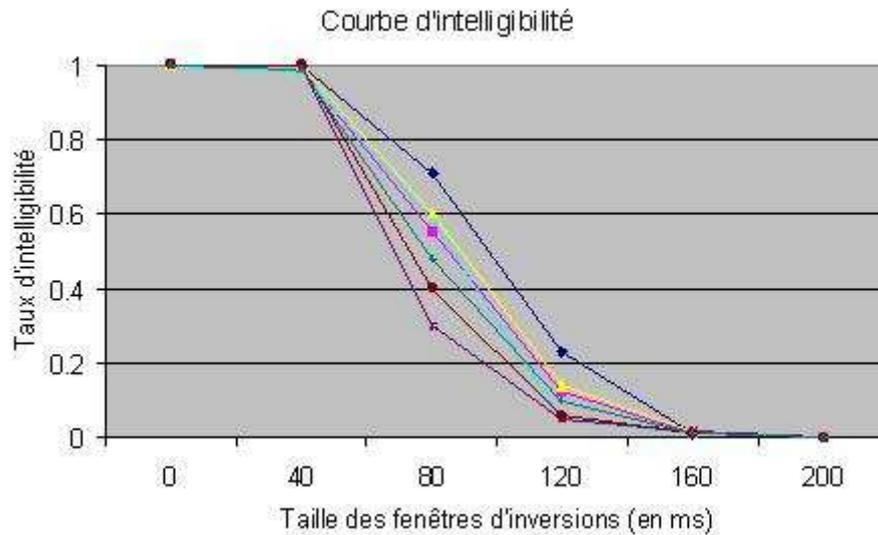


Figure 4: Courbes d'intelligibilité obtenues pour sept participants en fonction de la durée de la fenêtre d'inversion

Ces résultats sont comparables à ceux de Greenberg & Arai (2001) en anglais et montrent qu'il existerait bien une capacité du système cognitif à reconstruire la parole inversée, cependant on constate de moins bonnes performances pour les locuteurs anglais (Meunier, *et al.*, 2002). En effet, le seuil des 50 % d'intelligibilité est atteint plus précocement pour les locuteurs anglophones (60 ms) que pour les locuteurs francophones (80 ms). Cette différence pourrait provenir d'une divergence de codage des réponses car le codage était manuel dans l'étude de Meunier, *et al.* (2002) et effectué automatiquement par un algorithme dans l'étude de Greenberg & Arai (2001). Il est possible que le codage manuel ait accepté plus de bonnes réponses phonologiquement correctes mais orthographiquement fausses que le codage de l'algorithme qui n'autorisait qu'une divergence de deux phonèmes (par exemple la réponse « *partir* » pour le mot « *partirent* » sera comptée comme fausse par l'algorithme et juste par le codage manuel). Cependant, il existe des divergences entre les deux langues qui pourraient être à l'origine de la différence de résultats. En effet, l'anglais et le français présentent des différences rythmiques, métriques, accentuelles, etc. Il est possible que le

français soit plus robuste à l'inversion que l'anglais de part sa structure phonologique. Les deux études présentées ici appliquent les inversions sur des portions de signal de taille arbitraire, sans tenir compte de leur contenu linguistique. Or, il semblerait que le contenu des fenêtres d'inversion, en termes d'unités de traitement langagier, soit important. En français par exemple, la syllabe est une unité robuste et pertinente pour la perception de la parole. Il pourrait être intéressant d'observer le phénomène de restauration de la parole inversée en français en basant les inversions temporelles sur la structure syllabique des mots dégradés. Nous reviendrons plus en profondeur sur ces éléments de discussion dans la partie expérimentale consacrée à la parole inversée.

Si la parole inversée est une situation diamétralement opposée aux situations de perception naturelles, la parole dans la parole correspond, elle, à une situation de perception à laquelle nous sommes confrontés quotidiennement.

D.4. Le bruit cocktail party

La compréhension de la parole dans le bruit pose problème à la majorité des locuteurs. Bien souvent, une personne possédant une parfaite audition dans le silence, sera fortement gênée par la présence de bruit pour suivre une conversation. La gêne occasionnée par la présence de bruit pour comprendre un message parlé est la source de motivation la plus fréquente pour la première consultation d'un spécialiste de l'audition. Cette situation devient extrêmement problématique pour l'oreille vieillissante, et chez les personnes victimes de troubles de l'audition, la tâche devient quasiment insurmontable. Il paraît donc crucial, d'un point de vue thérapeutique, de parvenir à comprendre les mécanismes de compréhension de la parole dans le bruit pour savoir comment y suppléer.

D.4.1. La parole dans la parole

Contrairement à la majorité des formes de dégradation présentées précédemment, pour lesquelles une distorsion acoustique est appliquée directement au signal, il est également possible de dégrader le message parlé en lui superposant un signal concurrent qui va perturber sa compréhension. C'est le cas de la parole dans le bruit que nous avons décrit plus haut. Il existe bien entendu une multitude de bruits que l'on peut superposer au signal : bruit à large bande spectrale, bruit blanc (densité spectrale identique pour toutes les fréquences), ou bruit de parole. Le bruit *cocktail party* consiste précisément à adjoindre au signal de parole cible,

un ou plusieurs autres signaux de parole qui vont masquer le message cible. Cette situation, créée artificiellement, correspond à une situation de parole que nous expérimentons au quotidien.

D.4.2. L'effet cocktail party

Le phénomène de « *cocktail party* » a été décrit par Cherry en 1953. Il s'agit de la capacité à séparer et à comprendre un signal de parole, parmi d'autres bruits concurrents simultanés, paroliers ou non. La description de ce phénomène a donné lieu à une multitude de travaux de recherche sur la séparation de flux sonores et l'analyse de scènes auditives (voir Bronkorst, 2000 ; pour une revue). L'intelligibilité de la parole présentée parmi d'autres signaux de parole dépend notamment de deux facteurs : le nombre de voix concurrentes et l'enveloppe spectrale globale du stimulus. Lorsque les différents flux concurrents proviennent de localisations différentes, le système est capable de faire une séparation spatiale de ces différents flux pour isoler la voix cible (Bronkorst, 2000). Cependant, lorsque le mélange sonore est diffusé avec un casque aux deux oreilles simultanément, le système n'a aucun repère spatial et doit donc utiliser d'autres indices comme des différences d'accents, ou de fréquence fondamentale (F0) entre les voix concurrentes (Brungart, Simpson, Ericsson & Scott, 2001).

D.4.3. Notions de masquage

Lors de la perception de la parole dans la parole, les voix appartenant au bruit de fond vont venir se superposer à la voix cible et gêner la compréhension du message qu'elle délivre. On parle alors d'effet de « masquage ». Le bruit de fond, dénué d'intérêt, va cacher le signal cible et gêner sa perception. On distingue deux effets de masquage occasionnés par ce bruit de fond : le masquage énergétique et le masquage informationnel.

D.4.3.1. Le masquage énergétique

Le masquage énergétique est constamment présent dans une situation de perception dans du bruit (parolier ou non). Il est attribué à la composition spectrotemporelle du bruit qui recouvre le signal cible. Le masquage énergétique est présent dès que la parole est perçue dans une situation où un bruit extérieur vient s'ajouter au signal de parole et recouvre en temps et en fréquence une partie des informations qu'il contient.

D.4.3.2. Le masquage informationnel

Il s'agit du masquage occasionné par les informations langagières présentes dans le bruit concurrent. Lorsque le bruit concurrent est un bruit de parole, celui-ci contient des informations linguistiques qui vont pouvoir interférer avec les informations du signal de parole cible. Ces informations « parasites », sur lesquelles l'attention n'est pourtant pas focalisée, vont être irrésistiblement traitées par le système de compréhension de la parole et gêner le traitement des informations pertinentes.

D.4.4. Travaux récents

La plupart des travaux s'intéressant à la question de la compréhension de la parole dans la parole, ont étudié le phénomène *cocktail party* en se focalisant d'emblée sur les indices de séparation spatiale des flux concurrents (Ericsson & McKinley, 1997 ; Drullman & Bronkhorst, 2000). Ces deux études ont utilisé une condition à trois voix ou plus provenant de la même source (écoute diotique) comme condition contrôle. D'autres utilisent l'écoute diotique ou monaurale comme condition contrôle dans une tâche d'écoute dichotique (Carhart, Tillman & Greetis, 1969). Peu d'études antérieures se sont intéressées spécifiquement à la ségrégation de flux de parole lorsque la voix cible et les voix concurrentes proviennent d'une même source. Les premiers travaux (Miller, 1947) ont étudié les effets de la variation du Rapport Signal sur Bruit (RS/B) et du nombre de locuteurs concurrents sur la perception d'un stimulus de parole multilocuteurs diotique (le même signal aux deux oreilles). Les résultats montrent que l'intelligibilité du locuteur cible diminue lorsque des locuteurs compétiteurs interviennent et lorsque le niveau sonore de la cible est réduit par rapport au niveau sonore des bruits de parole concurrents.

En 2001, une étude de Brungart s'est penchée sur la perception diotique de deux signaux de parole concurrents et a montré qu'une différence dans les caractéristiques vocales des voix concurrentes, comme par exemple une différence de genre ou de niveau sonore entre les deux locuteurs, peut améliorer l'intelligibilité de la voix cible. Cette condition à deux voix concurrentes est résolue grâce aux indices de surface. Les indices de surface sont nombreux : F0 (fréquence fondamentale), timbre des voix, style discursif, etc. Les données de cette étude à deux locuteurs montrent un fort effet de masquage informationnel : les locuteurs sont capables d'entendre les deux messages concurrents, mais rencontrent quelques difficultés à différencier le contenu de la phrase cible de celui de la phrase concurrente (Brungart, 2001a, 2001b).

L'étude de référence pour nos travaux est celle de Brungart, *et al.* (2001). Ils ont étudié les effets du nombre de locuteurs, du genre des locuteurs, et du RS/B dans des *cocktails party* à une voix cible et deux ou trois voix concurrentes. Les auteurs ont utilisé pour leur matériel cible et concurrent les phrases du corpus de Bolia, Nelson, Ericson & Simpson (2000) qui comporte des phrases de la forme « *Ready (call sign) go to (color) (number) now* ». Avec huit indicatifs possible (exemples : *Arrow, Baron, Charlie...*) ; quatre couleurs (*blue, green, red, white*) et huit chiffres (de 1 à 8), le corpus propose toutes les combinaisons, soit 256 phrases possibles de la forme « *Ready Charlie go to green seven now* ». Chaque phrase est disponible en huit voix différentes (quatre voix d'hommes et quatre voix de femmes). Dans cette étude, chaque stimulus correspondait à trois ou quatre phrases du corpus diffusées simultanément. La phrase cible commençait toujours par l'indicatif « *Baron* » et les deux ou trois phrases « masquantes » par un autre indicatif sélectionné aléatoirement. Dans chaque stimulus, les phrases « masquantes » et la phrase cible contenaient obligatoirement des couleurs et des nombres différents les uns des autres. Le niveau sonore (RMS power) des phrases de bruit de fond a été fixé entre 60 et 70 dB SPL et le niveau sonore de la phrase cible a été ajusté de façon à obtenir 10 Ratios Cible/Masques (RCM)⁴ allant de -12 dB à +15 dB par pas de 3 dB. Les stimuli étaient présentés diotiquement au casque. Les participants étaient placés devant un écran comportant toutes les combinaisons couleur/nombre possibles et devaient cliquer sur celle correspondant à la phrase du stimulus commençant par « *Ready Baron* ».

Les résultats montrent qu'à partir de trois voix en compétition, une diminution linéaire des performances est observée lorsque le RCM diminue. Les auteurs observent un fort effet de genre, les performances sont moins bonnes lorsque le locuteur cible et les locuteurs concurrents sont de même genre, particulièrement pour les RCM positifs (niveau sonore de la cible plus élevé que le niveau sonore des compétiteurs). Cet effet de genre tend à disparaître lorsque le nombre de voix dans le stimulus augmente. Pour résoudre le problème de l'effet *cocktail party*, les indices de surface n'interviennent plus à partir de trois voix de genre identique, ou de quatre voix de genre mixte. Par ailleurs, les performances augmentent pour un ratio positif donné lorsque le nombre de voix augmente. Lorsque le ratio est négatif, c'est l'inverse, les performances sont meilleures pour la condition à deux locuteurs que celles à trois ou quatre locuteurs. En résumé ; l'ensemble des études de Brungart montre que lorsque le mélange de parole est composé d'un faible nombre de locuteurs (deux à quatre), les

⁴ Il est à noter que ce ratio entre le niveau sonore de la phrase cible et celui d'une des phrases « masquantes » est différent du rapport Signal/Bruit que nous utiliserons pour nos expériences et qui correspond au rapport entre le niveau sonore de la phrase cible et le niveau sonore global du signal.

auditeurs s'appuient sur des indices propres aux voix, comme le genre ou l'intensité sonore de chaque voix, pour compenser les effets de masquages.

Il faut remarquer que l'étude de Brungart, *et al.* (2001) se prête tout particulièrement à un effet de masquage informationnel du fait de la ressemblance entre phrases cibles et phrases concurrentes et de la redondance des items utilisés. L'analyse des erreurs a d'ailleurs montré qu'il était très rare de trouver des réponses qui n'étaient pas réellement présentes dans les stimuli. Ce point constitue une limite de l'étude de Brungart, *et al.* (2001) : les participants avaient des connaissances sur le contenu des phrases « masquantes » et des phrases cibles, du fait du nombre réduit d'items de chaque catégorie (huit indicatifs, quatre couleurs, huit chiffres possibles). D'autre part, la tâche correspondait à une tâche de compréhension de parole dans la parole, cependant elle était particulièrement facile puisque il suffisait d'identifier les trois éléments principaux (trouver la voix prononçant «*Baron* », la couleur et le chiffre associé) pour choisir la réponse correcte. De plus, le nombre réduit d'items possibles dans chaque catégorie permettait de deviner le mot prononcé. Par exemple, pour les quatre couleurs utilisées (*blue, green, red, white*) le fait de percevoir uniquement la voyelle cible suffisait à identifier correctement la couleur. Ces choix méthodologiques, très pratiques à contrôler, ne pouvaient conduire au recueil de performances d'intelligibilité dans le bruit représentatives d'une situation de perception réelle.

Nos travaux de recherche se sont largement inspirés de l'étude de Brungart, *et al.* (2001), cependant, nous avons mis en place une tâche de transcription (au lieu de la tâche non verbale demandée par Brungart, *et al.*, 2001), et nous avons respecté un certain nombre de critères psycholinguistiques pour la création du matériel expérimental. Nous avons enregistré un corpus de parole naturelle et variée qui nous a servi de base pour créer les bruits paroliers. Nous avons également testé un nombre plus important de voix concurrentes pour étudier les effets de masquage informationnel et énergétique comme nous le verrons au Chapitre III.

E. TROUBLES DU LANGAGE, LE CAS DE LA DYSLEXIE

L'apprentissage du langage est un processus lent et complexe qui nécessite plusieurs années. Si la plupart du temps, l'acquisition se passe sans histoires, de nombreux enfants développent des troubles du langage. Les plus fréquents sont le bégayement, la dyslexie et la dysphasie, mais il existe de nombreux autres troubles de l'élocution ou de l'apprentissage du langage écrit pouvant s'accompagner ou non de troubles de la mémoire. Actuellement, 4 à 6 % de la population est touchée mais seulement 1 % connaît des troubles graves. En grandissant, les enfants atteints de troubles de l'apprentissage ne sont plus ou peu suivis. Qu'advient-il de leurs troubles ? Certains compensent ce déficit par des stratégies, d'autres vivent avec. Dans le cadre de l'étude des mécanismes de compréhension de la parole, il est intéressant d'observer le phénomène de reconstruction chez des personnes présentant un trouble du langage. La comparaison de leurs performances par rapport à celles des participants sans troubles peut se révéler très instructive notamment pour observer les stratégies mises en place.

Les données de ces patients peuvent nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement du système langagier normal. Dans le cadre des travaux présentés dans cette thèse, nous nous sommes spécifiquement intéressés à la dyslexie. Dans cette partie, nous allons passer en revue les différentes dyslexies et les principales théories expliquant leurs origines. Le but de ces travaux de recherche n'étant pas de prendre position pour l'une ou l'autre des théories proposées mais d'étudier le phénomène de restitution de la parole dégradée dans le cas d'un trouble du langage, nous n'exposerons que brièvement les différentes positions. Nous détaillerons en revanche des travaux expérimentaux portant sur la perception de la parole dégradée chez les dyslexiques ainsi qu'une étude présentant des troubles de la perception de la parole associés à un système auditif périphérique anormal chez des enfants diagnostiqués dyslexiques.

E.1. La dyslexie

E.1.1. Définition

La dyslexie est un trouble du langage se caractérisant par un retard durable de l'acquisition du langage écrit. C'est un trouble spécifique de l'écriture que l'on dépiste généralement chez l'enfant lors de l'acquisition de la lecture et de l'écriture. Le niveau de lecture réel d'un dyslexique présente un retard de 18 à 24 mois par rapport au niveau attendu. On parle de dyslexie lorsque les difficultés de lecture/écriture ne peuvent être apparentées à un déficit biologique (d'ordre sensoriel, intellectuel, ou attentionnel) ou à une cause environnementale (difficultés sociales, familiales ou pédagogiques). Pour expliquer ce décalage, l'hypothèse d'un déficit cognitif a été avancée. Il est possible que ce déficit soit lié à un facteur génétique car bien souvent les dyslexiques ont des antécédents familiaux, cependant, rien ne permet d'affirmer qu'il s'agisse d'un trouble héréditaire. De nombreux troubles sont fréquemment, mais pas systématiquement, associés à la dyslexie, notamment des troubles de perception du temps et de l'espace, de perception auditive ou visuelle, de légères difficultés motrices, des troubles de l'attention et des troubles du langage oral. Toutefois, aucun de ces troubles n'explique réellement la composante lecture de la dyslexie. La définition de la dyslexie est toujours en débat actuellement (Frith, 1999). Au total, on estime qu'un adulte sur deux est, ou a été, dyslexique.

E.1.2. Dyslexie développementale

Il ne faut pas confondre la dyslexie acquise, que l'on appelle aussi « alexie » et qui est due à une lésion cérébrale ; et la dyslexie développementale qui apparaît pendant l'enfance. Il existe plusieurs facteurs plausibles de l'apparition des troubles. Les travaux de recherche des dernières années ont permis d'établir que la dyslexie développementale est due à un déficit cognitif dont l'origine est un trouble neurologique lui-même déterminé génétiquement. Certaines méthodes pédagogiques pourraient accentuer les troubles, notamment les méthodes d'apprentissage globale et semi-globale de la lecture qui n'accordent pas ou peu d'importance à l'apprentissage explicite de la correspondance graphèmes/phonèmes. Certaines langues, du fait de leur orthographe, sont plus propices que d'autres à favoriser la dyslexie. En effet, une étude de Seymour, Aro et Erskine (2003) a montré que plus l'orthographe d'une langue est irrégulière plus les difficultés sont grandes pour les enfants qui apprennent cette langue et *a*

fortiori pour les dyslexiques. En effet, les symptômes de la dyslexie sont plus graves lorsque l'orthographe de la langue est irrégulière (Paulesu, Démonet, Fazio, McCrory, Chanoine, *et al.*, 2001). Les langues à orthographe irrégulière sont des langues opaques, comme l'anglais ou le français, pour lesquelles la forme sonore ne correspond pas à la prononciation attendue (par exemple en français : *femme* se prononce /fam/). On dénombre moins de dyslexiques parmi les locuteurs de langues transparentes (ou à orthographe quasi-régulière) comme le finlandais ou l'espagnol.

L'évolution de la dyslexie va dépendre de la précocité du dépistage et de la réussite de la rééducation qui peut durer plusieurs années. Dans la plupart des cas de dyslexie légère, les troubles peuvent être atténués et l'enfant peut accéder à un niveau de lecture/écriture qui lui permet de faire des études supérieures. Cependant, il n'est pas possible de guérir de la dyslexie, les praticiens encadrant la prise en charge peuvent, au mieux, aider les patients à contourner leur déficit.

E.1.2.1. Dyslexie de surface et dyslexie phonologique.

Plusieurs formes de dyslexies développementales ont été identifiées à partir du modèle de lecture à double voie de Coltheart (1978), selon qu'elles se caractérisent par une difficulté à mettre en place la voie par adressage ou la voie par assemblage ou les deux (Valdois, 2004). Nous présenterons rapidement ces différences, les différents types de dyslexies n'étant pas le propos de cette étude. La voie par adressage (procédure lexicale) passe par le système sémantique, elle fonctionne pour les mots connus et est nécessaire pour lire les mots irréguliers (comme par exemple *monsieur*). Cette voie, plus directe, est la voie majoritairement utilisée par le lecteur expert. La voie par assemblage (procédure phonologique) utilise les règles de conversion graphèmes/phonèmes et permet de lire les mots nouveaux et les pseudomots (Figure 5).

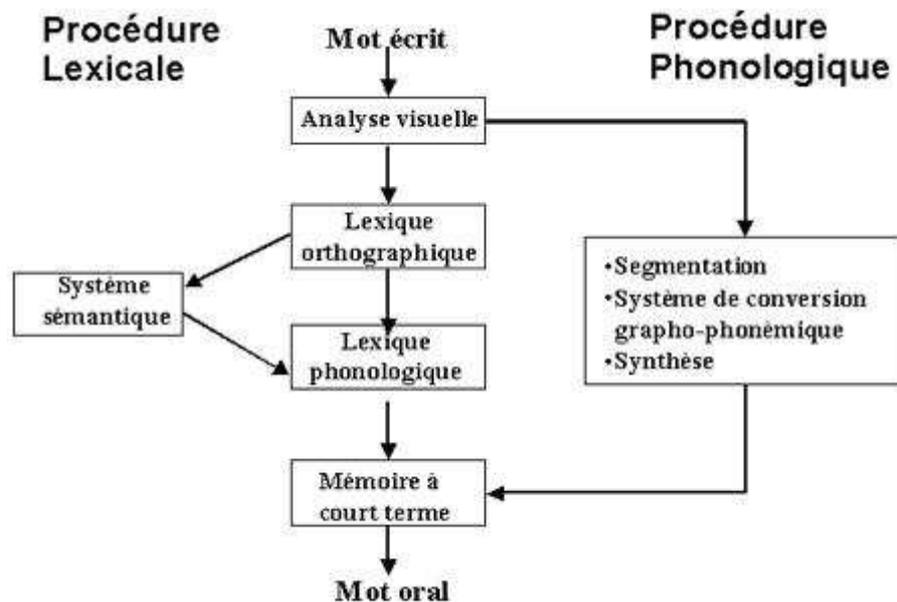


Figure 5: Les deux voies de lecture. D'après le modèle de la double voie de Coltheart (1978).

La conscience phonologique correspond à la capacité à identifier et manipuler les unités sonores (syllabes, phonèmes) constituant les mots d'une langue. Elle émerge naturellement vers l'âge de cinq ou six ans. L'utilisation de la correspondance entre lettres et sons dans l'identification des mots écrits suppose l'existence d'une capacité à identifier les unités phonologiques dans la parole et à les mettre en rapport avec les unités visuelles perçues. Un bon niveau de conscience phonologique est donc nécessaire pour construire les procédures de conversion de la voie de lecture par assemblage. D'ailleurs, le niveau de conscience phonologique de l'enfant pré-lecteur prédit sa réussite ultérieure en lecture (Content *et al.*, 1982). À l'inverse, un trouble de la conscience phonologique a été systématiquement décrit dans le contexte des dyslexies phonologiques.

La dyslexie phonologique résulte du dysfonctionnement de la voie de lecture par assemblage, se caractérise par une atteinte sélective de la lecture des pseudomots. Les patients ont des performances anormalement faibles et des temps de lecture exagérément longs pour les mots nouveaux. Par ailleurs ils sont tout à fait capables de lire les mots qui leur sont familiers, que ceux-ci soient réguliers ou irréguliers. Le patient dyslexique phonologique présente une dysorthographe associée. Il commet plus d'erreurs en dictée de pseudomots qu'en dictée de mots réguliers ou irréguliers. Les productions écrites sont la plupart du temps non phonologiquement plausibles, c'est à dire que le mot écrit ne se prononce pas comme le mot dicté (par exemple le pseudomot : *agante* devient *agnate*). Ces patients ont fréquemment

des troubles associés du langage oral, des capacités limitées de mémoire verbale à court terme (par exemple pour retenir un numéro de téléphone) et des difficultés pour les épreuves évaluant la conscience phonémique. Le degré de sévérité du trouble peut varier assez considérablement d'un individu à l'autre et il est rare de trouver une dyslexie phonologique pure. C'est le plus souvent la présence d'un trouble massif de la conscience phonologique qui est à l'origine de la dyslexie phonologique. Les travaux de recherche en cognition s'accordent pour dire que les dyslexiques phonologiques souffrent d'un déficit de représentation mentale et de traitement cognitif des sons de la parole, ce qui les empêche d'apprendre les correspondances graphèmes/phonèmes correctement et de les manipuler en temps réel au cours de la lecture (Ramus, 2002 ; Snowling, 2000, Sprenger-Charolles & Colé, 2003).

Un autre type de dyslexie résulte d'un dysfonctionnement de la procédure de lecture par adressage. Il s'agit de la dyslexie de surface, qui, lorsqu'elle est pure, se définit par une atteinte sélective de la lecture des mots irréguliers. La lecture des mots réguliers et des pseudomots est plutôt préservée. Les patients font des erreurs de lecture qui prouvent que le traitement est essentiellement effectué par assemblage. Les productions écrites sont la plupart du temps phonologiquement plausibles, c'est à dire que le mot est écrit comme il se prononce (par exemple : *monsieur* devient *meussieu*). Les formes "pures" de dyslexies de surface sont relativement rares en clinique. La plupart du temps, la dyslexie de surface n'est pas due à une absence de conscience phonologique.

Il existe également des troubles mixtes pour lesquels les performances de lecture sont globalement très faibles quelle que soit la nature des items proposés (mots réguliers, irréguliers et pseudo-mots). Ces patients présentent les troubles associés décrits dans les deux formes de dyslexies, ont des difficultés de conscience phonémique et des troubles du traitement visuo-attentionnel. En général, les mots concrets sont mieux lus que les mots abstraits. Les dyslexies mixtes sont sévères et se rencontrent le plus souvent lorsque le retard en lecture est important.

E.2. Les principales théories de la dyslexie développementale

De multiples théories ont été énoncées pour tenter d'expliquer les causes biologiques et cognitives du retard d'apprentissage de la lecture chez les enfants dyslexiques. Les trois théories majeures proposées sont la théorie phonologique, la théorie magnocellulaire et la théorie cérébelleuse (Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White & Frith, 2003). Nous

allons décrire brièvement ces trois théories ainsi qu'une théorie auditive et une théorie visuelle.

E.2.1. La théorie phonologique

Cette théorie suppose que le déficit cognitif soit spécifiquement phonologique. Les dyslexiques auraient un trouble spécifique de la représentation, du stockage et de la récupération des sons de parole (Ramus, 2003 ; Snowling, 2000). Si les sons de parole sont sous-représentés, l'apprentissage de la correspondance graphèmes/phonèmes (fondement de la lecture dans les systèmes alphabétiques) ne peut se faire correctement (Snowling, 1981). Les arguments en faveur de cette théorie reposent essentiellement sur le fait que les individus dyslexiques échouent particulièrement dans des tâches de conscience phonologique (segmentation et manipulation de sons de parole). Les travaux en imagerie fonctionnelle de Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz & Geschwind (1985) ont montré qu'un dysfonctionnement périsylvien gauche serait à l'origine du déficit phonologique.

E.2.2. La théorie du traitement auditif rapide

Cette théorie postule que le déficit phonologique n'est pas à l'origine des troubles des dyslexiques, mais une conséquence d'un déficit auditif. Le déficit résiderait plutôt dans la perception de sons brefs et à changements rapides (Tallal, 1980). En effet, les dyslexiques présentent des performances très basses dans bon nombre de tâches auditives comme la discrimination de fréquences, le séquençage temporel (Tallal, 1980) ou la perception catégorielle de certains contrastes (Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré & Démonnet, 2001). Selon cette théorie, c'est le déficit auditif qui provoque le déficit phonologique à l'origine des troubles de lecture. La théorie magnocellulaire spécifie une origine biologique à ce déficit du traitement auditif rapide.

E.2.3. La théorie du traitement visuel

La théorie visuelle considère qu'un trouble de la vision peut donner lieu à une difficulté à traiter les lettres et les mots sur une page de texte (Livingstone, Rosen, Drislane & Galaburda, 1991). Sur le plan biologique, l'étiologie de ce dysfonctionnement visuel est basée sur le fait que le système visuel se divise en deux voies principales : la voie magnocellulaire et la voie parvocellulaire. Selon la théorie visuelle de la dyslexie, la voie magnocellulaire

serait sélectivement perturbée chez certains dyslexiques, provoquant une déficience visuelle et, via le cortex pariétal postérieur, un contrôle binoculaire et une attention visuelle spatiale anormaux. Le déficit magnocellulaire s'accompagnerait d'une augmentation des mouvements oculaires involontaires ce qui aurait pour conséquence d'invertir les lettres ou d'avoir l'impression de lire des lettres en mouvement (Dworczak, Bedoin & Krifi, à paraître). Une évidence de cette théorie provient des études anatomiques qui ont montré des anomalies au niveau de la couche magnocellulaire du noyau géniculé latéral (Livingstone, *et al.*, 1991).

E.2.4. La théorie magnocellulaire

Les partisans des théories auditive et visuelle conviennent que ces déficits chez les dyslexiques seraient dus à un dysfonctionnement magnocellulaire général (Stein & Walsh, 1997). En effet, le dysfonctionnement magnocellulaire ne serait pas restreint aux voies visuelles mais généralisé à plusieurs modalités sensorielles (visuelle, auditive et tactile).

E.2.5. La théorie cérébelleuse

Un autre point de vue soutenu par Nicolson, Fawcett, Berry, Jenkins, Dean & Brooks (1999), propose que le cervelet des dyslexiques serait légèrement anormal ce qui provoquerait les dysfonctionnements cognitifs observés. En effet, le cervelet intervient dans le contrôle moteur et ainsi dans l'articulation. Si l'articulation est perturbée ou mal acquise, cela peut conduire à la mise en place de représentations phonologiques défailtantes. D'autre part, le cervelet joue également un rôle dans l'automatisation des processus. De faibles capacités à automatiser pourraient affecter l'apprentissage des correspondances graphèmes/phonèmes. À l'appui de la théorie cérébelleuse, plusieurs travaux ont montré des performances réduites chez les dyslexiques dans bon nombre de tâches motrices (Fawcett, Nicolson & Dean, 1996), et de tâches d'automatisation de l'équilibre (Nicolson & Fawcett, 1990). Des études d'imagerie cérébrale relatent des différences anatomiques, métaboliques et d'activation au niveau du cervelet chez des dyslexiques adultes (Leonard, Eckert, Lombardino, Oakland, Kranzler, Mohr, *et al.*, 2001 ; Nicolson, *et al.* 1999).

Pour résumer, la théorie phonologique ne suffit pas à elle seule à expliquer les dysfonctionnements sensoriels et moteurs que rencontrent beaucoup de dyslexiques. Cependant, à l'inverse, la théorie magnocellulaire, ne peut expliquer l'absence de troubles sensori-moteurs chez une large proportion de dyslexiques. La théorie cérébelleuse quant à elle, présente les deux versants du problème. Les travaux de Ramus, *et al.* (2003), se sont

proposés d'évaluer les trois théories principales (phonologique, cérébelleuse et magnocellulaire) à l'aide d'une étude proposant une batterie de tests complète chez 16 adultes dyslexiques. Les résultats tendent en faveur de la théorie phonologique de la dyslexie développementale. Même si d'autres causes peuvent être à l'origine des troubles dyslexiques, un déficit phonologique est suffisant. Les troubles auditifs ou visuels parfois associés constituent des facteurs aggravant des troubles phonologiques.

E.3. La dyslexie chez l'adulte

Il apparaît clairement que les difficultés de lecture/écriture des enfants dyslexiques persistent à l'âge adulte. Plusieurs études ont testé les performances orales et écrites d'adultes ayant été diagnostiqués dyslexiques développementaux dans leur enfance (Bruck, 1990 ; Felton, Naylor & Wood, 1990). Les adultes dyslexiques sont plus lents et moins performants que les adultes contrôles pour la lecture de mots isolés et significativement plus gênés pour épeler les mots. Une étude de Chermak, Vonhof & Bendel (1989) a montré que des adultes présentant des troubles du langage avaient des scores d'identification de mots plus faibles dans le bruit que les adultes contrôles. Les adultes dyslexiques ont également plus de mal pour lire des pseudomots et réaliser des tests de conscience phonologique, ce qui montre que le déficit de traitement phonologique dont souffrent les enfants dyslexiques, persiste à l'âge adulte.

Devant la persistance des difficultés de langage, la plupart des adultes dyslexiques trouvent des stratégies compensatoires pour atténuer leurs difficultés de lecture/écriture (moyens mnémotechniques, comptage de syllabes). Il n'en demeure pas moins que le déficit est bel et bien présent et que de nettes différences de performances peuvent être mises en évidence à travers certaines tâches cognitives comme celles que nous allons présenter.

E.4. La compréhension de la parole dégradée chez les dyslexiques

Si la plupart des travaux de recherche sur la dyslexie sont consacrés aux enfants, il existe également des études s'intéressant aux adultes dyslexiques. Ces études sont nombreuses et concernent un champ d'investigation relativement large, aussi, nous ne présenterons ici que quelques études en lien avec notre propre champ de recherche, c'est-à-dire la compréhension de la parole dégradée, de la parole dans la parole et l'accès au lexique.

E.4.1. Séparation de flux sonores

Helenius, Uutela & Hari (1999) se sont penchés sur le problème de la ségrégation de flux auditifs chez les adultes dyslexiques. La séparation de flux auditifs est une capacité requise lors de la perception de la parole dans le bruit ou dans la parole car il faut séparer la voix cible des autres flux concurrents. Or, chez les dyslexiques, il semblerait que les troubles du traitement phonologique soient associés à un déficit dans la perception de changements auditifs rapides. En effet, McAnnally & Stein (1996) ont montré un déficit de discrimination de sons purs chez des adultes dyslexiques. D'autre part, Hari & Kiesilä (1996) ont présenté à des adultes dyslexiques et à un groupe de témoins appariés des séquences de clics dans les deux oreilles. Lorsque le laps de temps séparant deux clics est inférieur à 90 ms, les participants contrôles (normo-lecteurs) prétendent entendre une série de clics à droite suivie d'une série de clics à gauche. Lorsque l'intervalle entre stimuli est plus long, cela crée l'illusion perceptive d'un seul flux acoustique passant de gauche à droite (entre 90 et 120 ms). Chez les dyslexiques adultes, cette illusion persiste pour des intervalles plus longs entre deux clics que chez les contrôles (jusqu'à 500 ms). Les auteurs concluent à un déficit du traitement de séquences sonores rapides chez les dyslexiques adultes. Ce déficit physiopathologique persisterait avec l'âge. À partir de cette étude, Helenius, *et al.* (1999) ont comparé les performances d'adultes dyslexiques et de contrôles dans une tâche de ségrégation de flux auditifs en utilisant des sons de hautes et basses fréquences. Ils montrent que les dyslexiques perçoivent les séquences de sons comme deux flux séparés pour des rythmes de présentation plus lents que les participants contrôles. Ces résultats permettent de supposer que les dyslexiques sont plus gênés que des normo-lecteurs pour séparer des flux sonores présentant des changements temporels rapides, comme c'est le cas pour la parole.

E.4.2. Déficit de perception de la parole

De récentes études mettent en avant l'idée que les dyslexiques présenteraient des troubles de la perception de la parole (McBride-Chang, 1995, pour une revue). Les travaux de recherche sur la dyslexie ont déjà utilisé des paradigmes expérimentaux tels que la perception de parole dans un bruit de fond. Les travaux de Brady, Shankweiler & Mann (1983) ont montré une différence significative dans une tâche de répétition de mots présentés dans le bruit entre des enfants de neuf ans faibles lecteurs et leurs contrôles. Aucune différence n'était observée entre les deux groupes dans le silence. De même, les travaux de Chermak, *et al.* (1989), ont montré chez des adultes présentant un trouble global d'apprentissage, des scores

d'identification de mots dans le bruit plus faibles que ceux du groupe sans trouble d'apprentissage. Des résultats identiques ont été obtenus par Watson & Miller (1993) avec la présentation de syllabes CV dans le bruit. D'autres études, utilisant des phrases dans le bruit constatent que des enfants (souffrant de troubles du langage ou de l'audition) présentent des difficultés à percevoir correctement les phrases dans le bruit (Stollman, Kapteyn & Sleswijk ; 1994 ; Bradlow, Kraus & Hayes, 2003). De plus, des études neurophysiologiques ont montré chez des dyslexiques des difficultés pour encoder des stimuli de parole présentés dans le bruit (Wible, Nicol & Kraus, 2002). Un déficit de perception de la parole a même été observé chez des enfants pré-lecteurs présentant un risque génétique pour la dyslexie (Boets, Ghesquière, Wieringen & Wouters, 2007).

Une étude électrophysiologique de Schulte-Körne, Deimel, Bartling & Renschmidt (2001) utilisant la *Mismatch Negativity* (MMN) a comparé l'amplitude des ondes MMN produites par de la parole chez un groupe d'adultes dyslexiques et un groupe contrôle. Les auteurs observent une MMN d'amplitude réduite pour le groupe dyslexique lors d'une tâche de perception passive de parole. Cependant, aucune différence n'est observée entre les deux groupes lorsqu'il s'agit de perception de tonalités. L'atténuation de la MMN dans la condition de parole pourrait signifier que les dyslexiques présentent un déficit perceptif spécifiquement lié à la perception de la parole. Ce déficit pré-attentionnel développé pendant l'enfance est un dysfonctionnement qui persiste à l'âge adulte. Ces données s'ajoutent à celles de Kujala, Myllyviita, Trevaniemi, Alho, Kallio & Näätänen (2000) qui montrent un déficit des traitements auditifs chez des dyslexiques adultes, notamment des difficultés à discriminer des sons déviants (reflétées par l'absence de MMN). Ce type d'études en potentiels évoqués ouvre de nouvelles possibilités de dépistage précoce de la dyslexie.

L'étude de Ziegler, Pech-Georgel, George, Alario & Lorenzi (2005) a montré chez les enfants SLI (*Specific Language Impairment*) qu'un déficit dans la perception de la parole peut prédire des troubles de l'apprentissage du langage. Le terme SLI regroupe les enfants qui présentent des difficultés de compréhension et de production du langage parlé malgré une intelligence normale, une audition normale, un environnement normal d'apprentissage du langage et en l'absence de trouble neurologique évident. Le but de l'étude était de déterminer la nature acoustique/phonétique du potentiel déficit de perception de la parole chez les enfants SLI. Les résultats ont montré des différences de perception de la parole peu significatives entre enfants SLI et enfants contrôles dans le silence, mais significatives dans le bruit. Notamment le trait de voisement était assez bien conservé dans le bruit chez les enfants contrôles alors qu'il était très mal préservé chez les enfants SLI. Ce déficit de perception de la

parole (concernant le voisement) observé chez les SLI pourrait interférer directement avec le développement des représentations phonologiques. L'autre constat important de cette étude est le fait que dans un bruit fluctuant, les enfants SLI présentent de moins bonnes performances que dans le silence cependant, leurs performances sont constantes que le bruit soit modulé à haute fréquence (128 Hz modulations rapides) ou à basse fréquence (4 Hz modulations lentes). Ce résultat permet de penser que le déficit des enfants SLI n'est probablement pas dû à un problème de résolution temporelle ou spectrale. Il semblerait donc que les troubles des SLI ne proviennent pas d'un déficit de bas niveau mais plutôt d'un déficit central.

E.4.3. Les représentations lexicales dans le cerveau dyslexique

Plusieurs études prétendent que le déficit phonologique des dyslexiques influence l'organisation de leur système lexical. Les représentations lexicales des dyslexiques ne seraient pas aussi spécifiées que celles des normo-lecteurs. Metsala & Walley (1998) ont proposé un modèle de reconnaissance de la parole adapté aux déficits phonologiques. Il s'agit du « Lexical Restructuring Model » (LRM). Le LRM est un modèle développemental qui suppose un lexique incomplet. Ce modèle rend compte des performances d'enfants SLI dans des tâches de décision lexicale lorsque mots et pseudomots ne diffèrent que d'un seul phonème (par exemple : *procodile/crocodile*). Les performances des enfants SLI sont inférieures à celles des enfants contrôles (Edwards & Lahey, 1996). Ils sont plus lents pour effectuer les décisions lexicales ce qui montre que leurs représentations lexicales ne sont pas stables. En français, Maillart, Schelstraete & Hupet (2004) ont testé les performances d'enfants SLI dans une tâche de décision lexicale auditive. Les stimuli variaient d'un phonème par addition, substitution ou délétion. Les performances de décisions lexicales sont corrélées avec le niveau lexical des enfants SLI et contrôles testés. Ces résultats confirment le modèle LRM qui suppose que les représentations phonologiques s'améliorent avec l'accroissement du lexique. Ces résultats ont été répliqués chez les adultes par Brouwer (2006) qui montre que les dyslexiques adultes ont des troubles très fins au niveau des représentations lexicales comparés à des adultes normo-lecteurs. Les adultes dyslexiques présenteraient, comme les enfants dyslexiques, des représentations lexicales moins spécifiées que des normo-lecteurs. Une étude particulièrement intéressante de Reed (1989) chez des enfants anglais a montré que les enfants présentant des troubles de la lecture utilisent leurs connaissances sur les mots de leur langue, pour réaliser une tâche d'identification de

phonèmes, dans une plus large proportion que les enfants sans troubles de lecture. Ce résultat suggère que les enfants possédant un trouble de la lecture pourraient développer des stratégies de traitement du langage parlé pour compenser leur déficit perceptif.

E.4.4. Traitement auditif et dyslexie

L'étude de Veuillet, Mangan, Ecalle, Thai-Van & Collet (2007) s'est intéressée à la perception du voisement chez des enfants dyslexiques ainsi qu'à la fonctionnalité de leur système auditif périphérique. Les auteurs ont observé que les enfants souffrant de dyslexie avaient une sensibilité au voisement altérée, parfois associée à une anomalie de latéralisation du système efférent olivo-cochléaire médian. De plus, les enfants présentant les troubles de la lecture les plus sévères étaient également les plus gênés pour effectuer la tâche de perception catégorielle. Ces travaux confirment ceux de Giraud, Demonet, Habib, Marquis, Chauvel & Liégeois-Chauvel (2005) qui avaient montré que des adultes dyslexiques présentaient un déficit de discrimination auditive du voisement. De plus, l'étude du système auditif efférent montrant un avantage du côté gauche chez les enfants dyslexiques est particulièrement intéressant pour notre étude. Le système efférent olivo-cochléaire médian est issu des aires corticales ce qui constitue un argument en faveur d'une latéralisation cérébrale anormale chez les dyslexiques. Nous reviendrons plus largement sur ce point lors de la discussion de nos résultats.

Toutes ces études tendent à montrer des différences de performances dans des tâches langagières chez les adultes dyslexiques. Cependant, peu d'études s'intéressent aux effets psycholinguistiques chez les dyslexiques et à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée de près aux mécanismes de reconstruction cognitive de la parole dégradée chez les adultes présentant des troubles dyslexiques. Nos travaux de recherche s'intéressent à cette population car l'observation des mécanismes de reconstruction des dyslexiques pourrait nous aider à comprendre comment fonctionne la reconstruction chez les adultes sans trouble du langage. Les différences de performances pourraient nous permettre d'identifier quels processus cognitifs sont défaillants chez les dyslexiques et ne permettent pas de réaliser la tâche, alors qu'ils permettent d'aboutir à la compréhension chez les normo-lecteurs. De façon plus générale, l'étude des mécanismes de compréhension de la parole dégradée chez les dyslexiques peut nous conduire à mieux caractériser leurs troubles en évaluant leurs performances dans une tâche cognitive quotidienne essentielle à toute activité sociale.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE II.

RECONSTRUCTION DE LA PAROLE INVERSÉE

A. INTRODUCTION À LA PARTIE EXPÉRIMENTALE. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

A.1. Introduction à la partie expérimentale

A.1.1. Une approche pluridisciplinaire

Le but de ces travaux de thèse était d'explorer le phénomène de reconstruction de la parole dégradée à travers les processus cognitifs ascendants et descendants impliqués. Pour ce faire, nous avons utilisé plusieurs approches : la psycholinguistique expérimentale, et l'exploration physiologique du système auditif, cela chez des populations saines et des patients présentant des troubles du langage.

La psycholinguistique étudie les processus cognitifs mis en œuvre pour le traitement du langage. Elle s'intéresse notamment à l'accès au lexique mental. Les mesures d'intelligibilité des signaux de parole que nous dégradons permettent d'étudier ces influences ascendantes et descendantes. La reconstruction des pseudomots (items respectant les contraintes phonotactiques du français, qui ressemblent à des mots mais qui n'ont pas de signification) nous permet d'étudier l'implication des informations ascendantes. Effectivement, étant donné que les aides lexicales pouvant intervenir sont réduites, le traitement des pseudomots repose principalement sur l'exploitation des informations sensorielles auditives. Lors de l'écoute d'un pseudomot, les recherches lexicales n'aboutissent à aucune entrée connue. Les connaissances descendantes se limitent aux phonèmes reconnus, éventuellement aux syllabes. La reconstruction des mots nous permet d'observer l'intervention des connaissances lexicales qui viennent compléter les informations d'origine sensorielle. Enfin, en comparant les performances des auditeurs pour les mots et les pseudomots, il est possible d'inférer l'influence des connaissances lexicales sur la compréhension du message parlé.

Le paradigme expérimental que nous utilisons pour les expériences psycholinguistiques décrites dans cette thèse consiste à dégrader artificiellement la parole humaine pour « forcer » le système cognitif à reconstruire le message verbal et nous permettre d'observer cette reconstruction.

Les tests audiométriques nous donnent accès à des caractéristiques individuelles du système auditif qui entrent en jeu dans la perception de la parole ; notamment, le fonctionnement du système auditif efférent est très différent d'un individu normo-entendant à l'autre (VeUILLET, Duclaux & Collet, 1991) et reflèterait la latéralisation des cortex auditifs (Khalfa, *et al.*, 2001). Les données audiométriques apportent des informations concernant les processus ascendants et un éclairage intéressant sur les variabilités interindividuelles de l'audition. Nous verrons qu'il est judicieux de s'attarder sur la variabilité interindividuelle car la compréhension de la parole dégradée est sujette, elle aussi, à des différences de performances très importantes. Il sera intéressant de réfléchir sur cette variabilité et particulièrement judicieux de mettre en correspondance la variabilité interindividuelle auditive et celle liée aux capacités de compréhension de la parole dégradée.

Enfin, l'étude d'une pathologie du langage permet d'observer le phénomène de reconstruction au sein d'un système cognitif en difficulté pour traiter le langage. Ces observations pourraient nous permettre de mieux appréhender les mécanismes de reconstruction chez le sujet sain en évaluant la différence de performances due au trouble dyslexique.

A.1.2. Organisation de la partie expérimentale

La partie expérimentale de cette thèse s'articule autour de deux chapitres principaux correspondant aux deux types de dégradation de la parole que nous avons choisi d'étudier :

Chapitre II : La parole inversée

Chapitre III : La parole dans la parole

À l'intérieur de chacun des chapitres, nous verrons plusieurs expériences que nous avons élaborées afin de répondre à notre question scientifique. Chaque chapitre, traitant d'un type de dégradation, se compose d'études comportementales et de tests audiométriques. Ces deux volets seront explorés tout d'abord chez l'adulte sain puis chez l'adulte dyslexique.

Les études comportementales correspondent à des tests d'intelligibilité pilotés par un ordinateur. L'ordinateur diffuse les stimuli selon un programme intégrant tous les paramètres expérimentaux définis au préalable, et enregistre les réponses transcrites par les participants.

Les tests audiométriques ont été effectués au pavillon d'audiologie de l'Hôpital Édouard Herriot de Lyon. Ils nécessitent un matériel d'audiologie spécialisé et le savoir-faire d'un ingénieur formé à ces tests. La plupart des tests réalisés sont ceux d'un bilan auditif classique et nous ont permis, en premier lieu, de nous assurer que tous nos participants présentaient une

audition normale et que leurs performances de reconstruction n'étaient pas biaisées par un éventuel trouble auditif.

A.2. Problématique

La problématique de cette étude est multiple, cependant nous pouvons essayer de la résumer sous la forme des interrogations suivantes : quelles sont les influences ascendantes et descendantes intervenant dans la compréhension de la parole ? Quels rôles respectifs jouent le système auditif et les connaissances lexicales dans le mécanisme cognitif de reconstruction ? Quelles informations supplémentaires nous apportent la combinaison des tests comportementaux et des mesures auditives ? Quelles sont les différences de performances entre participants sains et participants dyslexiques et que nous apprennent-elles ?

A.3. Hypothèses

Les hypothèses opérationnelles pouvant être formulées sont multiples cependant, nous pouvons ici énoncer les principales hypothèses qui ont guidé notre démarche expérimentale :

- Les mots sont mieux reconstruits que les pseudomots car ils bénéficient de l'aide lexicale quel que soit le type de dégradation de la parole.
- La restitution des pseudomots est plus complexe donc elle devrait permettre d'observer une variabilité interindividuelle plus large que pour les mots.
- Les variations du fonctionnement du système auditif sont liées aux performances de reconstruction de la parole.
- Les dyslexiques sont moins performants pour reconstruire le signal de parole que les normo-lecteurs car leur déficit langagier les pénalise.

Ce travail de recherche constitue une approche novatrice, solide et complète du phénomène de la reconstruction cognitive de la parole en abordant cette problématique d'un point de vue pluridisciplinaire à la fois psychologique, linguistique et neurologique. L'ensemble des résultats sera discuté à la lumière d'études antérieures provenant des trois disciplines. Les conclusions obtenues proviendront de la confrontation entre ces diverses disciplines et n'auraient pas pu être envisagées sans cette vision interdisciplinaire.

B. INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE INVERSÉE CHEZ LE SUJET SAIN NORMO-ENTENDANT

B.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons présenter deux expériences comportementales portant sur les influences lexicales dans la restauration de la parole inversée. Comme nous l'avons vu dans notre revue de la littérature, l'inversion de la parole est une détérioration drastique du message verbal. Il ne s'agit pas d'une dégradation artificielle aboutissant à un percept proche d'une situation naturelle, cependant la parole inversée possède l'avantage de conserver les propriétés spectrotemporelles du signal tout en dégradant la coarticulation des phonèmes. La Figure 6 représente le signal et le spectrogramme correspondant à une phrase à l'endroit et le signal et le spectrogramme correspondant de la même phrase inversée temporellement sur des fenêtres de 120 ms (Meunier, *et al.*, 2002).

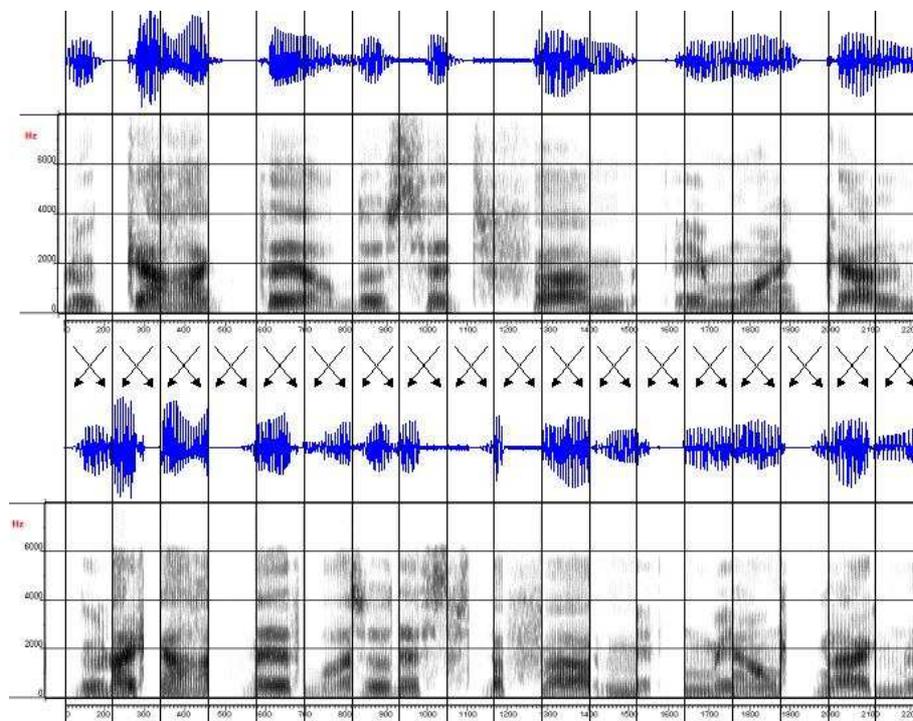


Figure 6 : Spectrogramme d'une phrase à l'endroit (en haut) et à l'envers (en bas)

Les études de Greenberg & Araiï (2001) en anglais et de Meunier, *et al.* (2002) en français ont montré qu'il était possible de comprendre de la parole inversée sur des fenêtres de différentes longueurs. Cependant, ces études ne prennent pas en considération le contenu linguistique des fenêtres d'inversion. Or il semblerait qu'en français, le contenu syllabique des inversions soit non négligeable pour la compréhension (voir Partie théorique). Nous avons donc, dans nos expériences, effectué les inversions de signal en nous basant sur la structure syllabique des items. Nous avons réutilisé la tâche cognitive proposée par Meunier, *et al.* (2002), à savoir transcrire à l'aide d'un clavier d'ordinateur, ce qui a été perçu et/ou compris.

Nous avons testé les capacités de reconstruction de locuteurs français, normo-entendants, normo-lecteurs. L'expérience 1a porte sur la reconstruction de mots et l'expérience 1b sur la reconstruction de pseudomots. Les participants devaient transcrire des items (mots et pseudomots) bisyllabiques, isolés (sans contexte lexical), contenant des portions inversées de tailles variables. La comparaison des résultats des expériences 1a et 1b devrait nous permettre d'évaluer l'impact des connaissances lexicales pour la reconstruction des mots et la contribution des informations auditives pour la reconstruction des pseudomots.

B.2. Expérience 1a : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de mots chez l'adulte sain normo-entendant

B.2.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 1a avait pour but de mesurer l'intelligibilité de mots isolés inversés localement. 120 mots ont été présentés auditivement aux participants qui devaient transcrire ce qu'ils avaient entendu par l'intermédiaire du clavier. Cinq conditions de présentation ont été construites en inversant le signal sur des segments de différentes longueurs.

B.2.2. Méthode

B.2.2.1. Stimuli

Nous avons sélectionné 120 noms communs français (cf. annexe 1) dans la base de données *Lexique* (New, Pallier, Ferrand & Matos, 2001). Tous les mots étaient bisyllabiques et courants dans la langue française. Ils ont été sélectionnés selon deux critères : leur fréquence d'occurrence dans la langue française (que nous nommerons le facteur F) et leur nombre de voisins phonologiques (que nous nommerons le facteur V). Par exemple le mot

ballon est un mot très fréquent qui possède beaucoup de voisins phonologiques (*vallon, baron, bâton, etc.*). La fréquence d'occurrence des mots allait de 0.29 à 5.5 occurrences par million de mots (Moyenne (M) = 2.38, Déviation Standard (DS) = 1.56) pour les mots de faible fréquence, et de 6.16 à 387.03 occurrences par million de mots (M = 45.67, DS = 72.07) pour les mots de forte fréquence. Concernant les voisins phonologiques, le groupe de mots possédant peu de voisins phonologiques avait entre 0 et 6 voisins (M = 3.75, DS = 1.94) et le groupe de mots possédant de nombreux voisins phonologiques avait entre 13 et 34 voisins (M = 18.55, DS = 5.06). Nous avons croisé les deux facteurs F et V pour obtenir quatre groupes Fréquence/Voisins de 30 mots chacun (Tableau 1).

Tableau 1: Tableau récapitulatif des quatre groupes de mots sélectionnés. Pour chaque groupe, le tableau donne un exemple de mot suivi de sa fréquence et entre parenthèses du nombre de voisins phonologiques qu'il possède.

	forte fréquence	faible fréquence
nombreux voisins	Ballon 21 (20)	Boulon 2,5 (20)
peu de voisins	Bijou 20,3 (2)	Grelot 2,8 (0)

Les mots ont été enregistrés dans un caisson insonorisé (22 KH, mono, 16 bits) par une locutrice de langue maternelle française âgée de 24 ans, à l'aide d'un programme d'enregistrement rédigé en langage Tcl /Tk élaboré au Laboratoire Dynamique du Langage. Chaque mot enregistré constituait un fichier son indépendant (Windows PCM file).

Nous avons ensuite « étiqueté » les mots en plaçant un marquage à chaque début et chaque fin de mot ainsi qu'à la fin de chaque première syllabe grâce au logiciel d'étiquetage StkCV développé au Laboratoire Dynamique Du Langage par François Pellegrino. De cette façon chaque mot bisyllabique de forme $\sigma_1\sigma_2$ (où σ représente une syllabe) était étiqueté de la façon suivante : un marquage au début de σ_1 , un marquage à la fin de σ_1 (équivalent au début de σ_2) et un marquage à la fin de σ_2 . Le positionnement des étiquettes était subjectif mais réalisé par une locutrice de langue maternelle française. L'étiquetage effectué, se pliait aux critères de segmentation élaborés en commun par les laboratoires ICP⁵ de Grenoble, CERFIA⁶ de Toulouse et l'Institut de Phonétique d'Aix-en-Provence. Ensuite, le milieu temporel de chaque syllabe a été calculé automatiquement par le programme effectuant les

⁵ Institut de la Communication Parlée

⁶ Laboratoire de Cybernétique des Entreprises, Reconnaissance des Formes, Intelligence Artificielle

inversions (Matlab). Chaque demi-syllabe a été déterminée comme étant la moitié (en termes de durée) de chaque syllabe. Ainsi, chaque mot était séparé en quatre portions d'une demi-syllabe. Les inversions sont un retournement temporel appliqué aux portions de signal acoustique sélectionnées par pas d'une demi-syllabe. Cette procédure ne consiste pas à intervertir les phonèmes entre eux mais aboutit à une profonde modification de leur déroulement temporel puisqu'ils sont joués à l'envers. Pour bien comprendre, voici ce que pourrait donner l'analogie littérale de l'inversion temporelle d'une syllabe du mot /kadi/ (caddie) : la première syllabe est la syllabe /ka/. L'inversion produirait le stimulus : /sk̩di/ et non pas /akdi/.

Grâce aux repères que constituent les marquages, cinq types d'inversions de différentes longueurs ont été appliqués aux items à l'aide du logiciel informatique Matlab. Nous avons donc créé les cinq conditions d'inversion suivantes :

- Condition I_0 : aucune inversion (condition contrôle),
- Condition $I_{0,5}$: inversion de la première demi-syllabe,
- Condition I_1 : inversion de la première syllabe,
- Condition $I_{1,5}$: inversion de la première syllabe et demie,
- Condition I_2 : inversion de la totalité de l'item.

Le programme chargé d'effectuer les inversions prévoyait un lissage aux bornes de celles-ci à l'aide d'un filtre passe-bas dans une fenêtre d'une milliseconde, ceci afin d'éviter la formation de « clics » au niveau des sites de jonction.

Les cinq types d'inversions ont été appliqués à chacun des 120 mots. Ainsi chaque mot a été décliné en cinq formes possibles. Nous avons obtenu au total 600 stimuli que nous avons répartis en cinq listes de 120 mots composées chacune d'un nombre équivalent de stimuli de chaque catégorie d'inversion (24 exactement). Nous avons veillé également à ce qu'à l'intérieur d'une même liste, chaque catégorie d'inversion contienne le même nombre de mots issu de chaque groupe Fréquence/Voisins (6 exactement).

B.2.2.2. Procédure expérimentale. Aspects techniques

Les enregistrements comportementaux ont eu lieu dans la salle d'expérimentations de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon, qui permet de tester 10 participants simultanément. Les participants étaient placés dans des boxes séparés par des cloisons. Ils

faisaient face à un écran d'ordinateur de type PC et portaient un casque audio⁷ qui diffusait les stimuli un à un en mode binaural à un volume sonore d'environ 80 dB. La consigne (cf. annexe 2) leur était donnée oralement puis réapparaissait sur l'écran en début d'expérience. Chaque participant était confronté à l'une des cinq listes de mots à l'intérieur desquelles l'ordre de présentation des 120 stimuli était aléatoire. L'ordre d'apparition des items était tiré au hasard par le programme (en langage Tcl/Tk) qui dirigeait l'expérience et différent pour chaque participant. Chaque item était présenté dans une seule condition pour un même participant. Nous avons réparti les cinq versions possibles des mots sur les cinq listes de façon à ce que tous les items soient présentés dans toutes les conditions d'inversion, mais que chaque participant n'entende un même mot qu'une seule fois.

B.2.2.3. Procédure expérimentale. Déroulement de l'expérience

Les participants devaient transcrire au clavier ce qu'ils avaient entendu. Avant la phase de test, l'expérience débutait par un entraînement de cinq essais qui n'ont pas été pris en compte parmi les résultats. Le début du test était auto-initié par les auditeurs dès qu'ils avaient terminé la lecture de la consigne. Pour chaque essai, un bip sonore précédait l'arrivée du stimulus. Les auditeurs ne pouvaient écouter chaque stimulus qu'une seule et unique fois. Ensuite, ils devaient retranscrire au clavier ce qu'ils avaient entendu. Ils pouvaient faire une pause à tout instant s'ils le souhaitaient et n'étaient pas limités en temps pour donner leurs réponses.

B.2.2.4. Participants

Cinquante participants (22 femmes ; 28 hommes), étudiants en premier cycle d'études supérieures à Lyon et de langue maternelle française ont passé l'expérience 1a. Aucun n'avait été renseigné sur le but de l'étude. Leur âge variait entre 18 et 25 ans, tous avaient une vue normale ou corrigée et aucun ne souffrait de trouble auditif ou de trouble du langage. Tous les participants étaient volontaires et ont été dédommagés à hauteur de 7,50 € pour leur participation.

B.2.2.5. Plan expérimental

Le plan expérimental était le suivant: $A_{50} * M_6 < F_2 * V_2 * I_5 >$.

Avec :

A : Les Auditeurs, au nombre de 50.

⁷ Beyerdynamic DT 48, 200Ω

M : Les Mots, présentés au nombre de 6 par combinaison de conditions.

F : La variable Fréquence, à deux niveaux : forte et faible.

V : La variable Voisins phonologiques, à deux niveaux : fort et faible.

I : La variable Inversion des items, à cinq niveaux : I₀, I_{0.5}, I₁, I_{1.5} et I₂.

Les variables indépendantes (VI) sont toutes les trois des variables intra-sujets. Il s'agit des facteurs Fréquence, Voisinage et Inversion. La variable dépendante (VD) correspond aux pourcentages de reconstruction correcte des participants.

B.2.3. Résultats

Tous les participants et tous les mots ont été inclus dans l'analyse. L'analyse comportait donc 50 participants et 120 mots soit 6000 données. Nous avons transformé les réponses écrites des auditeurs en performances numériques. Chaque syllabe entièrement restituée phonologiquement, était comptée comme correcte, y compris si l'orthographe n'était pas correcte. Par exemple, la réponse « *galai* » pour l'item « *galet* » était comptée comme deux syllabes correctes. La réponse « *pocto* » pour l'item « *poteau* » était comptée comme une seule syllabe correcte (en effet la syllabe /*po*/ n'est pas correctement restituée puisqu'elle est devenue /*pɔk*/) et la réponse « *basket* » pour l'item « *baquet* » était comptée comme entièrement fautive. De ce fait, les réponses recevant le score de deux syllabes correctement restituées, correspondaient aux mots correctement identifiés.

Nous définissons le pourcentage de reconstruction correcte comme étant le nombre de syllabes correctement transcrites de l'item. Un taux de restauration de 50 % signifie qu'en moyenne, une syllabe sur deux a été correctement identifiée. Pour reprendre les exemples cités plus haut, la réponse « *galai* » obtenait un score de 100 % d'intelligibilité, la réponse « *pocto* » un score de 50 % et la réponse « *basket* » un score de 0 %. Nous avons également effectué un codage lexical des réponses des participants (codage binaire selon que l'item est correctement restitué en entier ou non). Globalement le profil des résultats obtenu était le même que celui obtenu par le codage syllabique (avec des performances plus basses) cependant, il était plus judicieux pour nos résultats de présenter le codage syllabique qui reflétait plus fidèlement la variabilité interindividuelle observée. En effet, le codage lexical apportait une estimation approximative des performances des participants contrairement au codage syllabique qui donnait une estimation plus fine des capacités de reconstruction.

La significativité de nos résultats a été mesurée à l'aide d'une analyse statistique ANOVA à mesures répétées (logiciel StatView) en considérant comme variable aléatoire d'une part, les participants ($F1$) et d'autre part, les items ($F2$).

B.2.3.1. Effet de l'inversion sur la reconstruction des mots

Les moyennes des pourcentages de restitution correcte ont montré un effet simple du facteur Inversion (Figure 7).

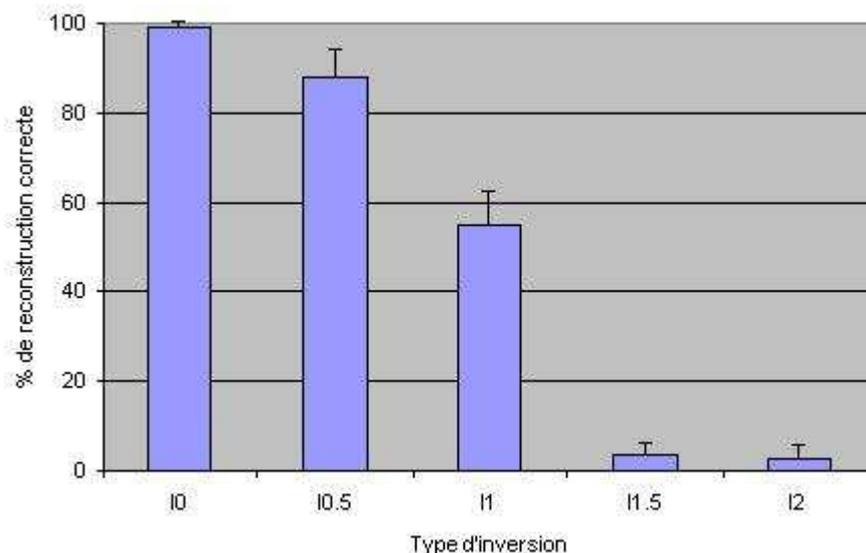


Figure 7 : Effet du type d'inversion sur la reconstruction de mots

Les scores obtenus diminuaient lorsque l'inversion augmentait. En moyenne, la condition I_0 occasionnait 99.2 % de restitution correcte (DS = 1.39), la condition $I_{0.5}$, 88.1 % (DS = 6.07), la condition I_1 , 54.8 % (DS = 7.57), la condition $I_{1.5}$, 3.5 % (DS = 2.57) et la condition I_2 , 2.67 % (DS = 2.95). Les analyses statistiques à mesures répétées par sujets et par items ont montré un effet global significatif du facteur Inversion ($F1(4, 196) = 5236$; $p < .0001$; $F2(4, 476) = 2084$; $p < .0001$). Des comparaisons spécifiques ont montré que les taux de restitution étaient significativement différents entre les conditions I_0 et $I_{0.5}$ ($F1(1, 49) = 158.2$; $p < .0001$), $I_{0.5}$ et I_1 ($F1(1, 49) = 618.47$; $p < .0001$), et I_1 et $I_{1.5}$ ($F1(1, 49) = 2038.43$; $p < .0001$) mais non significativement différents entre les conditions $I_{1.5}$ et I_2 ($F1(1, 49) < 1$).

B.2.3.2. *Effets psycholinguistiques*

Nous avons ensuite analysé les effets des facteurs psycholinguistiques auxquels nous sommes intéressés dans cette étude : les facteurs Fréquence et Voisinage phonologique.

B.2.3.2.1. *Effet du facteur Fréquence*

Nous avons observé un effet simple de la Fréquence (Figure 8). Les moyennes des pourcentages de restitutions correctes étaient plus élevées pour les mots de forte fréquence que pour les mots de faible fréquence et cela quel que soit le type d'inversion. Respectivement et pour des inversions croissantes, nous avons obtenu 98.75 %, 87.08 %, 52.33 %, 2.83 % et 2 % de restitution pour les mots de faible fréquence contre 99.67 %, 89.17 %, 56 %, 4.17 % et 3.33 % pour les mots de forte fréquence. L'analyse de la variance montrait un effet simple significatif de la Fréquence par sujets ($F1(1, 49) = 17.12 ; p = .0001$), et un effet marginal par items ($F2(1, 119) = 3.11 ; p = .08$).

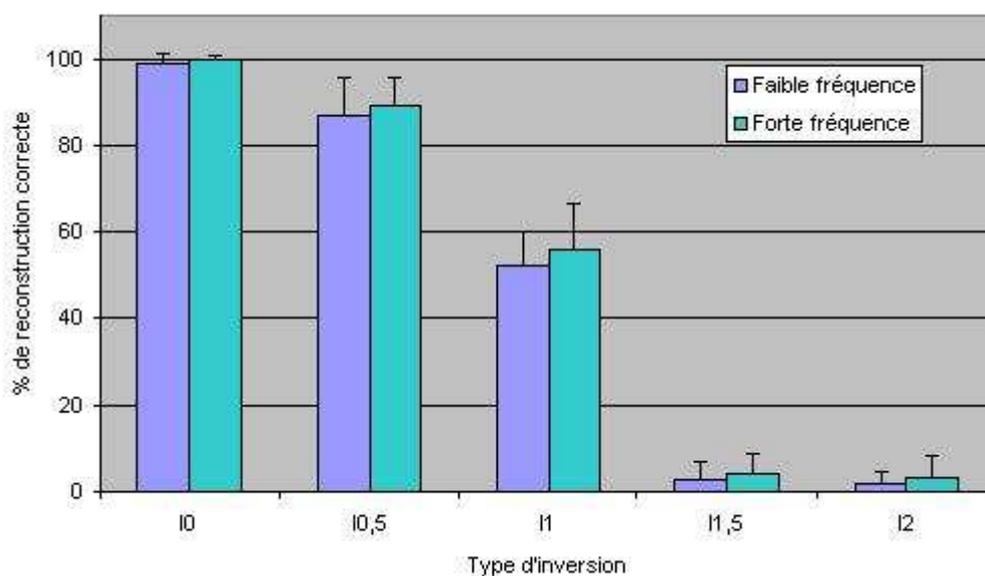


Figure 8 : Effet de la fréquence des mots sur leur taux de reconstruction pour chaque type d'inversion.

Aucune interaction significative n'a été observée entre les facteurs Inversion et Fréquence ($F1(4, 196) < 1$) ; ($F2(4, 472) < 1$).

B.2.3.2.2. *Effet du facteur Voisinage*

Les résultats ont montré également un effet simple du facteur Voisinage (Figure 9). Les scores étaient globalement plus élevés pour les mots possédant peu de voisins phonologiques que pour ceux qui en possèdent beaucoup. Respectivement et pour des inversions croissantes

nous avons obtenu 99.08 %, 90.5 %, 56.67 %, 4 % et 2.17 % de restitution pour les mots possédant peu de voisins contre 99.33 %, 85.75 %, 51.67 %, 3 % et 3.17 % pour les mots possédant beaucoup de voisins. L'analyse de la variance a montré un effet simple significatif du Voisinage par sujets ($F1(1, 49) = 20.15$; $p < .0001$) et un effet marginal par items ($F2(1, 119) = 3.22$; $p = .07$).

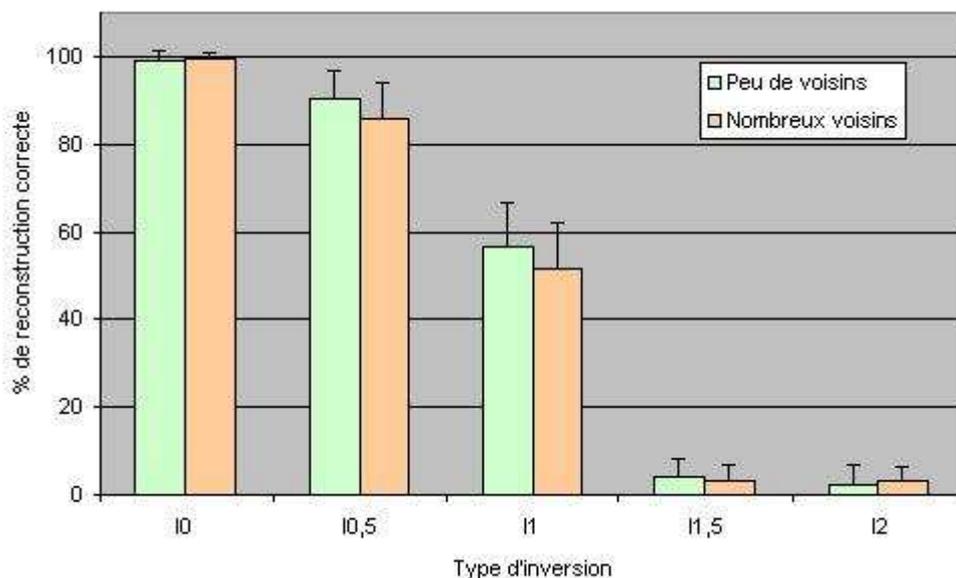


Figure 9 : Effet du nombre de voisins phonologiques des mots sur leur reconstruction pour chaque type d'inversion.

Nous avons observé une interaction entre les facteurs Inversion et Voisinage significative par sujets : ($F1(4, 196) = 8.05$; $p < .0001$) et marginale par items : ($F2(4, 464) = 1.99$; $p = .09$). Des comparaisons spécifiques ont montré que l'effet du Voisinage était significatif pour les conditions $I_{0,5}$ ($F1(1, 49) = 16.9$; $p < .0001$) et I_1 ($F1(1, 49) = 11.13$; $p < .01$) alors qu'il ne l'était pas pour les conditions I_0 ($F1(1, 49) < 1$) ; $I_{1,5}$ ($F1(1, 49) = 1.4$; n.s.) et I_2 ($F1(1, 49) = 1.8$; n.s.).

B.2.3.2.3. Interactions doubles et triples

Nous avons obtenu également une interaction significative entre les facteurs Fréquence et Voisinage par sujets ($F1(1, 49) = 4.33$; $p < .05$), mais pas par items ($F2(3, 116) = 1.1$; n.s.) ; et une interaction triple entre les facteurs Inversion, Fréquence et Voisinage par sujets ($F1(4, 196) = 3.8$; $p < .01$) mais pas par items ($F2(12, 472) = 1.6$; n.s.). En dissociant les cinq types d'inversion, il nous avons observé que l'interaction Fréquence-Voisinage était significative par sujets pour la condition I_1 ($F1(1, 49) = 8$; $p < .01$) alors

qu'elle ne l'était pas pour toutes les autres conditions I_0 ($F(1, 49) < 1$) ; $I_{0,5}$ ($F(1, 49) < 1$) ; $I_{1,5}$ ($F(1, 49) < 1$) et I_2 ($F(1, 49) < 1$). Cette interaction révèle que les mots possédant beaucoup de voisins ont été reconstruits de la même façon, quelle que soit leur fréquence (pas de différence de reconstruction entre les mots fréquents et peu fréquents pour les mots possédant beaucoup de voisins : $F(1, 49) = 1.05$; n.s.). En revanche, parmi les mots possédant peu de voisins, les plus fréquents étaient mieux reconstruits que les moins fréquents ($F(1, 49) = 18.08$; $p < .0001$).

B.2.4. Résumé des résultats obtenus

L'expérience 1a a montré plusieurs résultats significatifs. Tout d'abord, nous avons observé une perte d'intelligibilité croissante avec l'augmentation de la taille des inversions temporelles du signal de parole. Ensuite, nous avons observé des effets psycholinguistiques sur la restitution des mots dégradés. Nous avons obtenu un fort effet de la fréquence d'occurrence des mots dans la langue, les mots cibles étaient mieux reconstruits s'ils avaient une forte fréquence. Nous avons observé également un effet du nombre de voisins phonologiques. Les mots cibles qui possédaient de nombreux voisins étaient moins bien restitués que les mots possédant peu de voisins phonologiques. Nous avons également observé une interaction entre les facteurs Voisinage et Fréquence pour l'inversion d'une syllabe signifiant que dans ce cas, le facteur Voisinage était celui des deux qui avait le plus influencé les performances de reconstruction. En effet, les mots possédant beaucoup de voisins n'étaient pas restitués différemment en fonction de leur fréquence contrairement aux mots possédant peu de voisins dont les plus fréquents étaient mieux restitués. Ces résultats reproduisent des effets bien décrits dans la littérature ; et de ce fait, valident notre paradigme expérimental, qui n'avait à notre connaissance jamais été utilisé dans ce cadre. Dans l'expérience suivante (expérience 1b), nous nous sommes intéressés à la reconstruction des pseudomots.

B.3. Expérience 1b : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de pseudomots chez l'adulte sain normo-entendant

B.3.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 1b était en tout point identique à l'expérience 1a excepté le fait que les stimuli utilisés étaient des pseudomots. L'expérience 1b avait donc pour but de mesurer l'intelligibilité de pseudomots isolés inversés localement. 120 pseudomots ont été présentés auditivement aux participants qui devaient transcrire ce qu'ils avaient entendu par l'intermédiaire du clavier. Comme dans l'expérience précédente, cinq conditions de présentation ont été construites en inversant le signal sur des segments de différentes longueurs (aucune inversion, une demi-syllabe, une syllabe, une syllabe et demi et deux syllabes).

B.3.2. Méthode

B.3.2.1. Stimuli

À partir des 120 mots sélectionnés pour l'expérience 1a nous avons construit 120 pseudomots en échangeant les syllabes entre elles (cf. annexe 1). Par exemple le pseudomot « *raffin* » est issu de la combinaison entre la première syllabe du mot « *ravin* » et la deuxième syllabe du mot « *couffin* ». Tous les pseudomots respectent les contraintes phonotactiques du français, c'est-à-dire qu'aucun des pseudomots construits ne présentait un enchaînement illégal en langue française (comme par exemple la séquence /nr/). Nous avons procédé ainsi de façon à utiliser toutes les syllabes appartenant aux mots de l'expérience 1a pour créer 120 pseudomots. Ensuite, ces 120 pseudomots ont suivi toutes les étapes de préparation décrites précédemment pour aboutir au statut de stimuli expérimentaux (enregistrements, étiquetage, segmentations, inversions). Chaque pseudomot donnait lieu à cinq stimuli expérimentaux, un avec un signal intact, un avec une inversion sur la 1^{ère} demi-syllabe, un avec une inversion sur la 1^{ère} syllabe, un avec une inversion sur une syllabe et demi et un avec une inversion sur la totalité des deux syllabes. Enfin, nous avons réparti les stimuli obtenus dans cinq listes de 120 stimuli contenant chacune la même proportion d'items de chaque type d'inversion (24 exactement).

B.3.2.2. Procédure expérimentale

Les conditions expérimentales étaient exactement identiques à celles de l'expérience 1a. Les participants entendaient les stimuli un à un et devaient transcrire ce qu'ils avaient entendu. Ils étaient informés par la consigne (cf. annexe 2) qu'il s'agissait de pseudomots et l'expérimentateur donnait si nécessaire une définition de pseudomot.

B.3.2.3. Participants

Les 50 participants à l'expérience 1a ont participé également à l'expérience 1b. La moitié des participants a commencé par l'expérience sur les mots et l'autre moitié par l'expérience sur les pseudomots. Une pause était effectuée entre les deux expériences. La session durait environ 50 minutes au total.

B.3.2.4. Plan expérimental

Le plan expérimental pour l'expérience 1b était le suivant: $A_{50} * P_{24} <I_5>$

Avec :

A : Les Auditeurs au nombre de 50

P : Les Pseudomots présentés au nombre de 24 par Inversion

I : La variable Inversion à cinq niveaux : I_0 , $I_{0.5}$, I_1 , $I_{1.5}$ et I_2

La seule VI entrant en jeu est l'Inversion. La VD correspondait aux pourcentages de reconstruction correcte des participants.

B.3.3. Résultats

B.3.3.1. Effet de l'inversion sur la reconstruction des pseudomots

Les moyennes des pourcentages de restitution correcte des pseudomots ont montré un effet simple du facteur Inversion (Figure 10). Les scores obtenus diminuaient lorsque l'inversion augmentait. En moyenne, la condition I_0 occasionnait 95.4 % de restitution correcte (DS = 3.6), la condition $I_{0.5}$, 71.17 % (DS = 10.7), la condition I_1 , 47.5 % (DS = 3.2), la condition $I_{1.5}$, 2.2 % (DS = 2.8) et la condition I_2 , 0.96 % (DS = 1.6). L'analyse de la variance a fait ressortir un effet global significatif du facteur Inversion par sujets ($F1(4, 49) = 3038$; $p < .0001$) et par items ($F2(4, 119) = 1893$; $p < .0001$).

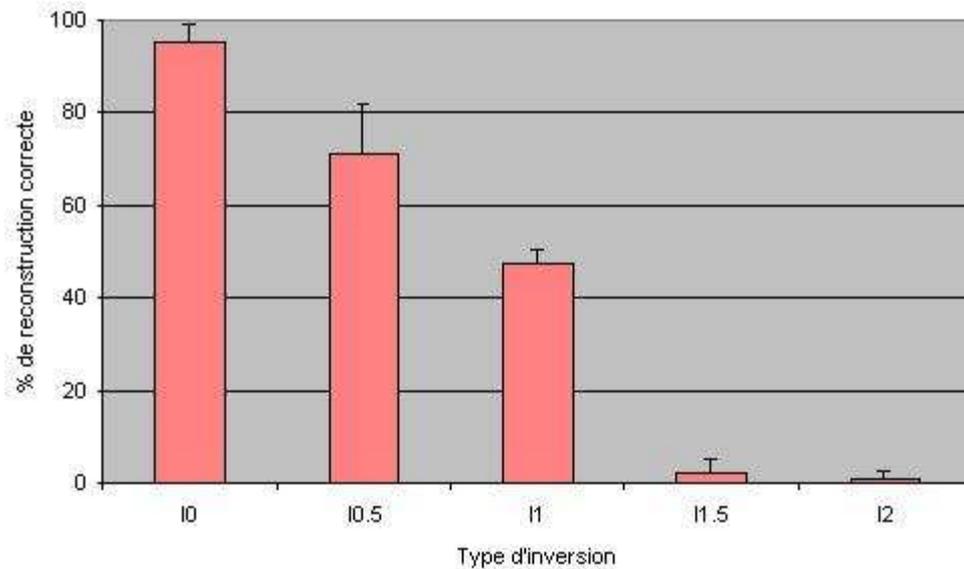


Figure 10 : Effet du type d'inversion sur la restitution de pseudomots.

Nous avons effectué des comparaisons spécifiques qui ont montré que les différences de performances étaient significativement différentes par sujets et par items entre les conditions I_0 et $I_{0.5}$: ($F1(1, 49) = 15.6$; $p < .0001$), ($F2(4, 116) = 13.86$; $p < .0001$) ; $I_{0.5}$ et I_1 : ($F1(1, 49) = 16.11$; $p < .0001$), ($F2(4, 116) = 13.3$; $p < .0001$) ; et I_1 et $I_{1.5}$: ($F1(1, 49) = 74$; $p < .0001$), ($F2(4, 116) = 58.2$; $p < .0001$). Les conditions $I_{1.5}$ et I_2 étaient également significativement différentes par sujets ($F1(1, 49) = 2.9$; $p < .01$) et présentaient une tendance par items ($F2(4, 116) = 1.9$; $p = .06$).

B.3.3.2. *Persistence des mots*

De plus, nous avons observé que les participants répondaient parfois par un mot alors qu'ils savaient pertinemment que la réponse n'en était pas un. La consigne était très précise sur ce point (cf. annexe 2) et l'expérimentateur insistait sur le fait qu'aucun des items présentés n'était un vrai mot de la langue française. Les réponses mots représentaient moins de 5 % des cas, aussi nous n'avons pas analysé plus précisément ces réponses. De plus, il était parfois difficile d'identifier des réponses mots parmi les réponses phonologiquement plausibles mais orthographiquement très incorrectes (exemple : « *cajo* »). Cependant, il paraissait nécessaire de mentionner ce phénomène qui semblait refléter une sorte de « persistance des mots ». Les participants se forçaient à restituer un pseudomot puisque la réponse qu'ils donnaient ne correspondait pas à l'orthographe d'un mot, cependant leur

réponse semblait refléter l'activation d'un vrai mot. Nous discuterons plus avant ce point précis des résultats dans la discussion sur la parole inversée à la fin de ce chapitre.

B.3.4. Résumé des résultats obtenus

L'expérience 1b a montré que les performances de restitution des pseudomots diminuaient avec l'augmentation de la portion de signal inversée. Les résultats ont indiqué que malgré la distorsion acoustique, les participants parvenaient dans certaines conditions à reconstruire le signal d'origine. Nous allons à présent comparer la reconstruction des mots avec celle des pseudomots.

B.4. Comparaison des expériences 1a et 1b

Nous avons comparé les performances de restitution des mots avec celles des pseudomots. Les scores globaux de reconstruction pour les deux types d'items confondus étaient de 97.3 % pour la condition I_0 ; 79.65 % pour $I_{0.5}$; 51.15 % pour I_1 ; 2.85 % pour $I_{1.5}$ et 1.81 % pour I_2 . Globalement, pour l'ensemble des items, l'intelligibilité diminue lorsque la quantité d'information inversée augmente. On observe un effet significatif du facteur Inversion ($F(4, 49) = 7819$; $p < .0001$). Afin d'effectuer une comparaison statistique des résultats obtenus dans les expériences 1a et 1b, nous avons introduit un nouveau facteur : le facteur Type d'item à deux niveaux (mots et pseudomots). Nous avons comparé les taux de reconstruction obtenus pour les mots et les pseudomots (Figure 11).

D'une façon générale, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots ($F(1, 49) = 158.5$; $p < .0001$), et cela quel que soit le type d'inversion puisque nous avons observé une différence de reconstruction significative entre mots et pseudomots pour toutes les conditions : $F(1, 49) = 6.7$; $p < .0001$ pour I_0 ; $F(1, 49) = 9.4$; $p < .0001$ pour $I_{0.5}$; $F(1, 49) = 7$; $p < .0001$ pour I_1 ; $F(1, 49) = 2.69$; $p < .01$ pour $I_{1.5}$ et $F(1, 49) = 3.8$; $p < .001$ pour I_2 . L'interaction de second niveau entre les facteurs Type d'items et Inversion était également significative : ($F(4, 196) = 43.14$; $p < .0001$).

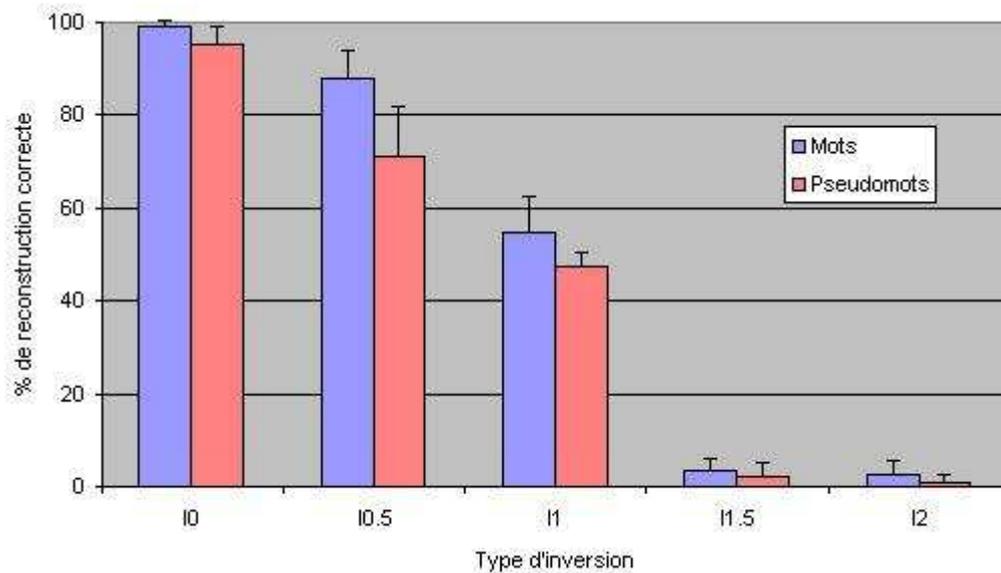


Figure 11 : Effet du type d'inversion sur les scores de restitution correcte pour les mots et les pseudomots.

Dans leur ensemble, les expériences 1a et 1b ont montré une capacité du système cognitif à reconstruire de la parole inversée. Nous avons également observé un effet lexical, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots. Nous allons à présent discuter l'ensemble des résultats obtenus pour les expériences 1a et 1b.

B.5. Discussion

B.5.1. Existence d'une capacité de reconstruction de la parole inversée

Ces premiers résultats portant sur la reconstruction cognitive de mots et de pseudomots ont montré que le score de restitution correcte diminue lorsque la quantité d'information dégradée augmente. Cependant, nous avons remarqué une capacité, limitée mais existante, à reconstruire la parole inversée. Ces résultats vont dans le sens de ceux obtenus par Meunier, *et al.* (2002) : l'intelligibilité décroît avec l'augmentation de la longueur du segment dégradé. Il faut cependant noter que notre étude effectue les inversions sur des items isolés contrairement aux études antérieures, en anglais (Greenberg & Araï, 2001) et en français (Meunier, *et al.*, 2002), qui utilisaient des phrases. De plus, nous avons effectué les inversions sur des longueurs correspondant aux syllabes des mots alors que les études précédentes utilisaient des fenêtres d'inversion de longueurs fixes et au contenu linguistique arbitraire. Ces différences ne rendent donc pas les performances que nous avons obtenues directement

comparables à celles des travaux antérieurs. En effet, les deux études antérieures visaient à obtenir un continuum d'intelligibilité décroissante avec l'augmentation de la quantité d'information dégradée, dans le but de montrer une « résistance » du système langagier à la dégradation. Les auteurs discutaient notamment sur la notion du 50 % d'intelligibilité qui était atteint 20 ms plus tôt en anglais qu'en français. Nos travaux n'avaient pas pour but d'observer à quel degré de dégradation correspondait la perte d'intelligibilité de la moitié des informations mais plutôt de tester l'effet de dégradations temporelles de longueurs croissantes basées sur la structure syllabique des items. Nous allons à présent discuter la pertinence de ce choix méthodologique.

B.5.2. Pertinence de la syllabe

Contrairement aux études précédentes qui appliquaient les inversions sur des fenêtres de différentes durées prédéfinies, notre étude est la première à avoir utilisé une unité linguistique explicite : la syllabe. Les résultats ont montré que pour les deux catégories d'items, la dégradation de la première demi-syllabe occasionne des scores de restauration élevés (79.65 % en moyenne), le système cognitif est donc généralement capable de reconstruire le signal. Lorsque la première syllabe entière était dégradée, les scores chutaient à 51.15 % de reconstruction ce qui signifie que très majoritairement seule la seconde syllabe était correctement identifiée. La dégradation d'une syllabe et demie ($I_{1.5}$) donnait des scores de reconstruction catastrophiques (en dessous de 3 %). Il semblerait que lorsque la distorsion est supérieure à une syllabe, les participants ne soient pas capables de reconstruire la première syllabe ni la seconde, même si celle-ci n'est que partiellement dégradée. Ces résultats ont montré une saillance de la syllabe pour la reconstruction de la parole car lorsque l'inversion portait sur plus d'une syllabe, l'item n'était pas reconstruit. Pour la dégradation $I_{0.5}$, nous avons observé que la première syllabe était parfois reconstruite (plus d'une fois sur deux puisque les scores étaient de 79.65 % en moyenne), nous pouvons supposer que les participants se sont appuyés sur l'information disponible (à savoir une syllabe entière plus une demi syllabe) pour reconstruire la partie dégradée. Dans le cas de la condition $I_{1.5}$, la deuxième syllabe n'était, elle, pratiquement jamais reconstruite. La dégradation du signal était tellement importante qu'il est possible que le stimulus ait dérouté et empêché l'auditeur de faire la tâche de reconstruction.

Pour la condition I_1 , la première syllabe était parfois reconstruite lorsqu'il s'agit des mots (54.8 % de reconstruction correcte) alors que pour les pseudomots ce n'était pas le cas

(47.5 % de reconstruction correcte), la dégradation perturbait même la compréhension de la seconde syllabe qui était pourtant intacte. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que la dégradation de la première syllabe perturbe les informations de coarticulation entre la première et la deuxième syllabe. Pour les mots, l'intervention de l'aide lexicale permettait parfois de reconstruire la première syllabe (l'information disponible était constituée de la deuxième syllabe et de la voyelle de la première syllabe qui n'était que très peu dégradée par l'inversion). Le modèle psycholinguistique TRACE (McClelland & Elman, 1986) pourrait expliquer les recherches lexicales des mots dégradés car contrairement à Cohorte ou ShortList, TRACE n'accorde pas de statut privilégié aux débuts de mots, mais postule un alignement exhaustif. Les travaux de Shillcock (1990) ont montré une activation des mots par la fin à l'aide d'un paradigme d'amorçage intermodal (auditif/visuel). Les temps de décision lexicale révélaient un effet de facilitation des cibles reliées sémantiquement au mot enchâssé en position finale. Des simulations de TRACE ont été effectuées par Frauenfelder & Peters (1990) et ont montré une activation du mot porteur et du mot enchâssé en position finale. On voit donc que dans le cas des mots, les recherches lexicales seraient possibles à partir de l'information partielle que représente la seconde syllabe. En revanche, les pseudomots ne bénéficiaient pas de l'aide lexicale, la dégradation de la première syllabe (condition I₁) perturbait également la coarticulation ce qui gênait la compréhension de la deuxième syllabe qui n'est parfois pas restaurée.

Ces résultats soulignent que la syllabe en tant qu'unité constitue un repère saillant sur lequel les participants se sont appuyés pour effectuer la tâche. Nous allons à présent discuter des différences de performances obtenues pour les mots et les pseudomots.

B.5.3. Effet de supériorité du mot

La comparaison des performances obtenues pour les mots et pour les pseudomots a mis en évidence un effet de supériorité du mot ou « *Word superiority effect* » (Frauenfelder, Segui & Dijkstra, 1990). Frauenfelder, *et al.* (1990) montrent que des sons de parole sont mieux perçus s'ils appartiennent à un vrai mot que s'ils sont inclus dans un pseudomot. Dans notre étude, cet effet de supériorité du mot se traduit de deux façons :

- 1/ les mots sont mieux reconstruits que les pseudomots dans toutes les conditions,
- 2/ de vrais mots ont tendance à émerger à la place de pseudomots (persistance des mots décrite plus haut).

En effet, quel que soit le type d'inversion, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots (qui ne sont pas représentés dans le lexique mental). Henderson (1985) montre notamment que les interconnexions entre les mots facilitent leur activation dans le lexique et empêchent le traitement des pseudomots dont les enchaînements sonores correspondants ne sont pas référencés en mémoire. Cela pourrait expliquer les performances plus basses observées pour la reconstruction des pseudomots. Les mécanismes de recherche lexicale étant spécialisés dans la recherche de mots, ils sont nettement moins performants lorsqu'il est question de comprendre un pseudomot. De plus, l'émergence irréprouvable de vrais mots (proches du pseudomot entendu) pourrait gêner la compréhension du pseudomot. À l'appui de cet argument, nous avons observé que les pseudomots étaient moins bien reconstruits en condition I_0 que les mots (95.4 % pour les pseudomots contre 99.2 % pour les mots). Alors même que les items étaient intacts, près de 5 % des pseudomots n'étaient pas retranscrits correctement. Lorsqu'une dégradation était appliquée au signal, la tâche devenait encore plus difficile. De plus, l'intervention des processus lexicaux pouvant aider le traitement des pseudomots est limitée. Les connaissances lexicales intervenant concernent les contraintes phonotactiques de la langue et les probabilités d'enchaînement des syllabes (cette notion d'enchaînement des syllabes a été étudiée par exemple par Saffran, Aslin & Newport (1996), qui avaient montré que des enfants de huit mois exploitent la fréquence des transitions entre syllabes pour segmenter le flux de parole). Cet effet était présent presque pour tous les participants puisque parmi les 50 personnes testées, seule une d'entre elles a montré de meilleures performances pour les pseudomots que pour les mots, et seulement deux participants ont présenté des performances équivalentes pour les mots et les pseudomots.

Nous avons également observé que les participants avaient tendance à donner un vrai mot comme réponse à un stimulus pseudomot bien que la consigne insistait sur le fait que les items diffusés n'étaient pas de vrais mots. En moyenne, les participants répondaient par un mot à la place d'un pseudomot dans 3.65 % des cas ($DS = 3.76$), ce qui est élevé puisque les réponses n'étaient pas limitées dans le temps (le participant prenait le temps qu'il voulait pour répondre, il avait donc la possibilité de se remémorer la consigne lui précisant qu'aucun mot ne faisait partie des stimuli). Généralement, pour ce type d'erreurs, la réponse donnée était phonologiquement similaire au pseudomot d'origine (par exemple, le mot « *parfum* » était souvent donné en réponse au stimulus « *raffin* »). Ce résultat démontrait la robustesse du lexique dans une tâche « non-lexicale » comme la restauration de pseudomots.

D'une manière générale, les principaux modèles psycholinguistiques de compréhension de la parole considèrent la reconnaissance d'un mot comme le résultat d'un processus de

compétition entre plusieurs candidats lexicaux potentiels (McClelland & Elman, 1986 ; Marslen-Wilson, 1987 ; Marslen-Wilson & Welsh, 1978 ; Norris, 1994 ; Luce Pisoni & Goldinger, 1990). L'activation des mots phonologiquement similaires au mot cible est très fortement probable comme le montrent les effets de densité et de fréquence du voisinage lexical (Luce, *et al.*, 1990 ; Frauenfelder, Baayen, Hellwig & Schreuder, 1993). Ces effets d'activation dans le lexique pourraient expliquer l'émergence de vrais mots en réponse aux stimuli pseudomots car les recherches lexicales à partir du percept auditif sont irrépressibles. Un modèle interactif, comme TRACE (McClelland & Elman, 1986), pourrait expliquer que l'entrée sensorielle d'un pseudomot dans le lexique active un mot phonologiquement similaire car toutes les unités lexicales contenant des phonèmes et même des traits acoustiques communs avec l'entrée sensorielle seraient activées.

Nous allons à présent revenir à la restitution des mots et discuter des effets psycholinguistiques que nous avons observés.

B.5.4. Effets psycholinguistiques

La fréquence des mots et leur nombre de voisins phonologiques ont influencé les performances de restitution des participants. En effet, les mots les plus fréquents étaient mieux restitués ainsi que ceux qui possédaient le moins de voisins phonologiques. Nous n'avons pas constaté d'interaction entre les facteurs Inversion et Fréquence, ce qui signifie que la fréquence des mots influençait leur restitution quel que soit le type d'inversion. La fréquence est un paramètre interne au mot ; si le mot est plus fréquent dans la langue, il émerge des compétitions lexicales plus facilement quel que soit le degré de détérioration du signal. Ces résultats montrent le même effet que les travaux de Connine, Mullennix, Shernoff & Yelen (1990) qui avaient démontré un effet de fréquence dans la reconnaissance auditive de mots. Ils avaient observé dans une tâche de décision lexicale des temps de réaction plus courts pour les mots cibles les plus fréquents. Des résultats identiques avaient déjà été également observés, avec une tâche de décision lexicale auditive, par McCusker, Holley-Wilcox & Hillinger, (1979), Marslen-Wilson (1990), et Taft & Hambly (1986). Tous ces résultats décrivent un traitement lexical plus rapide pour les mots fréquents que pour les mots peu fréquents. Dans notre étude, qui ne mesurait pas la vitesse d'accès aux mots, mais le pourcentage de reconstruction correcte des mots, les mots les plus fréquents étaient également les mieux reconstruits ce qui nous fait penser qu'ils avaient besoin de moins d'information pour être activés que les mots peu fréquents. Les modèles à activation interactive (comme

TRACE) expliquent l'effet de fréquence par un état d'activation plus élevé dans le lexique pour les mots les plus fréquents ce qui facilite leur émergence lors des compétitions lexicales.

À l'inverse de la Fréquence, le facteur Voisinage conditionnait la restitution des mots de façon dépendante de l'Inversion. Les deux facteurs Voisinage et Inversion interagissaient : les scores de restitution étaient significativement meilleurs pour les mots possédant peu de voisins phonologiques mais seulement pour les inversions $I_{0.5}$ et I_1 . L'effet de voisinage dans ces conditions va dans le sens des travaux de Luce (1986) ; Slowiaczek & Pisoni (1986) et Luce & Pisoni (1998) qui avaient montré une différence dans la vitesse de reconnaissance des mots possédant beaucoup de voisins par rapport à ceux caractérisés par une densité de voisinage faible. Cependant il faut noter que ces travaux avaient été réalisés dans le but de tester le modèle NAM (Luce, Pisoni & Goldinger, 1990), qui rend compte des effets de voisinage phonologique dans le traitement des mots monosyllabiques. En revanche, le nombre de voisins n'avait pas d'effet sur la restitution des stimuli non détériorés (condition contrôle) car il n'y avait pas de confusion possible avec un autre mot (le fait qu'il ait beaucoup de voisins ne gênait pas la reconstruction du mot). Le voisinage n'agissait pas non plus sur les détériorations les plus importantes car le stimulus était trop modifié et même s'il possédait peu de voisins (ce qui limitait le nombre de candidats à la réponse) cette aide était insuffisante pour reconstruire le mot.

Nous avons donc observé que les facteurs Fréquence et Voisinage n'influençaient pas de la même façon la tâche de restitution d'un mot dégradé. Cela était confirmé par l'existence d'une interaction entre ces deux facteurs. Cette interaction n'était significative que lorsque l'inversion portait sur une syllabe entière (I_1), c'est-à-dire un niveau de dégradation déjà élevé. Le nombre de voisins phonologiques était le facteur qui avait le plus d'influence sur la reconstitution du mot. Parmi les mots possédant peu de voisins phonologiques, les plus fréquents étaient les mieux reconstruits. En revanche, les mots possédant beaucoup de voisins phonologiques ne présentaient pas d'effet de fréquence dans cette condition. Nous allons à présent parler des stratégies lexicales mises en jeu durant la tâche de reconstruction.

B.5.5. Stratégies lexicales

Les pseudomots se sont montrés plus difficiles à reconstruire que les mots. Cela est cohérent car un pseudomot ne possède pas de valeur sémantique et ne peut donc pas bénéficier de l'aide lexicale *per se*. Nous avons voulu savoir, pour un participant donné, si les performances de restitution des pseudomots diminuaient dans les mêmes proportions que les

performances obtenues pour les mots. Pour ce faire, nous avons comparé entre elles les courbes de perte d'intelligibilité pour les mots et les pseudomots (représentation propre à chaque participant du pourcentage de reconstruction correcte en fonction de l'inversion). Nous avons de ce fait pu observer la variabilité des performances entre participants pour les différents types d'inversion. Dans l'ensemble, une faible variabilité interindividuelle a été observée (en moyenne, $DS = 4.1$ pour les mots, $DS = 4.39$ pour les pseudomots). Cependant, pour les pseudomots en condition $I_{0.5}$ nous avons observé une variabilité très importante : les 50 participants obtenaient entre 48 % et 92 % de reconstruction correcte en moyenne, la variabilité interindividuelle était très large : $DS = 10.69$. Pour cette condition précise, certains participants n'étaient pas dérangés par l'inversion d'une demi-syllabe et percevaient le stimulus comme s'il était intact alors que d'autres étaient profondément perturbés par la dégradation et ne parvenaient pas à percevoir correctement la seconde syllabe pourtant intacte. Cette variabilité interindividuelle était inattendue et intrigante car nous ne l'avons observée que pour cette condition particulière ($I_{0.5}$) et uniquement pour les pseudomots. Nous avons voulu savoir s'il y avait un lien entre cette variabilité des performances obtenues pour les pseudomots et les performances de restitution des mots. Nous avons séparé les 50 participants en deux groupes de niveau par rapport à leur score moyen de restitution des pseudomots pour la condition $I_{0.5}$. Les 25 participants les moins bons obtenaient 62.6 % ($DS = 7.85$) de restitution correcte en moyenne et les meilleurs 79.8 % ($DS = 4.27$) pour la condition $I_{0.5}$. Les scores moyens de reconstruction étaient significativement différents entre les deux groupes ($F(1, 48) = 92.17$; $p < .0001$). Cependant, cette tendance ne s'observait pas lorsque l'on comparait les scores obtenus pour les mots pour cette même condition $I_{0.5}$. Le groupe des bons reconstituteurs réalisait un score de 87.3 % ($DS = 6.14$) alors que le groupe des mauvais reconstituteurs rattrapait son retard en obtenant 89.2 % ($DS = 5.1$) de reconstruction correcte. Les scores moyens de reconstruction des mots pour la condition $I_{0.5}$ n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes ($F(1, 48) = 1.44$; n.s.).

Ainsi, les participants présentant quelques difficultés à reconstruire les pseudomots n'avaient pas des performances très différentes des autres participants testés lorsqu'il s'agissait de vrais mots. Ces résultats pourraient indiquer que les participants auraient eu recours à des stratégies lexicales pour reconstruire les mots de façon extrêmement variable, certains participants pourraient avoir eu la nécessité de compenser la perte d'intelligibilité par des stratégies lexicales alors que d'autres non. Revenons à présent sur le résultat qui nous a le plus surpris : la variabilité interindividuelle.

B.5.6. Variabilité interindividuelle en l'absence de compensation lexicale

Comme nous venons de le voir, la condition $I_{0,5}$ des pseudomots présentait une très importante variabilité interindividuelle (Figure 12). En effet, si les réponses des participants étaient relativement semblables pour les conditions I_0 , I_1 , $I_{1,5}$ et I_2 , ce n'était pas le cas pour la condition $I_{0,5}$ pour laquelle certains participants ne semblaient pas perturbés par la détérioration alors que d'autres au contraire étaient très gênés et ne parvenaient pas à effectuer la tâche de reconstruction.

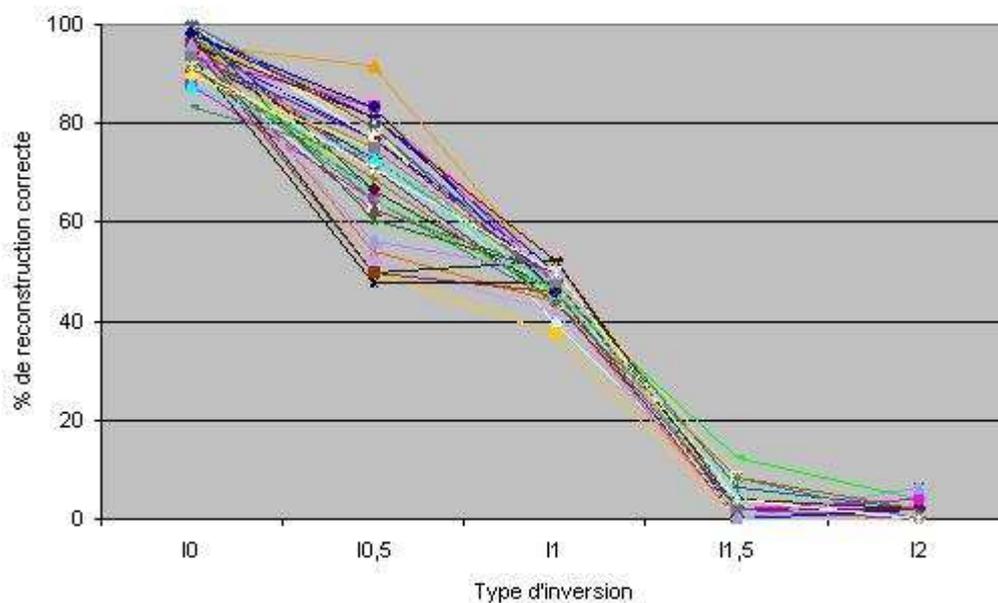


Figure 12 : Effet du type d'inversion sur la restitution de pseudomots (chaque courbe représente les résultats individuels d'un participant).

Cette imposante variabilité interindividuelle ($DS = 10.69$) n'était pas présente pour la restitution des mots. Elle serait donc spécifique au processus de reconstruction des pseudomots qui, bien qu'étant considérés comme de la parole, ne sont pas stockés en mémoire au niveau des représentations intégrées comme les mots de la langue. La reconstruction cognitive des pseudomots inversés se base majoritairement sur les informations perceptives ascendantes véhiculées par le système sensoriel auditif, mais bénéficie également de l'aide de connaissances sur la langue comme les contraintes phonotactiques et les probabilités de juxtaposition des syllabes. Le traitement cognitif des pseudomots ne bénéficie pas en revanche des aides lexicales dont disposent les mots. Nous nous sommes alors interrogés sur les causes de cette variabilité interindividuelle. Les participants à l'étude étaient tous jeunes et sans trouble auditif, alors pourquoi présentaient-ils des performances aussi disparates ? Nous avons vérifié que cette variabilité n'était pas liée au genre des participants ni à leur latéralité

manuelle. Nous avons dans un second temps pensé que cette variabilité pouvait provenir de différences entre participants au niveau perceptif, c'est à dire au niveau de leurs systèmes auditifs. Les voies auditives descendantes interviennent potentiellement dans la perception de la parole mais de façon inconstante entre individus (Veuille, Collet & Bazin, 1999). Nous nous sommes demandé si la fonctionnalité des voies auditives des participants pouvait avoir un lien avec les résultats comportementaux observés. Nous aborderons cet aspect audition et traitements de bas niveaux après avoir exploré les mécanismes de reconstruction de mots et pseudomots inversés chez une population d'adultes dyslexiques.

C. INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE INVERSÉE CHEZ LE PATIENT DYSLEXIQUE NORMO-ENTENDANT

C.1. Introduction

Comme nous l'avons expliqué au Chapitre I., la dyslexie développementale est un trouble de l'acquisition de la lecture et de l'écriture. On peut supposer que, l'acquisition de la langue s'étant passée différemment chez les dyslexiques adultes, leurs représentations lexicales sont spécifiées différemment de celles des normo-lecteurs. Les performances d'enfants dyslexiques dans des tâches de décision lexicale montrent qu'ils sont plus longs que les enfants contrôles (Edwards & Lahey, 1996) et les adultes dyslexiques présentent eux aussi des troubles des représentations lexicales (Brouwer, 2006). Les études de perception de la parole dégradée chez les dyslexiques adultes sont rares et concernent des domaines très divers. La plupart des travaux existants étudient le traitement de la parole dans des conditions de perception optimales, c'est-à-dire dans le silence. L'étude récente de Ziegler, *et al.* (2005) chez les enfants SLI (*Specific Language Impairment*) présente des résultats innovants concernant la compréhension de la parole dans le bruit. Les auteurs ont montré que la perception du voisement était déficitaire dans le bruit chez ces enfants. La comparaison des résultats avec ceux de patients présentant un déficit auditif suggère que le déficit de perception de la parole chez les enfants SLI aurait une origine centrale plutôt qu'auditive périphérique. Nous avons consacré une partie de nos travaux à l'étude de la reconstruction de la parole dégradée chez les dyslexiques adultes. Nous verrons au Chapitre III., leurs performances de compréhension de parole dans la parole. Dans un premier temps, nous avons mesuré leurs capacités de reconstruction de la parole inversée. À notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée précédemment à la compréhension de la parole inversée par des adultes dyslexiques. L'étude de ce type de population pourrait nous aider à mieux comprendre le fonctionnement du système langagier sans trouble du langage et à mieux caractériser les troubles des dyslexiques pour comprendre de la parole dégradée.

C.2. Expérience 2a : Effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de mots chez l'adulte dyslexique normo-entendant

C.2.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 2a avait pour but de mesurer l'intelligibilité de mots isolés inversés localement chez des participants dyslexiques. L'expérience 2a était identique à l'expérience 1a, seule la procédure expérimentale, notamment la saisie des réponses, variait. Cent-vingt mots ont été présentés auditivement aux participants dyslexiques qui devaient répéter à voix haute ce qu'ils avaient entendu. L'expérimentateur transcrivait les réponses par l'intermédiaire du clavier. On retrouvait dans l'expérience 2a les cinq conditions de présentation des stimuli qui avaient été construites en inversant le signal sur des segments de différentes longueurs (aucune inversion, une demi-syllabe, une syllabe, une syllabe et demi et deux syllabes).

C.2.2. Méthode

C.2.2.1. Stimuli

Les stimuli utilisés dans l'expérience 2a étaient identiques à ceux utilisés dans l'expérience 1a (cf. annexe 1). Nous renvoyons le lecteur à la partie B. pour le détail de la sélection et de la préparation des stimuli.

C.2.2.2. Procédure expérimentale

L'expérience a eu lieu dans la salle d'expérimentations de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Contrairement au groupe témoin qui a été testé collectivement, les participants dyslexiques ont tous été testés individuellement. Le participant dyslexique était placé dans un box isolé face à l'écran d'ordinateur. Sa tâche était d'écouter les stimuli diffusés un à un dans le casque et de les répéter à haute et intelligible voix. Deux expérimentateurs prenaient place face à des ordinateurs de part et d'autre des cloisons du box occupé par le participant et dactylographiaient la réponse donnée. Cette double saisie des réponses permettait de transcrire le plus fidèlement possible la réponse du participant. L'expérimentateur principal pilotait l'expérience, c'est-à-dire qu'il lançait le début de l'expérience et passait au stimulus suivant lorsqu'il avait terminé de transcrire la réponse du participant. Le participant n'avait pas à se soucier du déroulement de l'expérience. Le volume

sonore des stimuli était le même que celui utilisé dans l'expérience 1a. Chaque participant a été testé à l'aide de l'une des cinq listes de mots à l'intérieur de laquelle l'ordre d'apparition des stimuli était aléatoire (cf. Partie B). La consigne était donnée oralement au participant (cf. annexe 3) par l'expérimentateur principal qui s'assurait que le participant avait bien compris le principe de l'expérience. Avant la phase de test, l'expérience débutait par un entraînement de cinq essais qui n'ont pas été pris en compte parmi les résultats. Le participant pouvait faire l'entraînement plusieurs fois pour s'assurer d'avoir bien compris la tâche. Les participants pouvaient faire une pause à tout instant s'ils le souhaitaient et n'étaient pas limités en temps pour donner leurs réponses.

C.2.2.3. *Participants*

Cinquante patients dyslexiques (25 femmes ; 25 hommes), de langue maternelle française ont passé l'expérience 2a. Tous ignoraient le but de l'étude. Leur âge variait entre 16 et 45 ans ($M = 25.14$, $DS = 7.1$), tous avaient une vue normale ou corrigée et aucun ne souffrait de troubles auditifs⁸. Tous les participants dyslexiques nous ont présenté un diagnostic récent de leur dyslexie établi par un médecin ou un orthophoniste. Nous avons vérifié leur dyslexie grâce au test de lecture de l'Alouette⁹ (Lefavrais, 1965) et au test Odédys¹⁰, tous deux mis au point pour dépister la dyslexie chez les enfants. Nous nous sommes ainsi assuré que tous les participants présentaient des troubles du langage associés à un Quotient Intellectuel normal (vérifié grâce au test des matrices de Raven, 1938). Tous les participants étaient volontaires et ont été dédommagés pour leur participation.

C.2.2.4. *Plan expérimental*

Le plan expérimental était le suivant : $D_{50} * M_6 < F_2 * V_2 * 5 >$.

Avec :

D : Les Dyslexiques au nombre de 50.

M : Les Mots présentés au nombre de 6 par combinaison de conditions.

F : La variable Fréquence à deux niveaux : forte et faible.

V : La variable Voisins phonologiques à deux niveaux : fort et faible.

⁸ Certains participants dyslexiques présentaient de légères pertes d'audition (quelques seuils compris entre 20 dB HL et 40 dB HL sur l'une des deux oreilles) cependant, nous avons conservé l'ensemble des participants dyslexiques pour notre étude car l'intensité de stimulation utilisée dans notre expérience était suffisamment élevée (environ 80 dB) pour compenser ces pertes auditives.

⁹ Test permettant de déterminer l'âge de lecture.

¹⁰ Outil de Dépistage des Dyslexies mis au point en 2002 par les laboratoires de Psychologie & Neuro-Cognition et Cogni-Sciences de Grenoble.

I : La variable Inversion des items à cinq niveaux : I_0 , $I_{0.5}$, I_1 , $I_{1.5}$ et I_2 .

Les VI étaient toutes les trois des variables intra-sujets. Il s'agissait des facteurs Fréquence, Voisinage et Inversion. La VD correspondait aux pourcentages de reconstruction correcte des participants dyslexiques.

C.2.3. Résultats

Tous les participants dyslexiques et tous les mots ont été inclus dans l'analyse. L'analyse comportait donc 50 participants et 120 mots soit 6000 données. Nous avons transformé les réponses écrites des participants dyslexiques en performances numériques selon la méthode décrite dans la partie B. La significativité de nos résultats a été mesurée à l'aide d'une analyse statistique ANOVA à mesures répétées en considérant comme variable aléatoire d'une part, les participants ($F1$) et d'autre part, les items ($F2$).

C.2.3.1. Effet de l'inversion sur la reconstruction des mots

Les moyennes des pourcentages de restitution correcte ont montré un effet simple du facteur Inversion (Figure 13). Comme pour les participants normo-lecteurs, les scores de reconstruction des dyslexiques diminuaient lorsque l'inversion augmentait. En moyenne, la condition I_0 a occasionné 97.96 % de restitution correcte (DS = 3.05), la condition $I_{0.5}$, 82.25 % (DS = 7.64), la condition I_1 , 46.5 % (DS = 7.05), la condition $I_{1.5}$, 2.5 % (DS = 2.59) et la condition I_2 , 1.92 % (DS = 2.41).

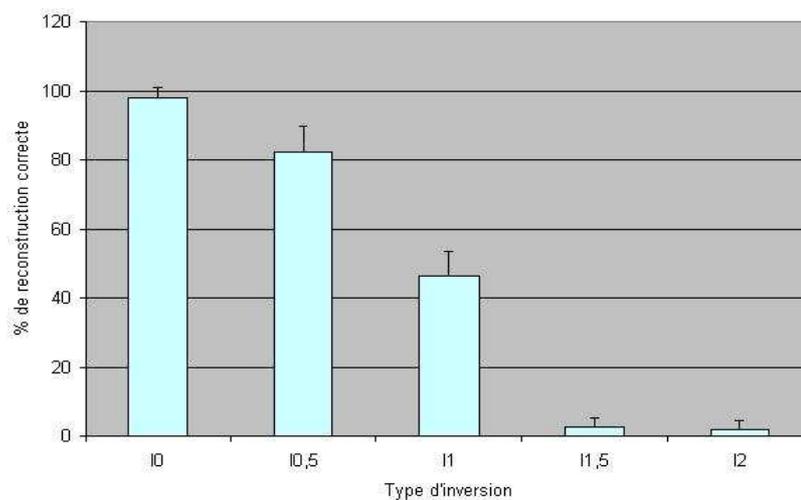


Figure 13 : Effet du type d'inversion sur la reconstruction de mots chez les dyslexiques

Les analyses statistiques à mesures répétées par sujets et par items ont montré un effet global significatif du facteur Inversion ($F1(4, 196) = 4724.17$; $p < .0001$;

$F2(4, 476) = 2210.7$; $p < .0001$). Des comparaisons spécifiques ont montré que les taux de restitution étaient significativement différents entre les conditions I_0 et $I_{0.5}$ ($F1(1, 49) = 230.5$; $p < .0001$), $I_{0.5}$ et I_1 ($F1(1, 49) = 1295.9$; $p < .0001$), et I_1 et $I_{1.5}$ ($F1(1, 49) = 1860.7$; $p < .0001$) mais non significativement différents entre les conditions $I_{1.5}$ et I_2 ($F1(1, 49) = 1.31$; n.s.).

C.2.3.2. *Effets psycholinguistiques*

Nous avons ensuite analysé les effets des facteurs psycholinguistiques auxquels nous nous sommes intéressés dans cette étude : les facteurs Fréquence et Voisinage des mots expérimentaux.

C.2.3.2.1. *Effet du facteur Fréquence*

Nous avons observé un effet simple de la Fréquence (Figure 14). Les moyennes des pourcentages de restitutions correctes étaient plus élevées pour les mots de forte fréquence que pour les mots de faible fréquence et cela quel que soit le type d'inversion. Respectivement et pour des inversions croissantes, nous avons obtenu 98 %, 80 %, 44.08 %, 1.58 % et 1.42 % de restitution pour les mots de faible fréquence contre 97.92 %, 84.5 %, 48.92 %, 3.42 % et 2.42 % pour les mots de forte fréquence. L'analyse de la variance a montré un effet simple significatif de la Fréquence par sujets ($F1(1, 49) = 24.4$; $p < .001$), et par items ($F2(1, 118) = 4.9$; $p < .05$).

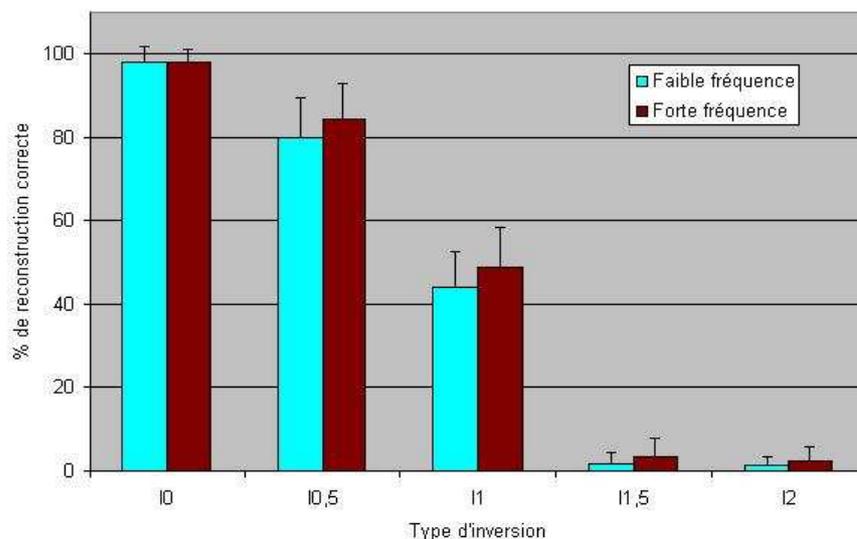


Figure 14 : Effet de la fréquence des mots sur leur taux de reconstruction pour chaque type d'inversion chez les participants dyslexiques

Une interaction significative a été observée entre les facteurs Inversion et Fréquence par sujets ($F(4, 196) = 4.54$; $p < .01$) ; mais pas par items ($F(4, 472) = 1.34$; n.s.). Les comparaisons spécifiques montraient que les taux de restitution étaient significativement différents entre mots de forte et de faible fréquence par sujets pour les conditions $I_{0,5}$ ($F(1, 49) = 10.6$; $p < .01$) ; I_1 ($F(1, 49) = 9.97$; $p < .01$), $I_{1,5}$ ($F(1, 49) = 5.25$; $p < .05$) et I_2 ($F(1, 49) = 5.61$; $p < .05$) mais pas pour la condition I_0 ($F(1, 49) < 1$; n.s.).

C.2.3.2.2. Effet du facteur Voisinage

Les résultats ont également montré un effet simple du facteur Voisinage (Figure 15). Les scores étaient globalement plus élevés pour les mots possédant peu de voisins phonologiques que pour ceux qui en possèdent beaucoup. Pour des inversions croissantes nous avons obtenu respectivement 97.75 %, 86.58 %, 47.67 %, 2.58 % et 1.33 % de restitution pour les mots possédant peu de voisins contre 98.17 %, 77.92 %, 45.33 %, 2.42 % et 2.5 % pour les mots possédant beaucoup de voisins. L'analyse de la variance a montré un effet simple significatif du Voisinage par sujets ($F(1, 49) = 14.65$; $p < .001$) et un effet marginal par items ($F(1, 118) = 3.53$; $p = .06$).

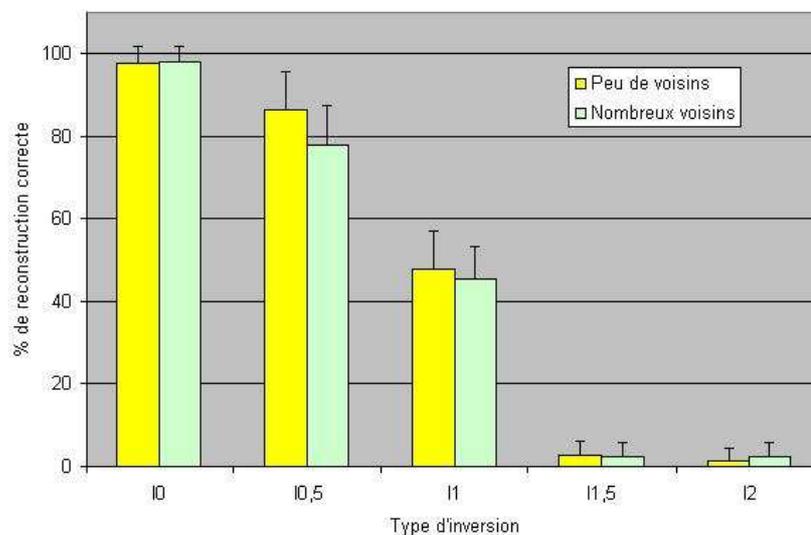


Figure 15 : Effet du nombre de voisins phonologiques des mots sur leur reconstruction pour chaque type d'inversion chez les participants dyslexiques

Nous avons observé une interaction entre les facteurs Inversion et Voisinage significative par sujets : ($F(4, 196) = 14.95$; $p < .0001$) et par items : ($F(4, 472) = 4.16$; $p < .01$). Des comparaisons spécifiques ont montré que l'effet du Voisinage était significatif pour la condition $I_{0,5}$ seulement ($F(1, 49) = 31.96$; $p < .0001$), qu'il ne l'était pas pour les

conditions I_0 ($F1(1, 49) < 1$) ; I_1 ($F1(1, 49) = 2.76$; n.s.) et $I_{1,5}$ ($F1(1, 49) < 1$) et qu'il était marginal pour la condition I_2 ($F1(1, 49) = 3.69$; $p = .06$).

C.2.3.2.3. *Interactions doubles et triples*

Nous avons également obtenu une interaction significative entre les facteurs Fréquence et Voisinage par sujets ($F1(1, 49) = 7.58$; $p < .01$), et par items ($F2(3, 116) = 3.74$; $p < .05$) ; et une interaction triple entre les facteurs Inversion, Fréquence et Voisinage par sujets ($F1(4, 196) = 8.1$; $p < .0001$) et par items ($F2(12, 464) = 2.52$; $p < .01$). En dissociant les cinq types d'inversion, il apparaît que l'interaction Fréquence-Voisinage était significative par sujets pour la condition I_1 ($F1(1, 49) = 16$; $p < .001$) alors qu'elle ne l'était pas pour toutes les autres conditions I_0 ($F1(1, 49) < 1$) ; $I_{0,5}$ ($F1(1, 49) < 1$) ; $I_{1,5}$ ($F1(1, 49) = 3.43$; n.s.) et I_2 ($F1(1, 49) < 1$). L'interaction présente pour I_1 révélait que les mots possédant beaucoup de voisins étaient reconstruits de la même façon, quelle que soit leur fréquence (pas de différence de reconstruction entre les mots fréquents et peu fréquents pour les mots possédant beaucoup de voisins : $F1(1, 49) = 3.58$; n.s.), en revanche, parmi les mots possédant peu de voisins, les plus fréquents étaient mieux reconstruits que les moins fréquents ($F1(1, 49) = 24.71$; $p < .0001$).

C.2.4. Résumé des résultats obtenus

L'expérience 2a a montré plusieurs résultats significatifs. Nous avons observé une perte d'intelligibilité avec l'augmentation de la quantité d'information inversée, un effet du facteur Fréquence des mots cibles (les mots très fréquents étaient mieux restitués que les mots peu fréquents), un effet du facteur Voisinage des mots cibles (les mots cibles possédant peu de voisins étaient mieux restitués que ceux possédant beaucoup de voisins) et une interaction entre les facteurs Fréquence et Voisinage significative pour la condition I_1 indiquant que les mots fréquents étaient mieux reconstruits que les peu fréquents mais seulement s'ils appartenaient à la classe de mots possédant peu de voisins (pour les mots possédant beaucoup de voisins, leur taux de reconstruction ne dépendait pas de leur fréquence). Nous allons à présent décrire les résultats obtenus pour la restitution des pseudomots.

C.3. Expérience 2b : effet de l'inversion du signal de parole sur la reconstruction cognitive de pseudomots chez l'adulte dyslexique normo-entendant

C.3.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 2b était en tout point identique à l'expérience 2a excepté le fait que les stimuli expérimentaux utilisés étaient des pseudomots (cf. annexe 1). L'expérience 2b avait donc pour but de mesurer l'intelligibilité de pseudomots isolés inversés localement chez des participants dyslexiques. Cent-vingt pseudomots étaient présentés auditivement aux participants qui devaient répéter à voix haute ce qu'ils avaient entendu. Comme dans les expériences 1a, 1b et 2a, cinq conditions de présentation ont été utilisées en inversant le signal sur des segments de différentes longueurs (aucune inversion, une demi-syllabe, une syllabe, une syllabe et demi et deux syllabes).

C.3.2. Méthode

C.3.2.1. Stimuli

Les stimuli utilisés dans l'expérience 2b étaient identiques à ceux utilisés dans l'expérience 1b (voir Partie B. pour le détail de la sélection et de la préparation des stimuli).

C.3.2.2. Procédure expérimentale

Les conditions expérimentales étaient exactement identiques à celles de l'expérience 1b. Les participants entendaient les stimuli un à un et devaient répéter à voix haute ce qu'ils avaient entendu. Ils étaient informés par la consigne (cf. annexe 3) qu'il s'agissait de pseudomots et l'expérimentateur expliquait si nécessaire ce qu'était un pseudomot.

C.3.2.3. Participants

Les 50 participants dyslexiques ayant participé à l'expérience 2a ont participé également à l'expérience 2b. Tous les participants ont été testés individuellement. La moitié des participants a commencé par l'expérience sur les mots et l'autre moitié par l'expérience sur les pseudomots. Une pause était effectuée entre les deux expériences. La session durait environ 50 minutes au total.

C.3.2.4. Plan expérimental

Le plan expérimental pour l'expérience 2b était le suivant : $D_{50} * P_{24} < I_5 >$.

Avec :

D : Les participants Dyslexiques au nombre de 50

P : Les Pseudomots présentés au nombre de 24 par Inversion

I : La variable Inversion à cinq niveaux : I_0 , $I_{0.5}$, I_1 , $I_{1.5}$ et I_2

La seule VI entrant en jeu était l'Inversion. La VD correspondait aux pourcentages de reconstruction correcte des participants dyslexiques.

C.3.3. Résultats

C.3.3.1. Effet de l'inversion sur la reconstruction des pseudomots

Les moyennes des pourcentages de restitution correcte des pseudomots ont montré un effet simple du facteur Inversion (Figure 16). Les scores obtenus diminuaient lorsque l'inversion augmentait. En moyenne, la condition I_0 occasionnait 91.38 % de restitution correcte (DS = 6.21), la condition $I_{0.5}$, 67.88 % (DS = 10.24), la condition I_1 , 44.29 % (DS = 5.25), la condition $I_{1.5}$, 3.13 % (DS = 2.95) et la condition I_2 , 1.92 % (DS = 2.1). L'analyse de la variance a fait ressortir un effet global significatif du facteur Inversion par sujets ($F(4, 49) = 2353.47$; $p < .0001$) et par items ($F(4, 119) = 1455.76$; $p < .0001$).

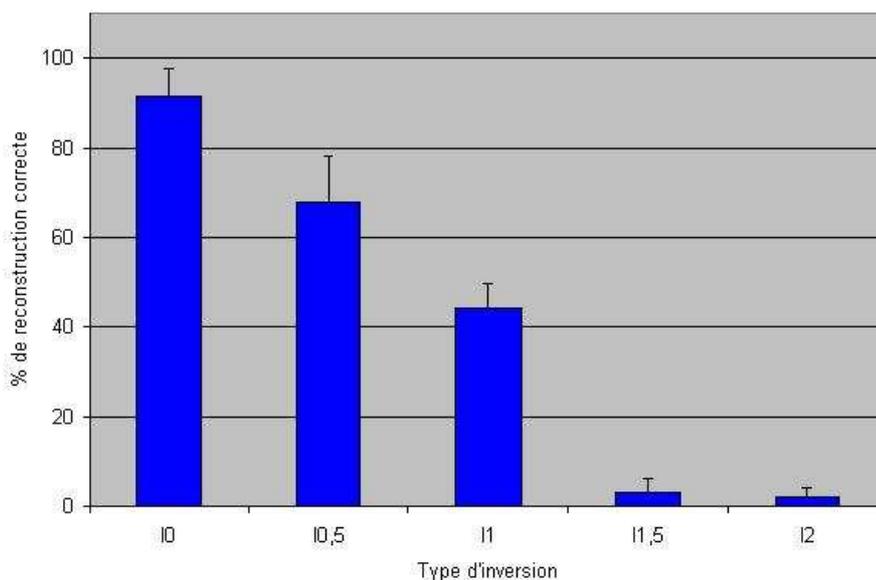


Figure 16 : Effet du type d'inversion sur la restitution de pseudomots chez les dyslexiques

Nous avons effectué des comparaisons spécifiques qui montraient que les moyennes de performances étaient significativement différentes entre les conditions I_0 et $I_{0.5}$: $F(1, 49) = 244.6$; $p < .0001$; $I_{0.5}$ et I_1 : $F(1, 49) = 265.87$; $p < .0001$; I_1 et $I_{1.5}$: $F(1, 49) = 2047.8$; $p < .0001$ et $I_{1.5}$ et I_2 : $F(1, 49) = 5.48$; $p < .05$.

C.3.4. Résumé des résultats obtenus

L'expérience 2b nous a montré une perte d'intelligibilité avec l'augmentation de la quantité d'information inversée. Les résultats ont indiqué que malgré la distorsion acoustique, les participants dyslexiques parvenaient à reconstruire le signal d'origine. Nous allons à présent comparer la reconstruction des mots avec celle des pseudomots chez les dyslexiques.

C.4. Comparaison des Expériences 2a et 2b

Nous avons comparé les performances de restitution des mots avec celles des pseudomots chez les adultes dyslexiques. Les scores globaux de reconstruction pour les deux types d'items confondus étaient de 94.67 % pour la condition I_0 ; 75.06 % pour $I_{0.5}$; 45.4 % pour I_1 ; 2.81 % pour $I_{1.5}$ et 1.52 % pour I_2 . Globalement, pour l'ensemble des items, l'intelligibilité diminuait lorsque la quantité d'information inversée augmentait. Nous avons observé un effet significatif du facteur Inversion ($F(4, 49) = 6513.1$; $p < .0001$).

Afin d'effectuer une comparaison statistique des résultats obtenus dans les expériences 2a et 2b, nous avons introduit un nouveau facteur : le facteur Type d'item à deux niveaux (mots vs pseudomots) puis nous avons comparé les taux de reconstruction obtenus pour les mots et les pseudomots (Figure 17).

D'une façon générale, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots ($F(1, 49) = 61.56$; $p < .0001$), mais l'interaction de second niveau entre les facteurs Type d'items et Inversion était significative : ($F(4, 196) = 35.58$, $p < .0001$). Nous avons observé une différence de reconstruction significative entre mots et pseudomots pour les conditions I_0 ($F(1, 49) = 61.06$; $p < .0001$) et $I_{0.5}$ ($F(1, 49) = 69.4$; $p < .0001$), mais pas pour les conditions I_1 ($F(1, 49) = 2.9$; n.s.) ; $I_{1.5}$ ($F(1, 49) < 1$) ni I_2 ($F(1, 49) < 1$).

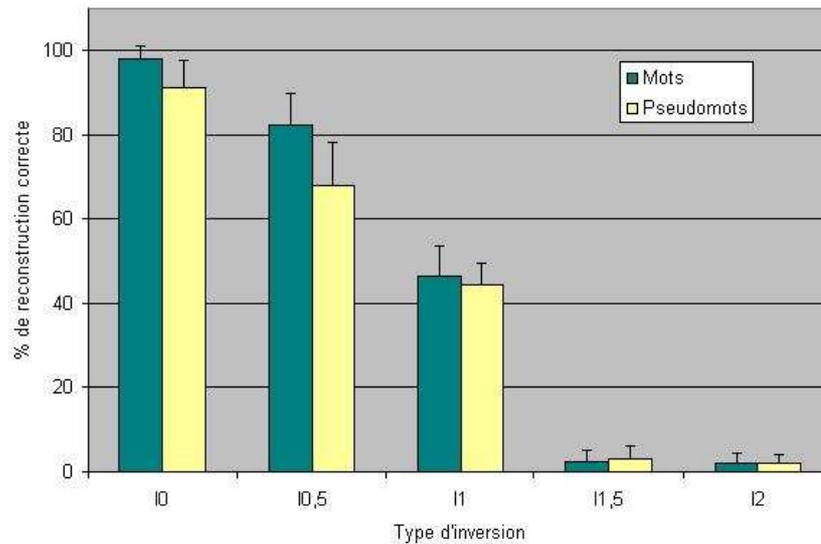


Figure 17 : Effet du type d'inversion sur le pourcentage de restitution correcte pour les mots et les pseudomots chez les dyslexiques

Dans leur ensemble, les expériences 2a et 2b ont montré une capacité des participants dyslexiques à reconstruire de la parole inversée. Nous avons également observé un effet lexical, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots mais seulement pour les conditions I₀ et I_{0.5}. Nous allons à présent discuter l'ensemble des résultats obtenus pour les participants normo-lecteurs et pour les participants dyslexiques.

C.5. Discussion

C.5.1. Comparaison des performances des participants normo-lecteurs et des participants dyslexiques

C.5.1.1. Performances de reconstruction

Nous avons comparé les performances de reconstruction des participants dyslexiques (expériences 2a et 2b) à celles des participants normo-lecteurs (expériences 1a et 1b). Nous avons introduit un nouveau facteur, à savoir le Type de participant, dans nos analyses. En moyenne, les normo-lecteurs obtenaient de meilleures performances que les dyslexiques ($F(1, 98) = 33.98$; $p < .0001$). Les différences de pourcentages de reconstruction variaient entre 0 % et 5.4 % selon le type d'inversion considéré. Pour des inversions croissantes les normo-lecteurs obtenaient des scores de 97.29 %, 79.65 %, 50.81 %, 2.88 % et 1.81 % de reconstruction correcte et les dyslexiques des scores de 94.67 %, 75.06 %, 45.4 %, 2.81 % et 1.92 % (Figure 18).

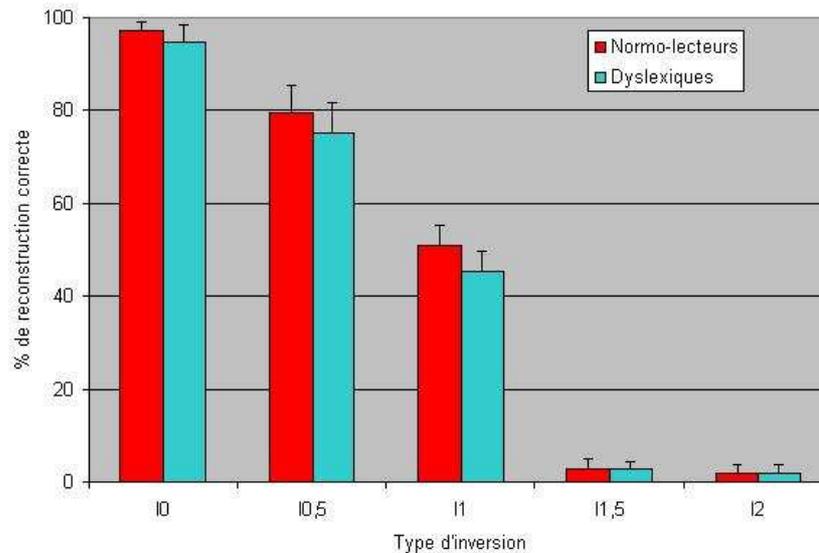


Figure 18 : Effet du type d'inversion sur le pourcentage de reconstruction correcte de mots et de pseudomots chez les dyslexiques et les normo-lecteurs

Nous avons observé une interaction significative entre le Type de participant et l'Inversion ($F(4, 392) = 12.57$; $p < .0001$). Des comparaisons spécifiques ont montré que les performances étaient significativement différentes entre dyslexiques et normo-lecteurs pour les inversions I_0 ($F(1, 98) = 18.48$; $p < .0001$), $I_{0.5}$ ($F(1, 98) = 13.27$; $p < .001$) et I_1 ($F(1, 98) = 39.27$; $p < .0001$), mais pas pour les inversions $I_{1.5}$ ($F(1, 98) < 1$; n.s.) et I_2 ($F(1, 98) < 1$; n.s.).

Globalement, les scores de reconstruction des normo-lecteurs étaient supérieurs à ceux des dyslexiques quel que soit le type d'item (pour les conditions I_0 , $I_{0.5}$ et I_1). Pour la condition $I_{0.5}$ par exemple, les normo-lecteurs reconstruisaient les items à 79.65 % contre 75.06 % pour les dyslexiques. Cela montre qu'à distorsion égale, les dyslexiques étaient plus perturbés que les normo-lecteurs pour effectuer la tâche. Pour la condition I_1 , les scores de reconstruction se situaient au dessus de 50 % pour les normo-lecteurs, ce qui signifie qu'ils parvenaient parfois à reconstruire cette première syllabe même si elle était entièrement distordue. Pour cette même condition, les dyslexiques ont obtenu un score de 45.4 % ce qui signifie que la première syllabe en moyenne n'était pratiquement jamais reconstruite, de plus il arrivait que la deuxième syllabe ne soit pas non plus rapportée, bien qu'elle ne fut pas dégradée. Au-delà d'une syllabe dégradée, les scores de restitution ne variaient pas significativement entre dyslexiques et normo-lecteurs, les performances s'effondraient (en dessous de 3 % pour les deux catégories de participants) ce qui montre qu'au-delà d'une syllabe dégradée, il n'était pas possible de reconstruire l'item, ni même la deuxième syllabe qui n'était pourtant que

partiellement dégradée. Cet effet montre le rôle important de la syllabe pour les processus de compréhension de la parole en français à la fois pour les systèmes cognitifs normo-lecteurs et dyslexiques.

C.5.1.2. Comparaison des performances de reconstruction pour les mots et les pseudomots

Pour la condition I_1 (une syllabe inversée), nous avons observé que les participants dyslexiques, en moyenne, ne reconstruisaient pas la première syllabe que ce soit pour les mots (46.5 % de reconstruction) ou pour les pseudomots (44.3 % de reconstruction). En revanche, les normo-lecteurs présentaient une différence importante de reconstruction entre mots et pseudomots toujours pour cette condition I_1 . Ils reconstruisaient les mots à 54.2 % et les pseudomots à 47.5 %. Cela montre qu'en moyenne, les participants normo-lecteurs parvenaient parfois à reconstruire la première syllabe des mots bien qu'elle fut dégradée (et donc le mot entier était reconstruit), alors qu'ils n'y parvenaient pas pour les pseudomots (comme les dyslexiques). Cette différence de taux de reconstruction entre mots et pseudomots était significative chez les normo-lecteurs ($F(1, 49) = 2.69$; $p < .01$) alors qu'elle ne l'était pas chez les dyslexiques ($F(1, 49) = 2.9$; n.s.). Cela pourrait montrer que les effets lexicaux qui aident les recherches lexicales et la reconstruction des mots, ne se déroulent pas de la même manière chez les dyslexiques et chez les normo-lecteurs. Il semblerait que les normo-lecteurs tirent un avantage plus important des connaissances lexicales stockées dans le lexique mental que les dyslexiques.

C.5.1.3. Effets psycholinguistiques

Concernant les effets psycholinguistiques (effet de Fréquence et de Voisinage des mots), on remarque que ces effets étaient bien présents chez les dyslexiques comme chez les normo-lecteurs. Cependant on peut remarquer des différences, le facteur Fréquence n'interagissait pas avec le facteur Type d'inversion chez les normo-lecteurs alors que l'interaction était significative chez les dyslexiques. En effet, pour les dyslexiques on observait que l'effet du facteur Fréquence était significatif (les mots fréquents étaient mieux restitués) pour toutes les conditions sauf pour la condition I_0 . Ce résultat indique que pour les dyslexiques, lorsque les mots n'étaient pas détériorés, leur fréquence n'avait pas d'impact sur leur répétition. Les scores de répétition étaient d'environ 98 %, que les mots soient fréquents ou peu fréquents.

Concernant le facteur Voisinage, nous avons observé une interaction significative pour les normo-lecteurs et les dyslexiques entre les facteurs Voisinage et Type d'inversion. Chez les normo-lecteurs, le facteur Voisinage avait un impact sur les taux de restitution des conditions $I_{0,5}$ et I_1 (les mots possédant moins de voisins étaient mieux restitués) et chez les dyslexiques, le facteur Voisinage avait un impact sur les taux de restitution de la condition $I_{0,5}$ seulement.

Ces résultats indiquent que les dyslexiques sont sensibles aux facteurs psycholinguistiques que sont la Fréquence d'occurrence et le Voisinage, cependant pas de la même manière que les normo-lecteurs. La fréquence d'occurrence des mots dans la langue semble être un paramètre qu'ils prennent en compte pour reconstruire les mots dans notre expérience mais seulement lorsque l'entrée sensorielle est dégradée. Concernant le facteur Voisinage, le nombre de voisins phonologiques influence leur restitution mais seulement dans la condition $I_{0,5}$, condition dans laquelle ils parviennent à reconstruire les mots cibles. En comparaison, les normo-lecteurs présentent un effet du facteur Voisinage pour la condition $I_{0,5}$ mais également pour la condition I_1 . L'effet de voisinage pour la condition I_1 que nous observons chez les normo-lecteurs mais pas chez les dyslexiques confirme la différence de scores de restitution entre les deux types de participant puisque pour cette condition I_1 , les normo-lecteurs parviennent parfois à reconstruire les mots (et présentent un effet du nombre de voisins) alors que les dyslexiques n'y parviennent pas (et ne présentent pas d'effet du nombre de voisins).

Il apparaît donc que les dyslexiques mettent en jeu les mécanismes de hauts niveaux pour les aider à comprendre la parole dégradée, dans une moindre mesure cependant, puisque leurs performances étaient moins élevées que celles des normo-lecteurs. D'autres études seront nécessaires pour mieux caractériser l'utilisation des connaissances lexicales par les dyslexiques. Venons-en à présent à la variabilité interindividuelle observée chez les dyslexiques.

C.5.1.4. Variabilité interindividuelle

On observe une importante variabilité interindividuelle chez les participants dyslexiques. Contrairement aux participants normaux pour lesquels la variabilité était perceptible uniquement pour la condition $I_{0,5}$ pour les pseudomots, on note que les dyslexiques présentent une variabilité interindividuelle pour les conditions I_0 , $I_{0,5}$ et I_1 et cela à la fois pour les mots et les pseudomots (Figure 19). L'importance de la variabilité interindividuelle chez les dyslexiques, et le fait qu'elle apparaisse dans plusieurs conditions

pour les mots et les pseudomots, rend difficile l'interprétation des résultats. De plus, il faut noter que les 50 participants dyslexiques testés provenaient de tous horizons, de tous milieux socioculturels et présentaient chacun un profil de troubles particulier.

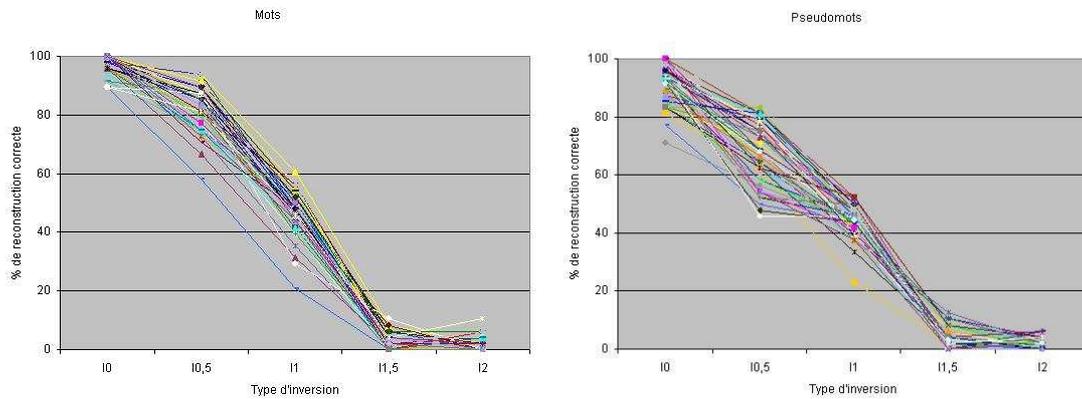


Figure 19 : Effet du type d'inversion sur la restitution des mots et des pseudomots chez les dyslexiques. Chaque courbe représente les résultats individuels d'un participant

Des travaux antérieurs ayant montré un dysfonctionnement des voies auditives descendantes chez des enfants souffrant de troubles de l'apprentissage (Veuillet, *et al.* 1999), nous avons pensé qu'il était intéressant de tester la présence ou non de troubles au niveau du système auditif efférent pour les participants dyslexiques. Nous avons donc pratiqué des mesures auditives chez les participants dyslexiques. Afin de limiter la variabilité entre participants dyslexiques, nous avons constitué un groupe homogène de participants dyslexiques par rapport aux critères de latéralité manuelle, de seuils auditifs et de tranche d'âge. Dix-huit participants dyslexiques ont été sélectionnés pour les tests d'audition et ont été appariés en âge, en genre et en latéralité manuelle à 18 participants témoins. Nous présenterons les résultats des tests auditifs dans la partie D.

D. MESURES AUDITIVES CHEZ LE SUJET SAIN NORMO-ENTENDANT ET CHEZ LE SUJET DYSLEXIQUE

D.1. Introduction

Nous nous intéressons dans cette partie au fonctionnement du système auditif des participants sains et dyslexiques. En effet, la compréhension du message parlé repose avant tout sur la perception des informations sensorielles par notre système auditif. Ces informations « remontent » jusqu'au système langagier et sont ensuite analysées par le système cognitif afin d'aboutir à la compréhension du message verbal. Comme nous l'avons vu dans le Chapitre I., le système auditif humain est composé de voies auditives ascendantes et de voies auditives descendantes. Les mesures auditives que nous avons pratiquées nous permettent d'une part, de vérifier le bon fonctionnement des voies auditives ascendantes des participants et d'autre part, de mesurer la fonctionnalité de leurs voies auditives descendantes (dont on sait qu'elles sont sujettes à une importante variabilité interindividuelle).

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats des tests auditifs cliniques que nous avons pratiqués sur les participants à nos études (normo-lecteurs et dyslexiques). Dans un second temps, nous mettrons en relation les résultats des tests auditifs avec les performances de compréhension de la parole inversée. Nous confronterons plus loin (Chapitre III.) les mesures auditives aux performances de compréhension de la parole dans la parole. Par souci de concision, nous détaillerons les tests auditifs uniquement dans cette partie. Par la suite, chaque mention aux tests auditifs fera référence aux mesures décrites ici.

D.2. Descriptif des tests auditifs pratiqués

Les tests auditifs ont été pratiqués au pavillon d'ORL de l'Hôpital Édouard Herriot à Lyon. Les explorations fonctionnelles du système efférent ont été réalisées par le Dr Evelyne Veillet. L'ensemble des tests durait entre 1h et 1h30. Les participants ont été dédommagés pour leur participation.

D.2.1. Déroulement et aspects techniques des tests

Les mesures auditives comprenaient la vérification du fonctionnement du système auditif périphérique par une audiométrie tonale dans le silence et une tympanométrie, des tests de compréhension de signaux complexes dans le bruit à l'aide de vocales au casque et en champ libre et enfin, des mesures de système efférent.

D.2.1.1. Audiométrie tonale

D.2.1.1.1. *Méthode*

Les mesures audiométriques tonales permettent de vérifier la fonctionnalité du système auditif périphérique en établissant une mesure quantitative du niveau d'audition pour chaque oreille. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un audiomètre clinique à deux voies de type Interacoustics AC 40 ou AC 33 et d'un casque Telephonics TDH 39P.

D.2.1.1.2. *Procédure*

Cette procédure d'audiométrie est celle utilisée conventionnellement pour les tests d'audiométrie clinique. Le participant place le casque sur ses oreilles, prend un bouton poussoir en main et tourne le dos à l'expérimentateur. Chaque oreille est testée séparément. L'expérimentateur envoie dans l'une des deux oreilles un stimulus sonore calibré en fréquence et d'une intensité rendant la perception aisée dans le silence (par exemple à 50 dB). Le participant doit appuyer sur le bouton réponse dès qu'il entend quelque chose dans le casque. L'expérimentateur est averti par un signal lumineux qui apparaît sur la façade de l'audiomètre. Ensuite, tout en restant à la même fréquence, l'expérimentateur diminue l'intensité de stimulation par pas de 10 dB puis de 5 dB pour arriver jusqu'au seuil de perception de l'oreille testée. Lorsque le participant ne répond plus, cela signifie que le stimulus n'est pas perçu, l'expérimentateur doit donc remonter très finement de quelques décibels jusqu'à obtenir à nouveau une réponse. Le premier stimulus à nouveau perçu détermine l'intensité minimale de détection auditive pour cette fréquence précise. Ce résultat est noté puis l'expérimentateur renouvelle l'opération pour toutes les fréquences à tester. Pour notre étude, nous avons relevé les seuils auditifs des participants aux fréquences suivantes : 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 KHz, 2 KHz, 4 KHz et 8 KHz. Les résultats sont reportés dans une grille appelée audiogramme (Figure 20) présentant en ordonnée les intensités de stimulation et en abscisse les fréquences testées.

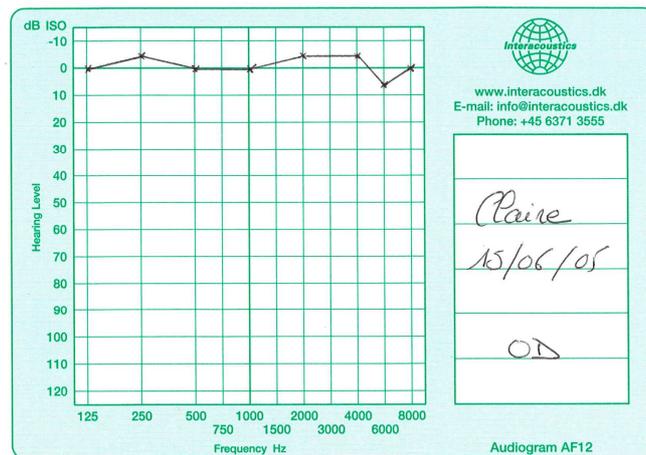


Figure 20 : Audiogramme des seuils d'audition d'un participant (oreille droite)

Ne sont reportés que les seuils d'audition (c'est-à-dire la plus faible intensité perçue pour chaque fréquence). En reliant les seuils entre eux, on obtient la courbe du participant correspondant à ses seuils d'audition pour l'oreille testée. On renouvelle ensuite la procédure sur la seconde oreille. Chez un sujet de moins de 30 ans, une audition normale dans le silence correspond à des seuils inférieurs à 20 dB entre 125 Hz et 8 KHz sur les deux oreilles.

D.2.1.2. Tympanométrie

La tympanométrie est un examen qui permet de mesurer la souplesse du tympan et la présence du réflexe stapédien (contraction du muscle de l'étrier de l'oreille moyenne) qui protège l'oreille interne en cas de surstimulation acoustique. Le réflexe stapédien apparaît aux alentours de 75 dB en moyenne.

D.2.1.2.1. Méthode

Nous avons effectué les mesures à l'aide d'un analyseur d'oreille moyenne Grason Stadler GSI33. Il s'agit de faire varier la pression à l'intérieur du conduit auditif externe par l'intermédiaire de l'appareil qui comprend un casque muni d'une sonde avec un bouchon permettant de fermer hermétiquement le conduit auditif.

D.2.1.2.2. Procédure

Chaque oreille est testée séparément. L'appareil mesure la façon dont le tympan réagit à la variation de pression dans le conduit auditif. Le tympanogramme (Figure 21) représente la *compliance* (souplesse) de la membrane du tympan en fonction de la pression appliquée.

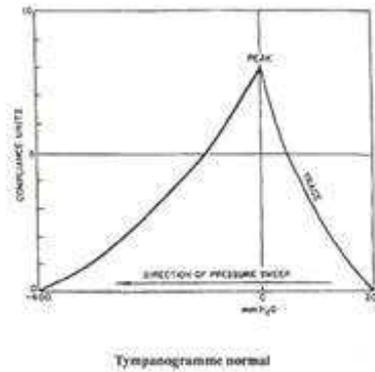


Figure 21 : Tympanogramme normal

Le pic correspond à la souplesse maximale du tympan et doit apparaître lorsque la pression est la même de part et d'autre de la membrane. Si le pic est décalé, cela signifie que le tympan présente une anomalie pouvant être due à des causes multiples (infections, otites, etc.). Nous nous sommes assurés de cette façon du bon fonctionnement des oreilles moyennes de tous les participants testés auditivement. Les examens tympanométriques ont montré qu'aucun des participants ne possédait d'antécédent de pathologie auditive et que tous avaient un réflexe stapédien supérieur ou égal à 65 dB HL.

D.2.1.3. Audiométrie vocale

Nous avons ensuite pratiqué des tests d'audiométrie vocale dans le bruit. Les mesures audiométriques vocales fournissent une mesure qualitative de l'audition. Le système auditif efférent étant supposé être activé dans le bruit (Giraud, *et al.*, 1997), nous avons souhaité évaluer par différentes techniques audiométriques les performances de perception de parole dans le bruit des participants. Ces vocales ont été réalisées à l'aide d'un enregistrement des listes de Lafon diffusé par une platine laser connectée à l'audiomètre. Il s'agit de listes de mots monosyllabiques énoncés par une voix masculine que le participant doit écouter et répéter mot à mot.

D.2.1.3.1. *Vocales au casque*

Les vocales ont été pratiquées dans le silence (signal à 50 dB ce qui correspondait à 100 % d'intelligibilité pour tous les participants) puis dans un bruit ipsilatéral d'intensité variable délivré par l'audiomètre. L'expérimentateur réglait l'intensité des mots cibles et celle du bruit de fond. Les stimuli sonores (mots + bruit ipsilatéral) étaient diffusés dans le casque¹¹

¹¹ Telephonics TDH 39P

dans une seule oreille. Dans un ordre aléatoire, nous avons testé sept intensités de bruit ipsilatéral variant entre 41 dB et 59 dB par pas de 3 dB. Au final, nous avons testé sept rapports Signal/Bruit (RS/B) : 50/41, 50/44, 50/47, 50/50, 50/53, 50/56 et 50/59. Les deux oreilles ont été testées séparément. La procédure est la suivante : le participant place le casque sur ses oreilles et répète dans le micro les mots qu'il a entendus. Au total 23 listes de 17 mots ont été utilisées dans un ordre aléatoire. L'expérimentateur note au fur et à mesure les mots ou phonèmes correctement restitués et obtient directement à la fin du test le pourcentage d'intelligibilité correspondant au RS/B testé. On obtient au final un pourcentage de phonèmes correctement restitués pour chaque RS/B, dans chaque oreille pour chaque participant.

D.2.1.3.2. Vocales en champ libre

Nous avons également testé les deux oreilles simultanément à l'aide d'une procédure d'audiométrie vocale dans le bruit en champ libre. Cette procédure est censée différencier les participants à l'aise pour comprendre de la parole dans le bruit des participants gênés par le bruit (Elbaz, Leca, Elbaz & Miller, 1992). Cinq RS/B ont été testés : 50/55, 50/60, 50/65, 50/70 et 50/75. Pour chaque rapport, nous avons calculé le pourcentage de phonèmes correctement perçus dans chaque oreille pour chaque participant. Ces tests nous permettent de construire, pour chaque participant, une courbe de perte d'intelligibilité en fonction du rapport Signal/Bruit.

D.2.1.4. Mesures de système efférent

La force de suppression des systèmes efférents (voie non croisée) des participants a également été mesurée. Comme nous l'avons vu au Chapitre I., la fonctionnalité du SEOCM peut être évaluée de façon non invasive par l'enregistrement des otoémissions acoustiques, sons produits par les cellules ciliées externes de la cochlée (Kemp, 1978).

D.2.1.4.1. Méthode

Les otoémissions sont provoquées par une série de clics produits dans le conduit auditif externe ipsilatéral par un haut-parleur miniaturisé et enregistrées par un microphone. Le microphone et le haut-parleur sont montés sur une même sonde placée dans le conduit auditif externe (Figure 22).

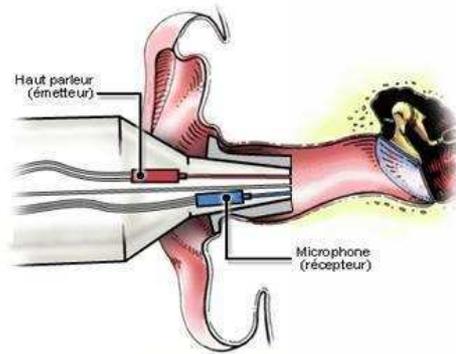


Figure 22 : Schéma d'une sonde intra-auriculaire¹²

L'utilisation des OEA provoquées et la mesure de leur suppression par le SEOCM fournit un moyen d'évaluer la fonctionnalité des voies auditives et des mécanismes inhibiteurs des voies auditives descendantes. L'amplitude des OEAP diminue lorsqu'une stimulation acoustique d'une certaine intensité est appliquée dans l'oreille controlatérale (Collet, *et al.*, 1990 ; Veuille, *et al.*, 1991). Les OEAP ont été enregistrées selon la méthode de Bray et Kemp (1987) décrite dans le Chapitre I. à l'aide du système Otodynamics Analyser ILO88 (V3.92) (Figure 23).



Figure 23 : Visualisation des réponses cochléaires à l'aide du système Otodynamics Analyser ILO88

D.2.1.4.2. Procédure

Tout d'abord, les OEA provoquées par un clic non filtré à 80 +/- 3 dB sont mesurées dans les deux oreilles par une procédure non-linéaire pour évaluer l'amplitude et la qualité spectrale de la réponse. Ensuite, pour la phase de test, la procédure est linéaire et les stimuli sont constitués de trois stimulations de la même taille et d'une quatrième plus importante et inversée en polarité. Cela permet d'enregistrer une réponse résiduelle non-linéaire qui provient uniquement de la cochlée et non de l'oreille moyenne (Veuille, *et al.*, 1999). La

¹² Dessin de S. Blatrix, extrait du site "Promenade autour de la cochlée" <http://www.cochlee.info/> par Pujol, Blatrix, & Pujol (1999). Montpellier.

sonde miniaturisée est placée dans le conduit auditif externe du participant qui a pour consigne de ne rien faire (mais de ne pas s'endormir !). Le haut-parleur délivre les clics (pulsations électriques rectangulaires durant 80 μ s à une fréquence de 50 Hz). Le microphone enregistre les réponses dans une fenêtre temporelle allant de 3.2 ms à 20 ms après l'émission des clics. Les OEAP sont enregistrées avec et sans bruit controlatéral pour cinq intensités de stimulation différentes déterminées par le seuil auditif du participant. Les intensités des stimuli étaient sélectionnées entre 54 et 72 dB parmi les intensités possibles différentes de 3 dB les unes des autres (54, 57, 60, 63, 66, 69 ou 72 dB). Ces intensités sont choisies entre le seuil d'apparition et l'amplitude de saturation des OEAP. L'ordre de présentation des cinq intensités était aléatoire et différent pour chaque oreille. L'oreille controlatérale était stimulée avec un bruit de parole présenté 30 dB SL au-dessus du seuil auditif du participant. Les réponses ont été filtrées entre 500 Hz et 6000 Hz. Nous avons calculé la suppression controlatérale des OEAP dans chaque oreille, l'atténuation équivalente (AE) et le quotient de latéralité (QL) pour chaque participant. L'AE (en dB) correspond à la variation d'intensité du clic ipsilatéral qui provoquerait une réduction d'amplitude des OEAP équivalente à celle causée par la présence d'une stimulation acoustique controlatérale. Le QL correspond à la différence d'AE entre les deux oreilles (voir Veillet, *et al.*, 1999 pour une explication détaillée de la technique d'enregistrement). Une valeur positive indique une prévalence de l'oreille gauche, une valeur négative indique que le système efférent droit est plus inhibiteur que le gauche.

D.2.2. Participants aux tests auditifs

Les tests auditifs n'ont pas été appliqués à la totalité des participants ayant passé les tests comportementaux. 20 participants sélectionnés pour leurs performances de reconstruction de la parole inversée ont passé les tests auditifs, ainsi que 18 patients dyslexiques et leurs 18 témoins appariés. Les résultats auditifs des patients dyslexiques et de leurs témoins seront confrontés aux performances de reconstruction de parole inversée dans cette partie, et aux résultats obtenus en parole dans la parole dans le Chapitre III. Avant cela, nous allons présenter, les résultats auditifs des 20 participants sélectionnés et les discuter à la lumière des performances obtenues pour la reconstruction de la parole inversée.

D.3. Mesures auditives chez le sujet sain normo-entendant

D.3.1. Participants

Deux groupes de 10 participants chacun ont été sélectionnés à partir de leurs performances de reconstruction de la parole inversée (expérience 1b), plus précisément à partir de leurs performances de reconstruction des pseudomots en condition $I_{0,5}$. Pour rappel, cette condition présentait une très large variabilité interindividuelle des pourcentages de reconstruction (Figure 24).

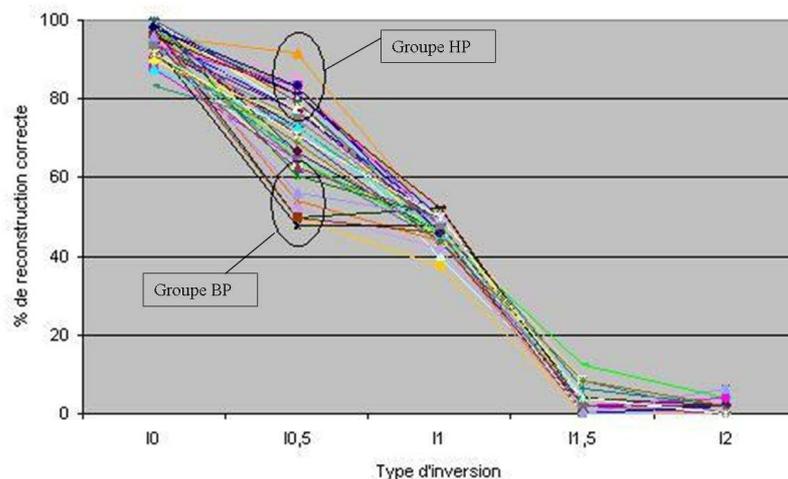


Figure 24 : Variabilité interindividuelle observée pour la reconstruction de pseudomots en condition $I_{0,5}$

Le groupe HP (Hautes Performances) était composé des 10 participants (5 hommes, 5 femmes) ayant obtenu les meilleures performances de reconstruction dans cette condition ($M = 83,3\%$). Le groupe BP (Basses performances) était composé des 10 participants (5 hommes, 5 femmes) ayant obtenu les moins bonnes performances de reconstruction pour cette condition ($M = 50\%$). Aucun des participants n'avait d'antécédent de troubles d'audition ni de troubles du langage et tous étaient droitiers à plus de 80 % d'après le test d'Edinburgh (Oldfield, 1971). Tous étaient volontaires, et ont été dédommagés pour leur participation.

D.3.2. Résultats

Des ANOVAs à mesures répétées (logiciel StatView) ont été effectuées en prenant les sujets ($F1$) comme variable aléatoire. La VD est représentée par le pourcentage de phonèmes

restitués pour les tests d'audiométrie vocale et par le taux calculé de l'AE pour les mesures de système efférent.

D.3.2.1. Audiométrie tonale

Les 20 participants ont passé l'ensemble des tests décrits ci-dessus. Tous avaient une audition normale, c'est-à-dire des seuils inférieurs à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHz aux fréquences de l'octave. Ils avaient tous une tympanométrie normale et un réflexe stapédien présent avec un seuil supérieur à 70 dB. Les intensités utilisées pour les stimulations lors des mesures de système efférent étant inférieures ou égales à 72 dB, nous sommes assurés que ces stimulations ne déclenchaient pas de réflexe stapédien.

D.3.2.2. Audiométrie vocale

D.3.2.2.1. *Vocales au casque*

On observe qu'en moyenne, les performances de restitution des mots diminuent en fonction du RS/B (Figure 25). Les performances vont de 99 % d'intelligibilité en moyenne oreilles confondues pour le rapport 50/41 à 47 % d'intelligibilité pour le rapport 50/56.

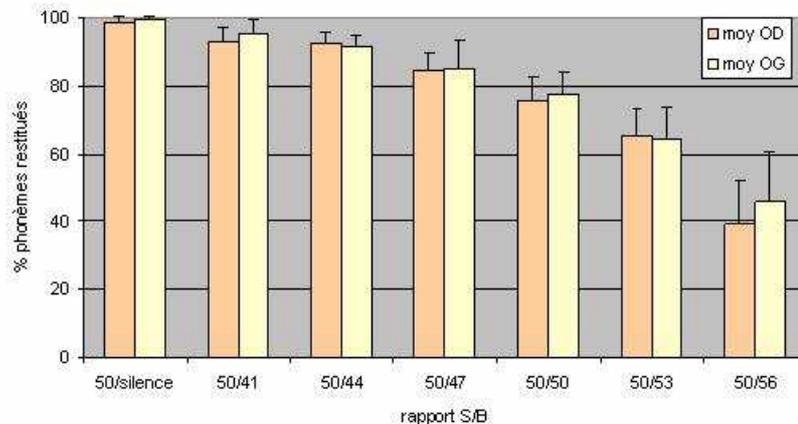


Figure 25 : Effet du RS/B sur la restitution de phonèmes au casque (oreille droite et gauche)

L'analyse statistique de la variance par sujets montre un effet significatif du RS/B : ($F(6, 114) = 418.73$; $p < .0001$). En revanche, on n'observe pas de différence entre les deux oreilles ($F(1, 18) < 1$) ni entre les groupes HP et BP ($F(1, 18) < 1$).

D.3.2.2.2. Vocales en champ libre

Comme pour les voyelles au casque, les performances des participants chutent lorsque le RS/B diminue. Les performances vont de 97 % d'intelligibilité en moyenne pour le rapport 50/55 à 4.75 % d'intelligibilité pour le rapport 50/85 (Figure 26).

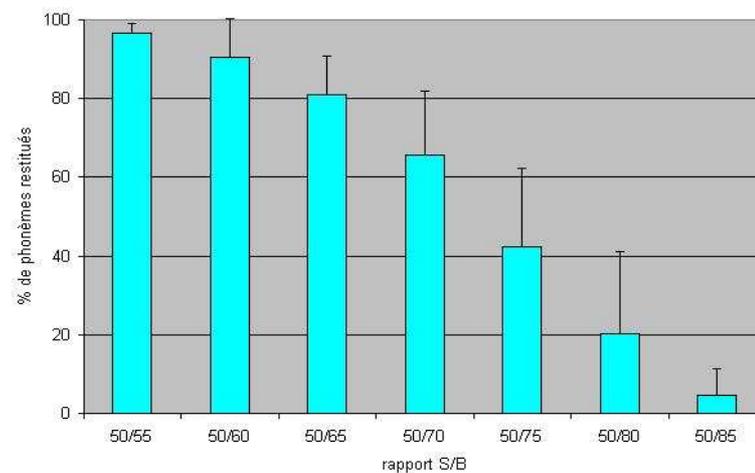


Figure 26 : Effet du RS/B sur la restitution de phonèmes en champ libre

L'analyse de la variance montre un effet significatif du RS/B : ($F(5, 45) = 363$; $p < .0001$) mais pas de différence significative de résultats entre les deux groupes ($F(1, 16) < 1$).

D.3.2.3. Système efférent

D.3.2.3.1. Atténuations équivalentes et quotients de latéralité

Globalement, pour les 20 participants, nous avons observé que l'AE de l'oreille droite était plus importante que celle de l'oreille gauche : $AE_{droite} = -2,79$ (DS = 2.13) ; $AE_{gauche} = -2,25$ (DS = 1.6), ce qui était tout à fait prévisible puisque tous les participants étaient droitiers. En moyenne, le système auditif des participants était latéralisé à droite avec un quotient de latéralité oreille droite–oreille gauche = $-0,54$ (DS = 2.02). Nous avons effectué la suite des tests en séparant les participants selon les groupes établis à partir des performances comportementales. On remarque que le Groupe HP présentait sur les deux oreilles des atténuations équivalentes plus importantes que le Groupe BP (Tableau 2). La différence d'AE sur l'oreille droite entre les deux groupes était significative ($F(1, 18) = 15.32$; $p = .001$), en revanche, les AE des oreilles gauches n'étaient pas significativement différentes entre les deux groupes ($F(1, 18) = 1.73$; n.s.).

Tableau 2: Atténuations équivalentes dans les deux oreilles et quotients de latéralité des deux groupes

	AE oreille droite		AE oreille gauche		Quotient de latéralité	
	Moyenne	Déviati Standard	Moyenne	Déviati Standard	Moyenne	Déviati Standard
Groupe HP	-4.2	1.1	-2.7	1.8	-1.5	2
Groupe BP	-1.4	2	-1.8	1.3	0.4	1.6
Valeur de F	15.32		1.73		5.37	
Valeur de p	= 0.001		= 0.2		= 0.03	

Les QL étaient en moyenne de - 1.5 pour le groupe HP et de 0.4 pour le groupe BP, ils étaient significativement différents entre les deux groupes ($F(1, 18) = 5.37 ; p < .05$). On note que le groupe HP était globalement latéralisé à droite alors que ce n'était pas le cas pour le groupe BP. La Figure 27 représente les quotients de latéralité des deux groupes.

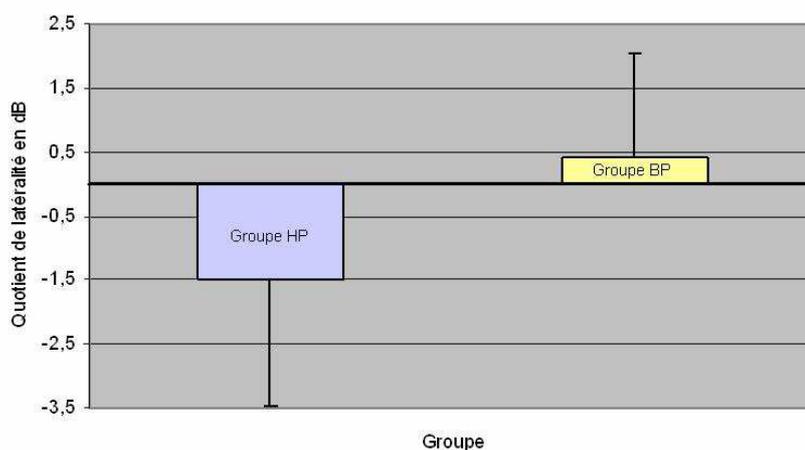


Figure 27 : Quotients de latéralité des groupes HP et BP

D.3.2.3.2. Corrélations entre AE, QL et performances de reconstruction

De plus nous avons calculé les coefficients de corrélation de Pearson entre les scores moyens de reconstruction des pseudomots dans toutes les conditions (de I_0 à I_2) et les mesures auditives (AE des deux oreilles et QL) pour l'ensemble des 20 participants. Nous avons observé une forte corrélation négative ($r = -0.70 ; p < .001$) entre le score de reconstruction global des pseudomots de chaque participant et l'AE de leur oreille droite. Bien que la corrélation entre les scores de reconstruction et les AE des oreilles gauches des participants ne fut pas significative ($r = -0.28 ; n.s.$), nous avons observé une corrélation négative significative entre les moyennes de reconstruction des pseudomots et le QL des 20 participants ($r = -0.51 ; p < .05$).

D.3.3. Résumé des résultats obtenus

Les tests d'audiométrie tonale ont montré que les participants normo-lecteurs avaient tous une audition normale (seuils d'audition inférieurs à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHz et réflexe stapédien présent avec un seuil supérieur à 70 dB). Les tests d'audiométrie vocale n'ont pas révélé de différence de performances entre les deux groupes de niveaux HP et BP. Nous avons observé une perte d'intelligibilité croissante avec la diminution du RS/B à la fois pour les voyelles au casque et pour les voyelles en champ libre. Les mesures de système efférent ont montré que le groupe HP présentait des AE plus importantes dans l'oreille droite que le groupe BP ainsi que des QL plus négatifs. De plus nous avons observé des corrélations négatives significatives entre les atténuations équivalentes droites de l'ensemble des participants et leurs scores de reconstruction des pseudomots ($r = -0.70$) et entre leurs QL et leurs scores de reconstruction des pseudomots ($r = -0.51$). À la différence des performances cognitives qui nous avaient conduits à séparer les participants en deux groupes, s'additionne une différence neurophysiologique.

Il convient donc de discuter plus précisément ce lien entre performances de reconstruction de la parole et fonctionnalité du système auditif efférent.

D.3.4. Discussion

Dans un premier temps, nous pouvons noter que nos résultats ne répliquent pas ceux rapportés par Giraud, *et al.* (1997). Ces auteurs avaient montré une corrélation entre la fonctionnalité du SEOCM et les performances d'intelligibilité de la parole dans le bruit. Nous ne retrouvons pas de tels résultats, ce qui peut s'expliquer par le fait que les auteurs avaient ajouté un bruit contralatéral pour activer le SEOCM durant les tests d'audiométrie vocale. En effet, les performances d'intelligibilité augmentaient avec la présence de ce bruit. Les conclusions de l'étude étaient que l'activation du SEOCM avait amélioré les performances de perception de parole dans le bruit. Giraud, *et al.* (1997) considèrent le SEOCM comme une sorte de filtre inhibiteur qui permettrait au système auditif de mieux percevoir les caractéristiques acoustiques pertinentes du signal de parole lorsque celui-ci est détérioré.

Le bon fonctionnement du SEOCM se caractérise par sa force de suppression des OEAs et par sa latéralisation (c'est-à-dire par la différence de suppression entre le SEOCM droit et le SEOCM gauche). Pour les droitiers, plus la latéralisation (donnée par le QL) est négative, plus les voies auditives descendantes sont fonctionnelles. Nos résultats montrent que le groupe HP possédait un système efférent en moyenne plus inhibiteur et plus latéralisé à droite que le

groupe BP. Les AE droites étaient significativement différentes entre les deux groupes et montraient un large avantage du groupe HP. Aucune différence d'AE n'a été observée entre les deux groupes concernant l'oreille gauche. Les QL étaient significativement différents entre les deux groupes : Le groupe HP possédait de meilleurs systèmes efférents que le groupe BP, car le groupe HP possédait des SEOCM globalement plus inhibiteurs que le groupe BP et surtout des SEOCM plus supprimeurs du côté droit que du côté gauche. Or, c'est le groupe HP qui avait obtenu les meilleures performances comportementales. Nous constatons donc que plus l'asymétrie auditive des participants est marquée (en faveur de l'oreille droite), plus leurs performances comportementales sont bonnes. Ce résultat est confirmé par la corrélation observée entre les performances comportementales et les QL des participants.

Ces résultats et en particulier les corrélations observées, ne semblent pas pouvoir être interprétés comme révélant un rôle direct du SEOCM sur la reconstruction de la parole dégradée. En effet, bien que le SEOCM soit un processus descendant qui fonctionne du cortex vers la périphérie, il appartient au système auditif sensoriel (c'est un rétrocontrôle du système auditif), et ne provient pas de structures suffisamment intégrées pour véhiculer des informations linguistiques. De plus, nous savons que le SEOCM est activé dans le bruit d'après les travaux de Kawase & Liberman (1993) et Kawase, Delgutte & Liberman (1993) chez l'animal ayant montré que l'activation du système efférent peut améliorer l'audition dans le bruit par un effet d'anti-masquage. Chez l'humain, les études de Micheyl, Collet et leurs collaborateurs, (Micheyl & Collet 1996 ; Micheyl, Perrot & Collet, 1997 ; Micheyl, Khalfa, Perrot & Collet, 1997), avaient montré une relation entre l'activité du SEOCM et la détection de tonalités dans le bruit ainsi que les capacités de discrimination entre différentes intensités dans le bruit. Concernant la parole dans le bruit, les travaux de Giraud, *et al.* (1997) avait montré qu'une faible activité du SEOCM était liée à une intelligibilité de la parole dans le bruit réduite chez les adultes. Kumar & Vanaja (2004) ont répliqué ces résultats chez les enfants.

Ces travaux présentent le point commun d'avoir observé ces améliorations d'intelligibilité de la parole dans du bruit. Concernant nos travaux, nous ne pouvons pas garantir que le SEOCM des participants était réellement actif pendant la tâche de compréhension de la parole inversée car si la parole était effectivement dégradée, la tâche ne mettait pas en jeu la présence de bruit. Ainsi nous pensons qu'une autre interprétation que l'intervention directe du SEOCM dans les performances d'intelligibilité doit être envisagée pour interpréter les corrélations observées. Nous proposerons une alternative dans la discussion générale de cette partie. Pour la

suite de nos travaux, nous avons envisagé une tâche d'intelligibilité de parole dans le bruit afin de pouvoir réellement comparer les données recueillies (comportementales et mesures de système efférent) avec les travaux de la littérature. Nous verrons les expériences portant sur la parole dans la deuxième moitié de cette partie expérimentale (Partie B) mais tout d'abord, nous allons présenter les mesures auditives recueillies chez les participants dyslexiques.

En nous appuyant sur des travaux antérieurs ayant montré un dysfonctionnement des voies auditives descendantes chez des enfants souffrant de troubles de l'apprentissage (Veuillet, *et al.* 1999), nous avons émis l'hypothèse que les participants dyslexiques à nos expériences pourraient présenter eux aussi un trouble au niveau du système auditif efférent. Nous avons donc pratiqué des mesures auditives chez les participants dyslexiques dont nous allons à présent examiner les résultats.

D.4. Mesures auditives chez le participant dyslexique normo-entendant

Dans cette partie, nous présenterons les résultats aux tests auditifs des participants dyslexiques et de leurs témoins appariés.

D.4.1. Participants

Dix-huit patients dyslexiques ont été sélectionnés parmi les 50 ayant participé aux tests comportementaux. 18 participants témoins leur ont été appariés en genre, en âge et en latéralité. Les 18 patients dyslexiques ainsi que leurs témoins remplissaient les critères suivants :

- être âgé de 18 à 35 ans ;
- être de langue maternelle française ;
- être droitier à plus de 70 % d'après le test d'Edinburgh (Oldfield, 1971) ;
- avoir un audiogramme normal (seuils inférieurs à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHz).

Dix femmes et 8 hommes dyslexiques ainsi que 10 femmes et 8 hommes témoins ont passé les tests auditifs. La moyenne d'âge était de 24.72 ans (DS = 5.98) pour les dyslexiques et 24.83 ans (DS = 5.7) pour les témoins. Leur latéralité manuelle moyenne était droitier à 88.9 % (DS = 10.29) pour les dyslexiques et droitier à 92.8 % (DS = 9.58) pour les témoins. Les deux groupes ne présentaient donc aucune différence significative d'âge

($F(1, 34) < 1$; n.s.) ou de latéralité ($F(1, 34) < 1$; n.s.). Tous les participants étaient volontaires, et ont été dédommagés pour leur participation.

D.4.2. Tests auditifs effectués et méthode

Les participants dyslexiques et leurs témoins ont effectué les tests d'audiométrie tonale, de tympanométrie et les tests de système efférent. Les détails des tests et leurs méthodes sont identiques à ceux décrits précédemment.

D.4.3. Résultats

D.4.3.1. Audiométrie tonale

Tous les participants dyslexiques ainsi que leurs témoins avaient une audition normale, c'est-à-dire des seuils inférieurs ou égaux à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHz aux fréquences de l'octave. Ils avaient tous une tympanométrie normale et un réflexe stapédien présent avec un seuil supérieur ou égal à 75 dB.

D.4.3.2. Système efférent

D.4.3.2.1. *Groupe dyslexique*

Globalement, pour les 18 participants dyslexiques, nous avons observé que l'AE de l'oreille droite n'était pas très différente de celle de l'oreille gauche : $AE_{\text{droite}} = -3,12$ (DS = 2.52) ; $AE_{\text{gauche}} = -3,26$ (DS = 2.11), les AE dans les oreilles gauches étaient même légèrement plus négatives que les AE dans les oreilles droites. L'analyse de la variance a montré qu'il n'existait pas de différence significative entre les AE dans les oreilles droites et gauches des participants dyslexiques ($F(1, 34) < 1$; n.s.). Cela est surprenant étant donné que tous les participants dyslexiques étaient droitiers. Nous aurions pu nous attendre à ce que leurs systèmes efférents droits soient plus supprimeurs que leurs systèmes efférents gauches. En moyenne, le système auditif des participants dyslexiques était faiblement latéralisé à gauche avec un quotient de latéralité oreille droite-oreille gauche = 0.13 (DS = 1.47).

D.4.3.2.2. *Groupe témoin*

Chez les témoins, les résultats étaient comparables à ceux des participants normo-lecteurs testés précédemment. Nous avons observé que l'AE des oreilles droites était plus importante que celle des oreilles gauches : $AE_{\text{droite}} = -2.68$ (DS = 1.54) ; $AE_{\text{gauche}} = -1.85$ (DS = 0.98). La différence entre les AE droites et gauche était marginale ($F(1, 34) = 3.69$,

$p = .06$). Cependant en moyenne, le système auditif des témoins était latéralisé à droite avec un quotient de latéralité oreille droite –oreille gauche = - 0.83 (DS = 1.3) ce qui correspondait tout à fait au résultat attendu chez un groupe de participants droitiers.

D.4.3.2.3. Comparaison des deux groupes

Nous avons effectué la suite des analyses en comparant les groupes de participants dyslexiques et témoins. Nous avons constaté que le groupe dyslexique présentait sur les deux oreilles des atténuations équivalentes plus importantes que le groupe témoin (Tableau 3). La différence d'AE sur l'oreille droite entre les deux groupes n'était pas significative ($F(1, 34) < 1$; n.s.). En revanche, les AE des oreilles gauches étaient significativement différentes entre les deux groupes ($F(1, 34) = 6.62$; $p < .05$), les AE du groupe dyslexique étant plus négatives que celles du groupe témoin.

Tableau 3: AE dans les deux oreilles et QL des dyslexiques et des témoins

	AE oreille droite		AE oreille gauche		Quotient de latéralité	
	Moyenne	Déviatiion Standard	Moyenne	Déviatiion Standard	Moyenne	Déviatiion Standard
Dyslexiques	-3.12	2.52	-3.26	2.11	0.13	1.47
Témoins	-2.68	1.54	-1.85	0.98	-0.83	1.3
Valeur de F	0.41		6.62		4.29	
Valeur de p	= .52		= .15		= .046	

Le QL était en moyenne de 0.13 dB (DS = 1.47) pour le groupe dyslexique et de - 0.83 dB (DS = 1.3) pour le groupe témoin. Les QL étaient significativement différents entre les deux groupes de participants ($F(1, 34) = 4.29$; $p < .05$).

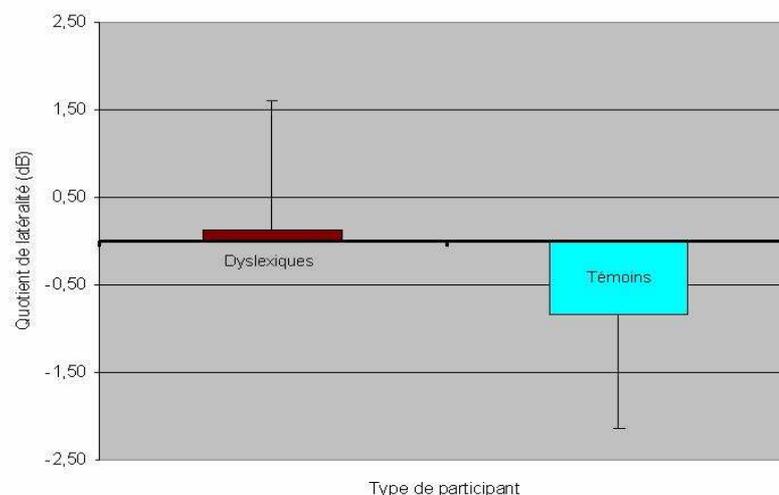


Figure 28 : Quotients de latéralité des Dyslexiques et des Témoins

On note que les dyslexiques étaient globalement non latéralisés alors que ce n'était pas le cas pour le groupe témoin qui était latéralisé à droite. La Figure 28 représente les quotients de latéralité des dyslexiques et des témoins.

D.4.3.2.4. *Corrélations entre AE, QL et performances de reconstruction*

Nous avons mis en correspondance pour les 18 dyslexiques les performances de reconstruction (pour chaque condition) et les mesures de système efférent. Nous n'avons observé aucune corrélation significative entre les performances comportementales et les atténuations équivalentes.

D.4.4. Résumé des résultats obtenus

Les tests d'audiométrie tonale ont montré que les participants dyslexiques avaient tous une audition normale (seuils d'audition inférieurs à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHz et réflexe stapédien présent avec un seuil supérieur à 75 dB). Les mesures de système efférent ont montré une symétrie des voies auditives descendantes. Les AE droites et gauches n'étaient pas significativement différentes. En moyenne, les participants dyslexiques étaient faiblement latéralisés à gauche avec un QL égal à 0.13 dB. Les participants témoins présentaient en revanche une latéralisation des voies auditives descendantes en faveur du côté droit (QL = -0.83). Les participants dyslexiques possédaient des AE significativement plus importantes dans l'oreille gauche que les témoins. Nous n'avons observé aucune corrélation significative entre les AE ou les QL des participants dyslexiques et leurs performances de reconstruction de la parole inversée. Nous allons à présent discuter ces résultats montrant une absence d'asymétrie fonctionnelle des voies auditives descendantes chez participants dyslexiques.

D.4.5. Discussion : système efférent et parole inversée chez le sujet dyslexique

D'après les résultats que nous avons obtenus, le système auditif efférent des patients dyslexiques n'était pas latéralisé contrairement au groupe de normo-lecteurs et au groupe témoin (apparié en âge et en latéralité manuelle). En effet, le quotient de latéralité des dyslexiques était seulement de 0.13 dB, ce qui signifie que leur système efférent gauche était légèrement plus inhibiteur que le droit. D'après les travaux de Khalfa, *et al.* (1998), le SEOCM est caractérisé par une asymétrie fonctionnelle liée à la latéralité manuelle. Étant donné que tous les participants dyslexiques étaient droitiers, nous nous attendions à observer

une asymétrie de leur SEOCM en faveur du côté droit. C'est d'ailleurs le résultat que nous avons observé chez le groupe témoin. Les différences d'AE dans les oreilles gauches des dyslexiques et des témoins étaient significatives (les AE gauches du groupe dyslexique étaient plus élevées). La différence d'AE n'était pas significative pour les oreilles droites entre les deux groupes, en revanche la différence de QL était significative : les QL du groupe témoin étaient plus négatifs que ceux du groupe dyslexique. Ces résultats démontrent que les systèmes efférents des dyslexiques que nous avons testés étaient fonctionnels puisque nous avons relevé des AE dans les deux oreilles, cependant, en moyenne, ils n'étaient pas latéralisés. Or, comme nous l'avons préalablement expliqué, un système efférent fonctionnel se caractérise par la présence d'AE dans les deux oreilles mais surtout par une différence d'AE entre les deux oreilles. Nos participants témoins présentaient ce profil avec un quotient de latéralité moyen de -0.83 dB, ce qui n'était pas le cas des dyslexiques qui présentaient des AE très peu différentes dans les oreilles droites et gauches. Les travaux de Khalifa & Collet., (1996) avaient montré une prévalence des voies auditives descendantes droites chez un groupe de 44 participants droitiers. Il apparaît clairement que pour le groupe de dyslexiques cette asymétrie était absente. Ces résultats rejoignent ceux de Veuillet, *et al.* (2007) qui montraient une absence d'asymétrie des voies auditives efférentes liée à des troubles de la perception du voisement chez des enfants dyslexiques. Nous discuterons plus en détail ces résultats dans la partie suivante.

E. PAROLE INVERSÉE : DISCUSSION

Dans ce premier chapitre expérimental de la thèse, nous nous sommes interrogés sur la façon dont des adultes normo-lecteurs normo-entendants et des adultes dyslexiques normo-entendants parviennent à comprendre un signal de parole contenant des dégradations acoustiques temporelles. Nous avons testé 50 participants normo-lecteurs et 50 participants dyslexiques. La tâche demandée était d'écouter et de transcrire (répéter à voix haute pour les dyslexiques) des items bisyllabiques (mots et pseudomots). Ces items étaient dégradés par des inversions temporelles de différentes longueurs : aucune inversion (condition I_0), inversion de la première demi-syllabe (condition $I_{0,5}$), inversion d'une syllabe (condition I_1), inversion d'une syllabe et demie (condition $I_{1,5}$) et inversion de la totalité de l'item (condition I_2). Les réponses des participants étaient ensuite codées en résultats numériques.

E.1. Rappel des résultats obtenus

E.1.1. Participants normo-lecteurs

Pour la tâche de reconstruction de mots inversés chez les normo-lecteurs (expérience 1a), nous avons observé une perte d'intelligibilité croissante avec l'augmentation de la taille des inversions temporelles du signal de parole. Ce résultat était attendu car déjà observé par Greenberg & Araï (2001) en anglais avec des fenêtres d'inversion de différentes longueurs et par Meunier, *et al.* (2002) en français qui avaient utilisé également des fenêtres d'inversions de différentes longueurs. Ce résultat a été discuté dans la partie B.

Nous avons également observé des effets psycholinguistiques sur la restitution des mots dégradés. Nous avons obtenu un fort effet de la fréquence d'occurrence des mots dans la langue : les mots cibles étaient mieux reconstruits s'ils avaient une forte fréquence. Nous avons également observé un effet du nombre de voisins phonologiques. Les mots cibles qui possédaient de nombreux voisins étaient moins bien restitués que les mots possédant peu de voisins phonologiques. Ces résultats reproduisent des effets bien décrits dans la littérature avec un paradigme nouveau. À notre connaissance, ces effets psycholinguistiques n'avaient

jamais été démontrés à l'aide d'un matériel verbal expérimental dégradé par inversion. Nous renvoyons le lecteur à la partie B. pour la discussion des effets psycholinguistiques.

Pour la tâche de reconstruction de pseudomots inversés chez les normo-lecteurs (expérience 1b) nous avons observé que les performances de restitution des pseudomots diminuaient avec l'augmentation de la portion de signal inversée. Les résultats indiquent que malgré la distorsion acoustique, les participants étaient capables de reconstruire le signal d'origine. On observait également un effet de supériorité du mot (les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots) et parfois les participants donnaient en réponse un vrai mot à la place d'un pseudomot. Cet effet de supériorité du mot s'explique par l'activation des connaissances lexicales qui aident la reconstruction des mots dégradés. Cet effet, ainsi qu'une explication à l'aide du modèle TRACE de l'émergence de mots à la place de pseudomots, ont été exposés dans la discussion de la partie B.. Pour approfondir nos résultats, nous projetons de comptabiliser le nombre de voisins phonologiques (correspondant à de vrais mots) des pseudomots que nous avons utilisés et de faire une analyse comparative des performances de reconstruction des pseudomots possédant beaucoup de mots voisins phonologiquement proches et des pseudomots possédant peu de mots voisins phonologiquement proches.

Notre étude présentait l'originalité d'avoir utilisé une unité linguistique explicite : la syllabe pour effectuer les inversions temporelles. Les résultats montraient la saillance de la syllabe pour la compréhension du français car pour une dégradation inférieure à une syllabe, nous avons vu qu'il était possible de reconstruire le signal alors qu'au-delà d'une syllabe dégradée les performances chutaient à quelques pourcents de reconstruction.

En comparant les performances de reconstruction des mots et des pseudomots, nous avons observé que pour les mots, les inversions de taille inférieure à une syllabe étaient facilement surmontées et que les participants étaient la plupart du temps capables de reconstruire la partie de signal dégradée. Ce n'était pas le cas pour les pseudomots. La condition $I_{0.5}$ chez les participants normo-lecteurs a donné lieu à une variabilité interindividuelle très importante. Certains participants étaient très perturbés par la dégradation d'une demi-syllabe alors que d'autres n'étaient pas du tout gênés et parvenaient la plupart du temps à reconstruire le pseudomot cible. Nous nous sommes interrogés sur l'origine possible de cette variabilité interindividuelle. Le fait qu'elle apparaisse uniquement pour les pseudomots a orienté nos recherches du côté des processus perceptifs auditifs. Il a été montré que les voies auditives descendantes interviennent potentiellement dans la perception de la parole mais de façon inconstante entre individus (VeUILLET, *et al.* 1991 ; VeUILLET, *et al.* 1999). Nous avons donc pris la décision d'explorer la fonctionnalité des voies auditives des

participants. À partir des performances obtenues pour la condition $I_{0.5}$ pour les pseudomots, nous avons formé deux groupes de participants, un groupe de bons reconstituteurs et un groupe de mauvais reconstituteurs. Nous avons mesuré les performances auditives de ces deux groupes de participants. Nous avons observé une différence significative entre les deux groupes pour les mesures de système efférent. Le groupe de bons reconstituteurs était plus latéralisé en faveur de l'oreille droite que le groupe de mauvais reconstituteurs. De plus, nous avons observé des corrélations négatives significatives entre les atténuations équivalentes droites des participants et leurs scores de reconstruction des pseudomots ($r = -0.70$) et entre leurs QL et leurs scores de reconstruction des pseudomots ($r = -0.51$). Nous discuterons cette différence d'asymétrie après avoir rappelé les résultats obtenus pour les participants dyslexiques.

E.1.2. Participants dyslexiques

Dans leur ensemble, les expériences 2a (reconstruction des mots) et 2b (reconstruction des pseudomots) montraient une capacité des participants dyslexiques à reconstruire de la parole inversée. Nous avons également observé un effet lexical, les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots mais seulement pour les conditions I_0 et $I_{0.5}$. Nous avons observé que leurs performances comportementales étaient significativement moins bonnes que celles des normo-lecteurs. D'autres études ont montré des performances comportementales plus basses pour des dyslexiques adultes par rapport aux adultes contrôles. Les études de Bruck (1990) et de Ben Dror, Pollatsek & Scarpati (1991), par exemple, ont montré en anglais que les adultes dyslexiques étaient plus lents pour lire des pseudomots que les adultes contrôles. Pour la condition I_1 (une syllabe dégradée), les participants dyslexiques ne parvenaient pas en moyenne à reconstruire la première syllabe (cela perturbait même la compréhension de la seconde syllabe qui n'était pas détériorée) alors que les participants normo-lecteurs y parvenaient. Ce résultat montre qu'à dégradation égale, les dyslexiques étaient plus perturbés par l'inversion que les normo-lecteurs.

Les résultats des mesures auditives chez 18 adultes dyslexiques ont montré une absence d'asymétrie du système efférent (le QL moyen était égal à 0.13 dB). Le groupe de participants dyslexiques présentait un système efférent inhibiteur à droite comme à gauche mais symétrique contrairement au groupe témoin qui présentait un système efférent asymétrique latéralisé à droite (QL = -0.83 dB). Nous allons à présent discuter du rôle du SEOCM pendant

la tâche de reconstruction de parole inversée et les différences d'asymétrie des voies auditives descendantes que nous avons observées.

E.2. Discussion et perspectives

E.2.1. Rôle du système efférent olivo-cochléaire médian

Nos résultats suggèrent que le fonctionnement du système efférent chez les normo-lecteurs est lié d'une façon ou d'une autre aux performances de compréhension de la parole, cependant, le rôle exact du système efférent durant notre expérience de perception de parole reste à éclaircir. Concernant le groupe de dyslexiques, nous n'avons pas observé de corrélation entre performances de reconstruction et fonctionnement du système efférent. Le résultat significatif concerne leur absence de latéralisation des voies auditives descendantes.

Les études précédentes sur le système auditif efférent donnent des pistes de discussion et des précisions quant à son rôle potentiel. Dès 1956, Galambos a étudié le système efférent de chats grâce à des techniques d'électrophysiologie. Il a trouvé que l'activité du nerf auditif est supprimée par la stimulation des fibres efférentes chez le chat. D'autres études électrophysiologiques ont montré chez des mammifères que l'innervation efférente provenant du système olivo-cochléaire inhibe l'activité efférente produite à partir de la cochlée (voir Guinan, 1996, pour une revue). Les travaux chez l'humain ont principalement étudié le rôle du SEOCM dans la détection de sons dans le bruit (Micheyl, Perrot & Collet, 1997 ; Micheyl, Khalfa, Perrot & Collet, 1997) ou de parole dans le bruit (Giraud, *et al.*, 1997). Par exemple, l'étude de Micheyl & Collet (1996) a exploré l'implication des voies auditives efférentes humaines dans des situations d'audition dans le bruit en mesurant l'activité du système olivo-cochléaire de participants et leurs capacités de détection de tons dans le bruit. En utilisant l'atténuation des OEA controlatérales pour mesurer la force de suppression du système olivo-cochléaire lors de la détection de signaux dans le bruit, les auteurs ont observé des corrélations entre l'atténuation controlatérale des OEAs et les seuils de détection de tons de moyenne fréquence dans du bruit chez un même participant. Ce phénomène physiologique s'explique de la façon suivante : lors d'une stimulation controlatérale, au niveau de la cochlée, les fibres efférentes inhibent les OEAs en diminuant la contraction des cellules ciliées externes (Collet, *et al.* 1990) ce qui provoque une augmentation du RS/B dans l'oreille. Les travaux de Giraud, Collet, Chéry-Croze, Magnan & Chays (1995) ont montré une disparition

de cet effet supprimeur controlatéral chez des patients ayant subi une neurotomie vestibulaire prouvant ainsi l'implication du SEOCM dans la suppression des OEA.

Le système efférent pourrait donc agir comme un filtre sur le signal distordu dans le but d'aider à mieux percevoir les éléments pertinents pour la compréhension du message parlé. Cette particularité pourrait être très importante pour la compréhension de la parole naturelle car généralement, la perception de la parole se passe dans des circonstances rarement idéales mais plutôt en présence de bruit concurrent qui dégrade le signal avant que celui-ci n'atteigne le système auditif. Dans ce type de situations, le SEOCM pourrait faciliter l'extraction des informations pertinentes pour isoler le son cible du bruit de fond concurrent. Le SEOCM est certainement impliqué dans les mécanismes de suppression et donc par conséquent dans le traitement des sons dans le bruit. Les travaux de Giraud, *et al.* (1997) et de Kumar & Vanaja (2004) ont confirmé qu'un système efférent peu fonctionnel était responsable de performances réduites de compréhension de la parole dans du bruit. Pour ce faire, Giraud, *et al.* (1997), par exemple, avaient explicitement activé le SEOCM par un bruit controlatéral pendant la tâche d'audition dans le bruit. Cependant, nos résultats ne peuvent être directement comparés à ces travaux car dans nos expériences comportementales nous n'avons pas de bruit à proprement parler. La dégradation du signal de parole était constituée par la modification interne du stimulus sans ajout de bruit. Jusqu'à présent, aucune étude n'a apporté d'indice quant à l'implication du SEOCM dans la compréhension de la parole dégradée sans ajout d'un signal extérieur. Nous allons à présent discuter les résultats obtenus concernant l'asymétrie du SEOCM.

E.2.2. Symétrie et asymétrie des voies auditives descendantes et performances de compréhension de la parole dans le bruit

Si nous ne sommes pas certains de l'activation directe du SEOCM des participants durant la tâche de reconstruction de la parole dégradée, en revanche nos résultats peuvent suggérer l'existence d'un lien entre asymétrie centrale auditive et capacité à reconstruire de la parole inversée.

E.2.2.1. Asymétrie des voies auditives descendantes chez les normo-lecteurs

Les aires auditives sont asymétriques comme le démontrent notamment les études en imagerie par résonance magnétique de Penhune, Zatorre, MacDonald & Evans (1996) et Penhune, Cismaru, Dorsaint-Pierre, Petitto & Zatorre (2003) qui ont mesuré la morphologie des cortex auditifs. Ces auteurs observent un volume de matière blanche plus important dans

le gyrus de Heschl gauche (contenant le cortex auditif primaire) que dans le droit. Cette asymétrie est supposée être reliée à un traitement plus efficace des changements rapides des informations temporelles et donc au traitement de la parole (Tallal, Miller & Fitch, 1993 ; Zatorre, Belin & Penhune, 2002).

Les voies auditives étant croisées, les signaux acoustiques perçus dans l'oreille droite sont traités par les aires auditives gauches dans l'hémisphère gauche, c'est-à-dire là où sont situées la plupart des structures impliquées dans le langage comme le *planum temporale*. Geschwind & Levitsky (1968) avaient déjà démontré que le *planum temporale* était de taille plus importante dans l'hémisphère gauche que dans le droit. Ces travaux ont été les premiers à apporter une réelle preuve de la spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage. Plus récemment les travaux de Dorsaint-Pierre, *et al.* (2006) ont confirmé une relation entre l'asymétrie des *planum temporale* et la latéralisation du langage. Ils ont montré grâce à une étude d'imagerie par résonance magnétique une asymétrie droite > gauche dans un groupe de personnes présentant une supériorité de l'hémisphère droit pour le traitement de la parole et une asymétrie gauche > droite dans un groupe dont l'hémisphère gauche était préférentiel pour traiter la parole. Les travaux de Pujol, Deus, Losilla & Capdevilla (1999) ont montré que 96 % des participants droitiers présentent une prévalence de l'hémisphère gauche pour les fonctions langagières et l'étude de Powell, *et al.* (2006) a mis en évidence des connexions plus importantes entre aires du langage dans l'hémisphère gauche que dans l'hémisphère droit. D'après ces travaux, il serait possible que les participants à nos tests auditifs, tous droitiers, aient également présenté une prévalence de l'hémisphère gauche pour le traitement du langage.

Le système auditif efférent, provient en partie des cortex auditifs (Huffman & Henson, 1990). Les travaux de Khalfa, *et al.* (2001) ont d'ailleurs montré une modulation de l'activité auditive périphérique par les cortex auditifs primaire et secondaire. Les auteurs ont mis en évidence cette influence centrale sur l'activité auditive périphérique en comparant des patients ayant subi une ablation du gyrus de Heschl (gyrus temporal supérieur) à des participants contrôles. Ils observent quelques semaines après l'opération, une perte de fonctionnalité du SEOCM controlatéral. Plus récemment, ces résultats ont été confirmés par Perrot, *et al.* (2006) à l'aide de stimulations électriques intra-cérébrales chez des patients épileptiques. Les travaux de Khalfa, Veuillet & Collet (1998) ont montré un fonctionnement asymétrique du SEOCM influencé par la latéralité manuelle tout comme la spécialisation hémisphérique des aires du langage. De plus, les troubles de l'asymétrie centrale que l'on rencontre par exemple chez les schizophrènes sont accompagnés notamment de troubles de

l'intelligibilité (Crow, Ball & Bloom, 1989) et les patients schizophrènes ne présentent pas d'asymétrie des voies auditives descendantes (VeUILLET, Georgieff, Philibert, Dallery, Marie-Cardine & Collet, 2001). Ces arguments soutiennent l'hypothèse d'un lien entre asymétrie centrale et périphérique comme le suggèrent les travaux de Khalifa, Morlet, VeUILLET, Perrot & Collet (1998).

Les mesures de système efférent que nous avons recueillies chez les normo-lecteurs droitiers montraient une prévalence du SEOCM du côté droit, ainsi qu'une corrélation entre quotient de latéralité des participants et performances de restitution des pseudomots. En effet, les participants normo-lecteurs qui présentaient de fortes suppressions dans l'oreille droite (Groupe HP) avaient également de meilleures performances comportementales que les participants moins latéralisés (Groupe BP). Il existerait donc un lien entre les performances de compréhension de la parole dégradée et l'asymétrie périphérique du SEOCM.

D'après l'ensemble des travaux de la littérature il est possible d'émettre l'hypothèse que l'asymétrie hémisphérique des fonctions langagières jouerait un rôle dans le traitement de la parole dégradée. Cette hypothèse est soutenue par de nombreuses études montrant une latéralisation des activations à gauche lors du traitement auditif dans une tâche de compréhension de mots (Binder, *et al.*, 1997 ; Demonet, *et al.*, 1992 ; Howard, *et al.*, 1992 ; Price, *et al.*, 1996) et une dominance hémisphérique gauche lors de traitements lexico-sémantiques (Zahn, *et al.*, 2000).

E.2.2.2. Symétrie des voies auditives descendantes chez les dyslexiques

L'idée d'un lien entre asymétrie des voies auditives descendantes et asymétrie des aires du langage est renforcée par les résultats que nous avons obtenus chez les dyslexiques, puisque nous avons observé chez ces derniers un système efférent non latéralisé. En effet, plusieurs études ont montré des troubles de l'asymétrie des aires du langage chez les dyslexiques (voir Habib, 2000 pour une revue sur les bases neurologiques de la dyslexie développementale). Nous pouvons citer par exemple, les travaux de Cohen, Campbell & Yaghami (1989) qui ont trouvé une absence d'asymétrie gauche > droite au niveau du *planum temporale* de dyslexiques. De leur côté, Larsen, Høien, Lundberg & Ødegaard (1990) suggèrent que la symétrie corticale atypique observée chez les dyslexiques serait liée à un déficit phonologique car ils observent des performances réduites dans une tâche de lecture de non-mots chez des adolescents dyslexiques présentant des *planum temporale* symétriques. Toujours chez les dyslexiques, Robichon, Lévrier, Farnarier & Habib (2000) ont mesuré

l'asymétrie des aires de Broca. Ils observent une symétrie des aires de Broadman 44 et 45 et une corrélation avec les performances de lecture de non-mots chez les dyslexiques.

Les travaux de Veillet, *et al.* (1999) avaient les premiers, montré des troubles du fonctionnement du SEOCM chez des enfants victimes de troubles de l'apprentissage. Nos résultats montrant un fonctionnement altéré du SEOCM chez les dyslexiques vont dans le sens de cette étude. De plus, nos résultats suggèrent que les performances comportementales des dyslexiques, plus faibles que celles des normo-lecteurs, pourraient être dues à une asymétrie moins marquée des fonctions langagières au niveau du cortex. Étant donné que le SEOCM permet l'influence des cortex auditifs sur la cochlée, il se pourrait qu'un trouble de la latéralisation du SEOCM reflète en réalité une anomalie plus centrale. De plus, il faut noter que les études s'intéressant aux adultes dyslexiques, s'accordent à dire que les dyslexiques ayant effectué des études supérieures (comme c'était le cas pour la plupart de nos participants) sont susceptibles d'avoir développé des processus de compensation de leurs troubles. Ainsi, les déficits observés ont-ils plus de chances d'être centraux et ainsi de bien caractériser le trouble dyslexique (Rüsseler, Becker, Johannes & Münte, 2007).

Une étude récente en français a montré un lien entre des performances verbales et la fonctionnalité du système auditif périphérique. L'étude de Veillet, *et al.* (2007) a montré que la sensibilité au voisement d'enfants dyslexiques était liée au fonctionnement de leur système auditif périphérique. Ces résultats montrent qu'il existerait bien une relation entre perception des traits phonétiques de la parole et asymétrie des voies auditives efférentes. De plus, les auteurs observent une corrélation significative entre la sensibilité au voisement et la dominance du SEOCM gauche des enfants dyslexiques. L'interprétation de ces résultats est que les enfants dyslexiques auraient développé une prévalence de l'hémisphère gauche pour le traitement des consonnes.

L'idée que l'asymétrie corticale puisse jouer un rôle dans la perception de la parole est renforcée par d'autres types d'études. Par exemple, une étude pertinente de Bellis, Trent & Kraus (2000) a montré une modification biologique, liée à l'âge, des représentations neuronales de sons de parole basiques (syllabes CV synthétiques). Les auteurs ont mesuré les réponses neurophysiologiques (complexe N1-P1) au niveau des lobes temporaux droit et gauche chez des adultes de tous âges. Les adultes jeunes présentaient des réponses plus amples au niveau du lobe temporal gauche que du droit alors que les réponses chez les

participants plus âgés étaient symétriques. De plus, les performances du groupe plus âgé à une tâche de discrimination de syllabes étaient moins bonnes. Cette étude démontre un lien possible entre la perte d'asymétrie centrale liée à l'âge et les difficultés de perception de la parole présentées par le groupe d'adultes âgés. Ces considérations nous amènent à penser que notre tâche n'impliquerait pas directement le SEOCM mais serait plutôt dépendante de la latéralisation corticale.

Pour la suite de nos travaux, nous avons envisagé une tâche de perception de la parole dans le bruit, d'une part pour explorer les performances de reconstruction de la parole soumise à une telle dégradation et d'autre part, pour observer un éventuel lien entre les performances de restitution de la parole dans la parole des participants et le fonctionnement de leur système efférent olivo-cochléaire médian.

CHAPITRE III.

RECONSTRUCTION DE LA PAROLE DANS LA PAROLE : SITUATION *COCKTAIL PARTY*

A. INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE DANS LA PAROLE CHEZ LE SUJET SAIN NORMO-ENTENDANT

A.1. Introduction

A.1.1. Choix de la parole dans la parole

Dans ce second chapitre expérimental, nous nous sommes intéressés à la compréhension de la parole dans la parole. La parole inversée, que nous avons utilisée précédemment, constituait une dégradation intéressante à étudier car outre le fait qu'il s'agit d'une dégradation très contrôlée et donc méthodologiquement rigoureuse, l'existence d'une capacité à comprendre un signal de parole inversé constituait une motivation à part entière. Cependant, la parole inversée présente le défaut de ne pas être une détérioration écologique du signal de parole. En effet, il est impossible d'entendre naturellement de la parole inversée ; il s'agit d'une dégradation artificielle utilisée uniquement en laboratoire. Nous avons donc choisi de poursuivre notre étude en utilisant un autre type de dégradation de la parole, plus proche d'une situation de perception réelle. Il existe différents types de bruits, cependant nous avons porté notre choix sur le bruit de type « *cocktail party* » car il s'agit d'une situation de perception particulièrement difficile posant problème à une majorité de locuteurs, et très souvent utilisée dans les études sur la perception de la parole dans le bruit en tant qu'activité « quotidienne » (Simpson & Cooke, 2005). De plus, la faculté de percevoir la parole dans le bruit se dégrade avec le vieillissement de l'oreille (Pichora-Fuller, Schneider & Daneman, 1995). Notre choix s'est porté sur le bruit, car c'est précisément dans le bruit que le système auditif efférent est activé (VeUILlet, *et al.*, 1991). Il n'existe pas à ce jour d'étude démontrant formellement que le système efférent soit activé par un bruit de *cocktail party* cependant, des travaux en cours pourraient confirmer cette hypothèse. Il semblait donc intéressant d'orienter nos recherches sur la parole dans le bruit, d'une part pour continuer à étudier la relation entre intelligibilité de la parole dégradée et fonctionnement des voies auditives descendantes et d'autre part, parce qu'il semble fondamental de s'intéresser à une situation de parole que les locuteurs rencontrent au quotidien. De plus d'un point de vue

thérapeutique, il paraît fondamental de tenter d'appréhender les mécanismes de compréhension de la parole dans le bruit pour savoir comment palier les déficits dus à l'âge ou à des troubles du langage.

A.1.2. L'effet cocktail party

Il est impressionnant d'observer la capacité du cerveau humain à préserver la compréhension de la parole dans des conditions acoustiques extrêmement variables et malgré la présence de quantités importantes de bruits interférents. Ce phénomène, appelé « *cocktail party* » correspond à une faculté cognitive spécialisée nous permettant de focaliser notre attention spécifiquement sur un flux auditif particulier parmi différents flux concurrents (Cherry, 1953). Depuis les premiers travaux de Cherry (1953), un très grand nombre d'études ont vu le jour, la plupart du temps centrées sur les caractéristiques psychoacoustiques de l'analyse de scènes auditives. Ces études ont apporté des éléments intéressants quant aux processus impliqués dans la séparation de flux auditifs (voir par exemple Divenyi, 2004). De nombreux travaux se sont intéressés à l'effet *cocktail party* en situation de perception dichotique comme par exemple les études de Drullman & Bronkhorst, (2000) ; Neff, (1995) ; Kidd, Mason & Rohtla, (1995) ou de Moray, (1959) ; Wood & Cowan, (1995) ; et Conway, Cowan & Bunting, (2001), qui s'étaient précisément intéressées à l'interférence produite par un signal inattendu (comme le prénom de l'auditeur) dans l'oreille non-focalisée. Les effets de masquage énergétique et informationnel étant réduits dans la situation d'écoute dichotique, les performances dans des tâches de *cocktail party* dichotique sont généralement plus élevées que dans les tâches de *cocktail party* monaural (Brungart & Simpson, 2002). Cependant, les études portant sur l'effet *cocktail party* en situation monaurale permettent de bien étudier les effets de masquage énergétique et informationnel qui contribuent à l'interférence du signal cible. Ces effets de masques attribuables aux flux interférents et pouvant agir à deux niveaux principaux (énergétique et informationnel) ont été mis en évidence grâce notamment aux études de Kidd, Mason, Rohtla & Deliwal, (1998) ; Freyman, Balakrishnan & Helfer, (2001) ; et Brungart, (2001b). Ces études montrent que les informations véhiculées par les différents signaux entrent en compétition et perturbent l'interprétation cognitive du signal cible. Le masquage énergétique est présent lorsque les signaux de parole concurrents se recouvrent en temps et en fréquence. Il empêche l'auditeur de détecter certaines informations acoustiques du signal de parole cible. Le masquage informationnel apparaît lorsque les signaux de parole concurrents sont similaires

et que l'auditeur a des difficultés à séparer les éléments acoustiques du signal cible de ceux du signal concurrent (Brungart & Simpson, 2002). Malgré les effets de ces deux types de masques, les auditeurs sont capables de faire une tâche de perception de parole en situation *cocktail party* monaurale comme le montrent les travaux de Brungart, *et al.* (2001) sur lesquels nous nous sommes appuyés. Les travaux de Brungart, *et al.* (2001), ont étudié l'intelligibilité d'un signal de parole cible en fonction du nombre de voix concurrentes (2, 3 ou 4 locuteurs) et du R/SB de signaux de parole interférents en situation de perception diotique. Notre étude, quant à elle, était motivée par le fait que les effets de masques psycholinguistiques pouvant apparaître dans les situations de compréhension de la parole dans la parole n'ont jamais été mis en évidence expérimentalement.

Dans cette partie nous allons présenter trois expériences portant sur la compréhension de la parole dans le bruit. La première expérience (expérience 3) a été mise en place pour tenter de déterminer l'existence d'une interférence linguistique entre le signal cible et le bruit de fond. Dans l'expérience 3 nous avons testé différents bruits, différents types de *cocktails party* en faisant varier le genre et le nombre des voix et différents RS/B.

Une fois les résultats de la première expérience analysés, nous les avons utilisés pour paramétrer les deux suivantes. Les expériences 4a et 4b s'intéressent précisément aux effets psycholinguistiques induits par les mots contenus dans le bruit de fond. En effet, nous avons tenté de savoir si la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond influence la compréhension du signal de parole cible qui pouvait être, soit des mots (expérience 4a), soit des pseudomots (expérience 4b). Nous avons par la suite étudié cet effet chez un groupe de participants dyslexiques normo entendants dont nous présenterons les résultats dans la Partie B. de ce chapitre. Tout d'abord, nous présenterons dans cette partie les résultats obtenus par un groupe de participants normo-lecteurs normo entendants.

A.2. Expérience 3 : Effet du type de bruit et du rapport signal/bruit sur la compréhension de la parole dans la parole chez le sujet sain normo-entendant

A.2.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 3 avait pour but d'évaluer la compréhension de mots isolés en présence de bruits paroliers. Dans ces bruits, nous avons manipulé le nombre de locuteurs et la nature physique des signaux. Nous avons comparé les effets de masques dus à des enregistrements « *cocktail party* » standards à 4, 6 ou 8 voix simultanées et ceux dus aux mêmes

enregistrements mais inversés selon leur dimension temporelle (parole inversée). Nous avons également utilisé comme bruit de fond contrôle, un bruit large bande ayant les mêmes propriétés spectrotemporelles qu'un bruit de *cocktail party* mais ne contenant pas d'information linguistique.

A.2.2. Méthode

A.2.2.1. Mots cibles

Nous avons sélectionné 288 mots français (cf. annexe 4) monosyllabiques dans la base de données Lexique2 (New, *et al.*, 2004). Tous les mots étaient composés de trois phonèmes et ont été sélectionnés dans une gamme de fréquence d'occurrence moyenne dans la langue française (entre 0.19 et 146.71 occurrences par million ; $M = 20.96$; $DS = 21.37$) ceci afin d'éviter des items de trop haute ou trop basse fréquence. Les mots isolés ont été enregistrés en chambre sourde à l'aide d'un microphone Sony ECM-MS907 par un locuteur masculin unique. Chaque mot constituait un fichier son et a été sauvegardé au format .wav (44 kHz, stéréo, 16 bits).

A.2.2.2. Bruits de fond

Pour les besoins de l'expérience 3, nous avons créé trois types de bruits interférents à superposer sur nos mots cibles : des bruits *cocktail party*, des bruits *cocktail party* inversés et un bruit large bande. Nous avons créé trois bruits *cocktail party* à 4, 6 et 8 voix, mixtes en genre pour tester l'influence du nombre de locuteurs sur la compréhension du mot cible. Nous avons également créé un *cocktail party* à 4 voix masculines, ceci afin de tester l'effet du genre des locuteurs du bruit interférent sur la compréhension du signal cible. Nous avons ensuite créé une version inversée de ces quatre *cocktails party*. Le *cocktail party* inversé « sonne » comme un *cocktail party* à l'endroit, les propriétés énergétiques, rythmiques et temporelles du *cocktail party* sont conservées (on peut même identifier des phonèmes) mais il ne contient aucune information lexicale sémantique. Les travaux récents de Summers & Molis (2004) indiquent que des signaux de parole concurrents sont plus « masquants » que des bruits de parole inversée contenant des fluctuations temporelles comparables. Enfin, nous avons créé un bruit large bande qui nous servait de contrôle. Au total, nous avons créé neuf bruits de fond différents. Nous avons donc pu comparer les effets de masquage de trois types de bruits interférents : un bruit contenant de vrais mots (*cocktail party* normal), un bruit contenant

uniquement des informations phonétiques partielles (*cocktail party* inversé) et un bruit dépourvu d'informations phonétiques (bruit large bande).

A.2.2.2.1. *Bruits cocktail party*

Nous avons enregistré huit locuteurs différents (quatre hommes, quatre femmes) à l'aide d'une chaîne d'acquisition et de numérisation constituée d'un microphone Røde NT1, d'un préamplificateur Ultragain MIC 2000 et d'une carte son Roland UA-30, les sons étaient numérisés à 44 kHz sur 16 bits. Chaque locuteur devait enregistrer des phrases lues à voix haute en langue française. Les phrases ne comportaient pas de noms propres. Nous avons écouté les enregistrements et supprimé les pauses et silences excédant une seconde ; ainsi que les portions d'enregistrements contenant des erreurs de prononciation ou des marques prosodiques inappropriées. Nous avons effectué une réduction du bruit de fond optimisée pour les signaux de parole à l'aide du logiciel CoolEdit Pro[®] 1.1 et de la fonction « Vocal limiter » puis nous avons calibré en dBA et normalisé à 80 dBA chaque source. La calibration a été effectuée à l'aide d'une carte son VX Pocket V2, d'un sonomètre Larson Davis AEC 101, d'un casque Sennheiser Linear HD 250 et d'une oreille artificielle : AEC101. En mixant les différents enregistrements de locuteurs uniques, nous avons créé des *cocktails party* à 4, 6 et 8 voix que nous avons sauvegardés au format .wav (44kHz, 16 bits, stéréo). Au total nous avons créé quatre bruits *cocktail party*, trois *cocktails party* mixtes à 4, 6 et 8 voix, ces bruits contenaient le même nombre de locuteurs masculin et féminins, et un bruit *cocktail party* masculin à 4 voix.

A.2.2.2.2. *Bruits cocktail party inversés*

Les bruits de *cocktail party* inversés ont été obtenus en inversant sur leur axe temporel les bruits de *cocktails party* multi-locuteurs décrits ci-dessus. Les inversions ont été effectuées sur la durée totale des enregistrements grâce au logiciel Adobe[®] Audition[™] version 1.0. Nous avons donc inversé des portions entières de signal d'une durée de plusieurs minutes (et non pas de petits morceaux comme dans les expériences portant sur la parole inversée).

A.2.2.2.3. *Bruit large bande contrôle*

Afin d'obtenir un bruit à large spectre aux propriétés énergétiques comparables à celles de nos bruits paroliers nous avons choisi de partir du son *cocktail party* comprenant huit locuteurs (spectre énergétique le plus large et le plus dense) et d'en dériver un bruit ne contenant plus aucune information linguistique. Pour cela, nous avons extrait l'enveloppe temporelle du bruit original sous 60 Hz, afin d'en dériver les fluctuations dynamiques lentes.

Puis, par une transformée de Fourier (FFT), nous avons calculé l'énergie spectrale du signal d'origine et en avons extrait la distribution des phases. Les phases ont été redistribuées de façon aléatoire, puis réinjectées dans l'enveloppe temporelle du bruit de *cocktail party* original. Enfin, l'énergie globale du bruit obtenu a été ajustée à celle du signal original. Le bruit résultant possède la même énergie spectrale et la même enveloppe que le bruit *cocktail party* original, mais les phases étant aléatoires, il ne comporte plus aucune information d'ordre linguistique.

A.2.2.3. *Stimuli*

Nous avons évalué la compréhension de mots cibles masqués par neuf types de bruits différents: trois bruits de *cocktail party* à 4, 6 et 8 voix mixtes, un bruit *cocktail party* masculin à 4 voix, quatre bruits *cocktails party* inversés à 4, 6, 8 voix mixtes et 4 voix masculines et un bruit à large bande. Chacun de ces bruits était testé pour des RS/B de -3, 0, +3 et +6 dB, ce qui constituait au total 36 conditions. Nous avons réparti les 288 mots cibles enregistrés en 36 groupes de 8 mots cibles équilibrés en fréquence et en nombre de voisins phonologiques. Les 36 groupes finaux avaient une fréquence moyenne de 3.92 (DS = 0.006) et un nombre de voisins phonologiques moyen de 19.83 (DS = 0.06). On pouvait donc considérer que les 36 groupes de 8 mots étaient équivalents en termes de fréquence et de voisins phonologiques. Chacun des 36 groupes de 8 mots était associé aléatoirement à l'une des 36 conditions pour créer une liste expérimentale de 288 mots (8 mots dans chaque condition testée) par participant. Le groupe affecté à une condition donnée variait pour chaque participant afin que tous les participants entendent tous les mots expérimentaux mais chacun dans une condition différente.

Les extraits de bruit de fond provenaient de la séparation des enregistrements mixés en petits extraits de quatre secondes chacun. Chaque bruit de fond a donné au minimum 40 morceaux de quatre secondes différents. Pour créer les stimuli, nous avons superposé les 288 mots cibles avec un extrait de bruit de fond sélectionné au hasard parmi les extraits disponibles. Les stimuli étaient des fichiers au format .wav (44 kHz, 16 bits, stéréo) ayant chacun une durée de quatre secondes. Le bruit de fond était présent durant toute la durée du stimulus et le mot cible était systématiquement inséré à 2.5 s du début du fichier. Les mots cibles avaient des durées variables de 242 à 914 ms (M = 550 ms, DS = 134 ms). Les extraits de bruit ont été sélectionnés au hasard et contrebalancés. Par ailleurs, comme le mixage final du bruit et des mots cibles entraînait des variations d'intensité globale des stimuli, nous avons appliqué suite au mixage, une normalisation en intensité aléatoire sur une gamme de ± 3 dB

par pas de 1 dB. L'intensité globale des stimuli obtenus ne pouvait ainsi être prédictive de la condition de stimulation.

A.2.2.4. Procédure expérimentale

Les enregistrements comportementaux ont eu lieu dans la salle d'expérimentation de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Les participants étaient assis face à un écran d'ordinateur et la consigne (cf. annexe 5) leur était donnée oralement par l'expérimentateur. Les stimuli étaient présentés de façon diotique au moyen d'un casque audio (Beyerdynamic DT 48, 200Ω) à un niveau d'écoute confortable fixé individuellement. Tous les bruits, listes de mots et conditions ont été distribués aléatoirement entre les participants. La tâche consistait à écouter les stimuli et à retranscrire au clavier le mot cible ou bien la portion de mot cible entendu. L'ordre d'apparition des items était tiré au hasard par le programme qui dirigeait l'expérience (langage Tcl/Tk) et différent pour chaque participant. Les participants commençaient par une phase d'entraînement de 12 essais qui n'ont pas été pris en compte parmi les résultats. La durée totale de l'expérience était d'environ 45 min et dépendait de la familiarité des participants avec un clavier informatique. Les transcriptions des participants ont été codées en valeurs numériques puis analysées en termes de pourcentage de mots correctement reproduits.

A.2.2.5. Participants

Trente-six personnes ont participé à l'expérience 3. Les participants étaient tous étudiants, âgés de 18 à 32 ans, de langue maternelle française et dépourvus de déficits auditifs ou langagiers diagnostiqués, ils ont été dédommagés pour leur participation.

A.2.2.6. Plan expérimental

Le plan expérimental de l'expérience 3 était le suivant: $P_{36} * M_8 < T_9 * R_4 >$.

Avec :

P : Les Participants au nombre de 36

M : Les mots présentés au nombre de 8 par combinaison de conditions

T : La variable Type de bruit à 9 niveaux (*cocktail party* mixtes à 4, 6 et 8 voix mixtes, *cocktail party* à 4 voix masculines, *cocktails party* inversés à 4, 6 et 8 voix mixtes et 4 voix masculines et bruit large bande).

R : La variable RS/B à quatre niveaux : -3, 0, +3 et +6 dB.

A.2.3. Résultats

Nous avons effectué les analyses statistiques de la variance en prenant les taux de récupération lexicale individuels comme VD et les participants comme variable aléatoire. Les VI testées étaient toutes intra-sujets, il s'agissait des facteurs Type de bruit et RS/B. Tous les participants et tous les mots ont été inclus dans l'analyse. L'analyse comportait donc 36 participants et tous les mots ont été inclus dans l'analyse. L'analyse comportait donc 36 participants et 288 mots soit 10368 données. Nous avons transformé les réponses écrites des auditeurs en performances numériques puis en pourcentages de reconstruction. Nous avons effectué un codage lexical (mot correct ou non) et un codage phonologique des réponses. Nous ne présenterons ici que les résultats du codage lexical car il permet de mettre en évidence des effets de plus grande ampleur que le codage phonologique.

A.2.3.1. Effet du genre

Dans toutes les analyses effectuées, le facteur Genre des locuteurs des *cocktails party* n'a jamais donné d'effet simple significatif ou d'interaction significative (tous les seuils de significativité étaient supérieurs à .05). Par exemple, en comparant les *cocktails party* à 4 voix et 4 voix inversées en incluant les conditions genre identique et genre mixte, nous avons observé un effet principal du Type de *cocktail party* ($F(1, 35) = 30.106$; $p < .0001$), mais pas d'effet de Genre ($F(1, 35) = 1.191$, n.s.) ni d'interaction ($F(1, 35) < 1$). De ce fait, nous n'avons pas inclus le facteur Genre dans la suite de nos analyses.

A.2.3.2. Effet du type de bruit et du rapport signal/bruit

Dans un premier temps, pour comparer l'effet des trois types de bruits (large bande, *cocktail party* et *cocktail party* inversé) nous avons effectué une analyse de la variance à mesures répétées sur les performances obtenues pour le bruit large bande, le *cocktail party* à 8 voix et le *cocktail party* inversé à 8 voix. Nous avons choisi de comparer le bruit large bande aux *cocktails party* à 8 voix car ce bruit était directement modulé à partir d'un *cocktail party* à 8 voix (cf. section A.2.2.3). Nous avons observé que le pourcentage de reconstruction des mots cibles était plus élevé dans le bruit large bande ($M = 69\%$, $DS = 15$) que dans les *cocktails party* à 8 voix pour le *cocktail party* à l'endroit ($M = 59\%$, $DS = 14$) et pour le *cocktail party* inversé ($M = 59\%$, $DS = 16$). L'effet principal du Type de bruit était significatif ($F(2, 70) = 20.285$; $p < .0001$).

Concernant le RS/B, nous avons observé en moyenne, une augmentation linéaire des performances avec l'augmentation du RS/B. L'effet simple du RS/B est significatif

($F(3, 105) = 134.831$; $p < .0001$). L'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative ($F(6, 210) = 1.405$; n.s.).

A.2.3.3. Effet du type de cocktail et du rapport signal/bruit

Nous avons ensuite comparé les performances obtenues pour les deux types de *cocktails party* (normal et inversé). Nous avons observé en moyenne que le *cocktail party* à 4 voix présentait des performances plus basses que les *cocktails party* à 6 voix et à 8 voix (respectivement $M = 57\%$, 63% et 59%). À l'inverse, le *cocktail party* inversé à 4 voix présentait des performances plus élevées que les *cocktails party* à 6 voix et à 8 voix (respectivement $M = 63\%$, 61% et 59%). La Figure 29 représente les performances de reconstruction obtenues pour les conditions de *cocktail party* naturel (C4, C6 et C8) et de *cocktails party* inversés (I4, I6 et I8).

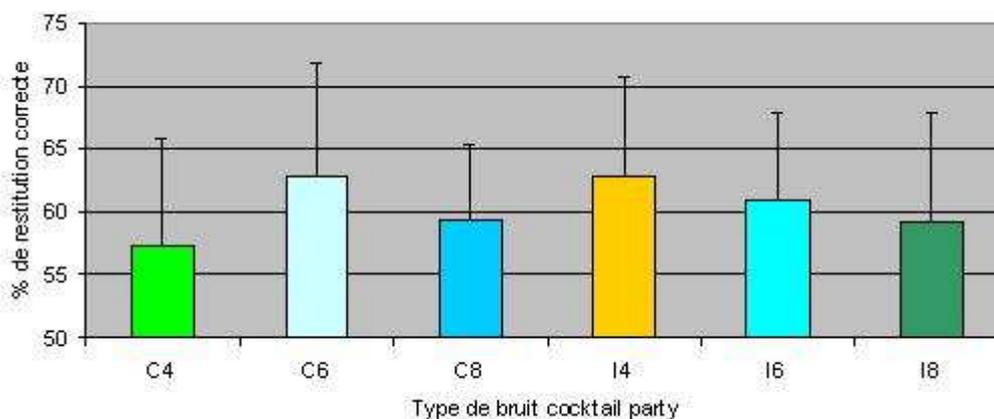


Figure 29 : Effet du Type de *cocktail party* et du nombre de voix sur la reconstruction de mots cibles

L'ANOVA comprenait le facteur Type de cocktail (normal et inversé), le facteur Nombre de locuteurs (4, 6 et 8) et le facteur RS/B (-3, 0, +3 et +6). Nous avons observé un effet simple significatif du facteur RS/B ($F(3, 105) = 185.309$; $p < .0001$), les scores de reconstruction diminuaient progressivement avec le RS/B. Les effets principaux du Type de cocktail ($F(1, 35) = 1.176$; n.s.), et du Nombre de locuteurs ($F(2, 70) = 2.190$; n.s.) n'étaient pas significatifs, cependant l'interaction de second ordre était significative ($F(2, 70) = 4.534$; $p < .05$) ce qui signifie que l'inversion temporelle du bruit *cocktail party* a interagi avec le nombre de locuteurs présents dans le cocktail. Aucune autre interaction n'était significative en particulier le facteur RS/B n'interagissait avec aucun des autres facteurs présents.

Des comparaisons spécifiques effectuées en dissociant les deux types de cocktails ont montré que l'identification de mots était plus élevée dans le cocktail inversé à 4 voix que dans le cocktail naturel à 4 voix ($F(1, 35) = 9.469$; $p < .01$). Les autres différences entre cocktail inversé et cocktail naturel n'étaient significatives ni pour 6 voix ($F(1, 35) = 1.137$; n.s.) ni pour 8 voix ($F(1, 35) < 1$). Cela montre que les cocktails à 4 voix (normal et inversé) ne masquent pas le signal cible de la même façon bien qu'ils possèdent des structures spectrotemporelles très similaires.

Il semblerait que le cocktail à 4 voix soit le cocktail naturel qui perturbe le plus la compréhension du signal cible alors que le cocktail à 4 voix inversé est celui des cocktails inversés qui perturbe le moins la compréhension. L'effet de masquage le plus important étant obtenu pour une condition de parole dans la parole avec peu de locuteurs, il se pourrait que les mots du cocktail interfèrent avec le mot cible. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons comptabilisé et analysé les erreurs relevées à la place de la réponse attendue.

A.2.3.4. Analyse des erreurs

La plupart des erreurs observées étaient des erreurs phonologiquement proches des cibles attendues. Par exemple, la réponse « *âge* » ou la réponse « *page* » pouvaient être données au lieu du mot cible « *nage* ». Cependant, nous avons rencontré également des erreurs du type « *vanille* » à la place du mot « *bus* ». Nous avons analysé ce dernier type d'erreurs car il était susceptible d'être provoqué par l'influence des mots du bruit de fond. 182 erreurs ont été répertoriées ce qui représentait 1.76 % des erreurs totales de l'expérience. 66.5 % de ces erreurs ont été observées pour les conditions de cocktails naturels et 29.7 % apparaissaient pour les cocktails inversés. La condition de parole dans le bruit large bande a occasionné 3.8 % des erreurs (ce qui montre effectivement que cette condition était celle qui posait le moins de problèmes pour comprendre le signal cible). Nous avons effectué une analyse de la variance sur le nombre d'erreurs non-phonologiquement reliées aux mots cibles. Les VI testées étaient le Type de *cocktail party* (naturel ou inversé) et le Nombre de locuteurs (4, 6 ou 8). Nous avons observé un effet du Type de cocktail ($F(1, 35) = 12.169$; $p < .01$) et un effet du Nombre de locuteurs ($F(2, 70) = 3.818$; $p < .05$) mais également une interaction significative entre ces deux facteurs ($F(2, 70) = 3.855$; $p < .05$). Des comparaisons spécifiques ont indiqué que la différence d'erreurs entre cocktail naturel à 4 voix et cocktail inversé à 4 voix était significative ($F(1, 35) = 16.579$; $p < .001$). Les erreurs non-phonologiquement liées aux cibles étaient significativement plus nombreuses dans le cocktail naturel que dans le cocktail inversé.

Aucune différence n'était observée entre le cocktail inversé à 6 voix et le cocktail naturel à 6 voix ($F(1, 35) = 2.015$; n.s.), ni entre le cocktail inversé à 8 voix et le cocktail naturel à 8 voix ($F(1, 35) = 1.044$; n.s.). Enfin, il faut noter que parmi les erreurs observées pour la condition cocktail à 4 voix, 52.63 % (c'est-à-dire une vingtaine d'erreurs) correspondaient à des mots appartenant au cocktail.

A.2.4. Résumé des résultats

L'expérience 3 présentait plusieurs résultats significatifs. Nous avons observé un effet du type de cocktail. Les mots cibles étaient significativement mieux restitués dans le bruit large bande que dans les *cocktails party* à 8 voix naturel et inversé. Nous avons observé un effet du RS/B : les performances de restitution diminuaient linéairement avec la diminution du RS/B. Nous avons également observé que les mots cibles étaient mieux restitués dans le *cocktail party* à 4 voix inversées que dans le *cocktail party* à 4 voix naturel. De plus, des erreurs plus nombreuses ont été relevées dans le *cocktail party* naturel que dans le *cocktail party* inversé, et ces erreurs étaient pour la moitié d'entre elles des mots du bruit de fond.

A.2.5. Discussion

Plusieurs résultats de cette expérience méritent notre attention. L'expérience 3 avait pour but de mettre en évidence une éventuelle influence du bruit de fond sur la compréhension de mots cibles. Il apparaît tout d'abord que le genre des locuteurs du bruit de fond (lorsqu'ils ne sont que quatre) n'influçait pas les performances des participants. Il n'était pas plus facile de comprendre le mot prononcé par une voix masculine dans un bruit de fond composé de voix mixtes que dans un bruit de fond composé uniquement de voix masculines. Ce résultat ne réplique pas les résultats d'études sur la pertinence de la fréquence fondamentale (F_0) pour la perception de la voix cible dans des bruits paroliers concurrents (Culing & Darwin, 1993 ; Darwin, Brungart & Simpson, 2003). De même, il ne vérifie pas l'effet de genre obtenu par Brungart, *et al.* (2001) qui avaient observé que les performances de compréhension de la parole dans la parole sont moins bonnes lorsque le locuteur cible et les locuteurs concurrents sont tous de même genre. Cependant il faut préciser que cet effet était observé pour un nombre de voix concurrentes peu élevé (trois) alors que notre étude s'intéressait à au moins quatre locuteurs concurrents simultanés. De plus, il faut considérer que le genre des locuteurs n'était pas le sujet principal de notre expérience, aussi nous

n'avions pas contrôlé les F0 des différents locuteurs, et nous avons comparé les cocktails mixte et masculin uniquement pour la condition à 4 voix.

Concernant le RS/B, nous avons observé un effet simple de ce facteur. En effet, les performances augmentaient linéairement avec l'augmentation du RS/B. Le RS/B semble donc jouer un rôle constant quelles que soient les modalités des autres facteurs de l'expérience puisqu'il n'interagissait avec aucun des autres facteurs.

Le point le plus intéressant à discuter concerne les effets de masquage produits par les différentes sortes de bruits de fond. Tout d'abord, nous avons observé que le bruit large bande occasionnait de meilleures performances que les deux types de cocktails appariés. Ce résultat suggère que les bruits *cocktail party* présentaient une difficulté supplémentaire par rapport au bruit large bande. Le contenu linguistique des bruits *cocktail party* a visiblement gêné les participants pour retrouver les mots cibles par rapport au bruit large bande qui ne contenait aucune information linguistique. Ce résultat est en accord avec une précédente étude qui avait montré qu'un bruit *cocktail party* avait un effet de masque plus important qu'un bruit large bande (Brungart, Chang, Simpson & Wang, 2006).

Concernant les cocktails naturels et les cocktails inversés, on remarque que pour les cocktails inversés, les scores de reconstruction diminuaient linéairement avec l'augmentation du nombre de voix. Pour les cocktails naturels, on observe que le cocktail à 6 voix occasionnait de meilleures performances que les cocktails à 4 et 8 voix. Les profils de résultats ne sont donc pas les mêmes, nous avons observé une différence significative entre cocktail naturel à 4 voix et cocktail inversé à 4 voix. Pour les cocktails inversés, il semblerait que la reconnaissance de mots diminue lorsque le nombre de locuteurs dans le cocktail augmente, c'est-à-dire lorsque la saturation spectrotemporelle augmente. Pour les cocktails naturels, il semblerait qu'un effet de masquage interfère avec la compréhension des mots isolés, cependant on n'observait pas comme pour les cocktails inversés une diminution linéaire des performances avec l'augmentation de la saturation spectrotemporelle. En fait, les auditeurs ont identifié les mots cibles plus facilement dans le cocktail naturel à 6 locuteurs que dans le cocktail à 4 locuteurs. Ces résultats vont dans le sens de ceux de Simpson & Cook (2005) qui avaient montré que les performances de compréhension de la parole ne diminuent pas de façon linéaire dans un *cocktail party* naturel dont le nombre de locuteurs augmente, contrairement à celles observées pour un bruit large bande. Dans notre étude, une difficulté supplémentaire est observée pour la condition *cocktail party* à 4 voix par rapport à la condition *cocktail party* à 6 voix ; elle se traduit par une différence de restauration lexicale de 6 %. Ce constat contredit l'effet attendu d'une saturation spectrale progressive du signal

avec l'augmentation du nombre de locuteurs dans le cocktail. Nous pensons que cet effet est dû aux effets de masquage informationnel qui entrent en jeu dans la compréhension de la parole en situation *cocktail party*. Alors que le masquage énergétique est directement lié au nombre de locuteurs présents dans le cocktail, nos résultats suggèrent que différents masquages informationnels sont présents et dépendent du nombre de locuteurs simultanés. L'analyse des erreurs non-phonologiquement reliées aux mots cibles a montré que, dans la condition à 4 locuteurs, plus de mots du bruit de fond étaient activés et confondus avec les mots cibles. On peut donc suggérer que dans cette condition particulière, l'accès aux mots du bruit de fond induit un effet de masquage informationnel supplémentaire qui gêne la réalisation de la tâche. Dans la condition à 6 voix, l'augmentation du nombre de locuteurs rend moins disponible l'information lexicale du bruit de fond, ce qui occasionne un effet de masquage informationnel moins important que celui de la condition à 4 voix, et donc des performances plus élevées.

Cette expérience constitue un résultat préliminaire, les conclusions quant aux effets de masquages sont spécifiques aux conditions associées à cette expérience et observées dans une fourchette de 4 à 8 locuteurs. D'un point de vue psycholinguistique, nous pensons que ces résultats suggèrent la présence de compétitions lexicales entre le mot cible et les mots du bruit de fond. La plupart des modèles psycholinguistiques s'accordent au sujet de l'existence des compétitions lexicales (cf. Chapitre I.). La situation de *cocktail party* est une situation naturelle dans laquelle ces compétitions pourraient avoir lieu et dans laquelle il semble possible de les étudier et de les quantifier.

Ces résultats montrent que l'utilisation de l'effet *cocktail party* peut être un bon moyen pour étudier de près le phénomène des compétitions lexicales entre les informations linguistiques issues du signal cible et du bruit parolier concurrent. Dans les deux expériences suivantes (expériences 4a et 4b), nous avons tenté de mettre en évidence l'influence des mots du cocktail sur la reconnaissance d'items cibles à l'aide d'un effet psycholinguistique très robuste : l'effet de fréquence. En effet, nous avons tenté de montrer que la fréquence des mots du bruit de fond influence l'accès à l'item cible (mot ou pseudomot).

A.3. Expérience 4a : Effet de la fréquence d’occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de mots cibles en situation cocktail party chez le sujet sain normo-entendant

A.3.1. Résumé de l’expérience

L’expérience 4a avait pour but de mesurer les performances de restauration de mots détériorés par la présence de voix concurrentes. Nous nous sommes précisément intéressés à la question de savoir si les participants étaient sensibles au contenu linguistique du bruit de fond lors d’une tâche de compréhension de parole dans le bruit.

Plusieurs facteurs ont été testés :

- pour les mots cibles leur fréquence d’occurrence dans la langue,
- pour le bruit, le nombre de voix composant le *cocktail party* (4, 6 ou 8) et la fréquence des mots qui le constituent (forte ou faible).

Les participants écoutaient des extraits sonores contenant de la parole dans le bruit et devaient transcrire le mot cible par l’intermédiaire du clavier.

A.3.2. Méthode

A.3.2.1. Stimuli

A.3.2.1.1. *Mots cibles*

Nous avons sélectionné 120 mots expérimentaux dans la base *Lexique2* (New, *et al.*, 2004). Tous les mots étaient des noms communs de la langue française, monosyllabiques et composés de trois phonèmes (cf. annexe 6). Ces mots appartenaient à un vocabulaire courant et ont été sélectionnés selon leur fréquence d’occurrence dans la langue française (facteur f). Nous avons séparé les 120 mots en deux groupes de fréquence (+ ou -). Le Tableau 4 récapitule les valeurs de fréquence des deux groupes de mots expérimentaux sélectionnés.

Tableau 4: Tableau récapitulatif des fourchettes de fréquence utilisées

	Fréquence
-	Entre 1 et 4.94 M = 2.54
+	Entre 50.1 et 149.23 M = 66.39

Ensuite, les 120 items ont été enregistrés (22 kHz, mono, 16 bits) dans un caisson insonorisé par une locutrice de langue maternelle française âgée de 24 ans. Le matériel utilisé pour l'enregistrement se composait : du logiciel *Wavelab lite version 2.53 Steinberg editor*, d'une carte son digigram VX pocket 440, d'un préamplificateur Behringer ultragain MIC 2000 et d'un micro Røde NT1 équipé d'une membrane Popkiller K&M. Les enregistrements ont ensuite été normalisés à -3 dB à l'aide du logiciel Adobe® Audition® 1.0 puis segmentés en 120 fichiers indépendants contenant chacun un mot cible.

A.3.2.1.2. Bruits de fond

Pour enregistrer les bruits *cocktail party* qui ont servi de bruit de fond, nous avons élaboré deux listes de mots différentes composées chacune de 1250 mots issus de la base *Lexique2*. La première liste, appelée F+, était uniquement composée de mots très fréquents (fréquence comprise entre 45.03 et 13896.7 occurrences par million) la seconde liste, appelée F-, était uniquement constituée de mots peu fréquents dans la langue française (fréquence comprise entre 0.03 et 1 occurrence par million). Les deux listes contrastées en fréquence étaient équilibrées en nombre de lettres et nombre de syllabes des mots et comportaient la même proportion de mots de 1, 2, 3 et 4 syllabes. Le Tableau 5 récapitule ces données.

Tableau 5 : Critères d'équilibration des listes de mots composant le fond sonore

Critère		Liste F+	Liste F-
Fréquence	M	151.25	0.45
	SD	451.45	0.31
Nombre de lettres	M	7.45	7.81
	SD	1.85	1.25
Nombre de syllabes	M	2.45	2.63
	SD	0.74	0.70

Les deux listes ont été lues et enregistrées par huit locuteurs différents (quatre hommes et quatre femmes) d'âge moyen 25 ans et 4 mois. L'ordre des 1250 mots de chaque liste était différent pour chaque enregistrement. Les enregistrements des listes ont été effectués avec le matériel utilisé pour l'enregistrement des mots cibles (cf. section A.3.2.1.1.). Les enregistrements bruts variaient entre 13 min 38 s et 18 min 43 s (M = 15 min 31 s).

Nous avons ensuite écouté les enregistrements et ôté les mots mal prononcés, les bruits non assimilés à de la parole ainsi que les blancs d'une durée supérieure à une seconde. Les enregistrements finaux duraient entre 9 min 55 s et 12 min 39 s (M = 11 min 39 s).

Nous avons appliqué aux enregistrements les mêmes traitements acoustiques que ceux appliqués aux enregistrements de l'expérience 3 (réduction du bruit de fond, normalisation, calibration) à l'aide du même matériel. Nous avons effectué des corrections sur l'ensemble des enregistrements en appliquant des gains compris entre -3dB et -9dB. En mixant les différents enregistrements de locuteurs uniques, nous avons créé des *cocktails party* à 4, 6 et 8 voix que nous avons sauvegardés au format .wav (44 kHz, 16 bits, Stéréo).

Au total, nous avons créé six *cocktails party* différents :

Deux cocktails C4 composés de 2 voix féminines et de 2 voix masculines, l'un F+, l'autre F-,

Deux cocktails C6 composés de 3 voix féminines et de 3 voix masculines, l'un F+, l'autre F-,

Deux cocktails C8 composés de 4 voix féminines et de 4 voix masculines, l'un F+, l'autre F-.

Par la suite, nous nommerons les différents cocktails à l'aide des abréviations C4F+, C4F-, C6F+, C6F-, C8F+ et C8F-.

A.3.2.2. Stimuli

Dans chaque cocktail, nous avons découpé 120 extraits d'une durée de quatre secondes à l'aide du logiciel Matlab qui nous a permis également de générer les stimuli. Le programme a mixé chaque mot cible avec un extrait de chaque type de cocktail. Chaque stimulus était composé de quatre secondes de bruit *cocktail party* à l'intérieur duquel l'item cible apparaissait 2.5 secondes après le début du bruit. Chaque mot cible possédait donc six versions possibles (une pour chaque bruit de fond superposé). Au total, nous avons donc généré $240 \times 6 = 1440$ stimuli. Nous avons ensuite créé six listes expérimentales contenant chacune 120 mots. Une version possible de chaque mot a été attribuée à l'une des six listes expérimentales de façon à ce que chaque mot n'apparaisse qu'une seule fois par liste.

A.3.2.3. Procédure expérimentale

Tous les participants ont tout d'abord passé une audiométrie tonale en caisson isolé (cf. méthode décrite Chapitre II.). L'expérimentateur a contrôlé leurs seuils d'audition à l'aide d'un audiomètre AC 33. Tous les participants présentaient une audition normale (pas de seuils supérieurs à 20 dB HL entre 125 Hz et 8 KHZ aux fréquences de l'octave). Ensuite, chaque participant a passé l'expérience 4a. La passation s'est déroulée dans la salle d'expérimentations de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Les participants étaient placés face à un écran d'ordinateur de type PC, ils portaient un casque audio qui diffusait les stimuli un à un en mode diotique. La consigne (cf. annexe 7) leur était donnée oralement par l'expérimentateur puis réapparaissait à l'écran en début d'expérience. Chaque participant a été

confronté à l'une des six listes expérimentales. L'ordre des stimuli avait été établi au préalable dans un ordre pseudo-aléatoire par un programme Matlab de façon à ce que deux nombres de voix identiques ou deux catégories de fréquence identiques n'apparaissent jamais consécutivement. La phase expérimentale était précédée par une phase d'entraînement de quelques essais pour que les participants se familiarisent avec la tâche. Le début de l'expérience était auto-initié par les participants lorsqu'ils avaient terminé la lecture de la consigne. Chaque stimulus ne pouvait être entendu qu'une seule fois. Après chaque stimulus les participants devaient retranscrire au clavier ce qu'ils avaient entendu le plus fidèlement possible sans limite de temps.

A.3.2.4. Participants

Quarante participants (20 femmes, 20 hommes) de langue maternelle française ont passé l'expérience 4a. Leur âge variait entre 18 et 25 ans ($M = 21.5$ ans). Aucun d'entre eux ne souffrait de troubles auditifs ou du langage et tous avaient une vue normale ou corrigée. Les participants n'étaient pas informés du but de l'étude et ont été dédomagés à hauteur de 7.5€ pour leur participation.

A.3.2.5. Plan expérimental

Le plan expérimental de l'expérience 4a était le suivant : $P40 * M10 < F_2 * N_3 * FC_2 >$
Avec :
P : les Participants testés au nombre de 40
M : les Mots répartis au nombre de 10 par condition soit 120 au total
F : le facteur fréquence du mot à deux modalités, f+ et f-
N : le facteur Nombre de voix du cocktail à trois modalités C4, C6, C8 pour respectivement 4, 6 et 8 voix
FC : le facteur Fréquence du Cocktail à 2 modalités, F+ et F-.

Les variables indépendantes (VI) étaient toutes des variables intra-sujets. Il s'agissait des facteurs Fréquence, Cocktail et Fréquence du Cocktail. La variable dépendante (VD) correspondait aux pourcentages de restitution correcte des participants.

A.3.3. Résultats

Les réponses des participants dyslexiques ont été codées en valeurs numériques, nous avons effectué un codage lexical et un codage phonologique des données, cependant nous ne présenterons que les résultats du codage lexical car les effets obtenus à l'aide du codage

phonologique étaient de moindre ampleur. De plus le codage phonologique apportait une information sur la reconstruction qui n'était pas rigoureusement représentative de la compréhension du mot. Par exemple la réponse « *déluge* » pour le mot « *luge* » recevait 100 % de restitution puisque les trois phonèmes du mot cible étaient restitués, alors qu'il s'agit pourtant d'un mot différent du mot cible. Le codage lexical était effectué de la façon suivante, la valeur 100 % était attribuée si le mot, et uniquement celui-ci, était restitué. Les homophones étaient tolérés. Par exemple la réponse « *ramer* » pour le mot « *rame* » recevait 0 % et la réponse « *balle* » pour le mot « *bal* » recevait 100 %.

Nous avons effectué une analyse statistique ANOVA à mesures répétées (logiciel Statview) en considérant comme variable aléatoire d'une part, les participants ($F1$) et d'autre part les items ($F2$). Nous n'avons exclu aucun participant et aucun mot de l'analyse qui comportait en totalité 40 participants et 120 items soit 4800 données.

A.3.3.1. Effet du facteur Fréquence des mots cibles

Nous avons observé un effet simple de la fréquence des mots cibles. Les mots de forte fréquence étaient mieux reconstruits que les mots de faible fréquence. En moyenne, la condition f+ a occasionné 71.08 % de restitution correcte (DS = 6.39) contre 49.92 % (DS = 6.73) pour la condition f-. Les analyses par sujets et par items montraient un effet global significatif de la fréquence des mots cibles ($F1(1, 39) = 368.72$; $p < .0001$; $F2(1, 118) = 14.92$; $p < .001$) ; comparable à celui observé pour l'expérience 1a (cf. Chapitre II.). Ce résultat permet de confirmer que notre matériel expérimental était conforme aux caractéristiques de fréquence données par la base *Lexique2*.

A.3.3.2. Effet du Nombre de voix du cocktail

Nous n'avons pas observé d'effet simple du Nombre de voix composant le bruit de fond. Les pourcentages de restitution correcte obtenus pour les mots étaient de 60.44 % (DS = 8.41) pour la condition C4, 61.81 % (DS = 6.25) pour la condition C6 et 59.25 % (DS = 8.34) pour la condition C8. Les analyses de la variance par sujets et par items n'ont pas montré d'effet du nombre de voix sur les scores de restitution : $F1(2, 78) = 1.52$, n.s., $F2(2, 119) = 1.55$, n.s.

A.3.3.3. Effet de la Fréquence des mots du cocktail

Nous n'avons pas observé d'effet de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des mots cibles. Les mots étaient reconstruits à 61.42 % (DS = 7.44) dans un cocktail de mots

fréquents et à 59.58 % (DS = 7.37) dans un cocktail de mots peu fréquents. L'analyse de la variance n'a pas montré d'effet de la fréquence du cocktail pour la reconstruction des mots par sujets ni par items ($F1(1, 39) = 1.4$, n.s., $F2(1, 119) = 2.69$, n.s).

A.3.3.4. Interaction entre les facteurs Fréquence

Les mots peu fréquents étaient reconstruits à 48.92 % (DS = 8.65) dans le cocktail F- et à 50.92 % (DS = 8.93) dans le cocktail F+ et les mots fréquents à 70.25 % (DS = 9.82) dans le cocktail F- et à 71.92 % (DS = 9.42) dans le cocktail F+. L'ANOVA a révélé que l'interaction entre les facteurs fréquence des mots cibles et Fréquence des mots du cocktail était non significative par sujets ($F1(1, 39) < 1$) mais significative par items ($F2(3, 236) = 11.71$, $p < .0001$).

A.3.4. Résumé des résultats obtenus

Le seul résultat significatif que nous ayons observé est l'effet de la fréquence des mots cibles (les mots de forte fréquence étaient mieux restitués que les mots de faible fréquence). Nous allons à présent nous pencher sur la restitution de pseudomots dégradés par des bruits paroliers concurrents.

A.4. Expérience 4b : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de pseudomots cibles en situation cocktail party chez le sujet sain normo-entendant

A.4.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 4b avait pour but de mesurer la restauration lexicale de pseudomots détériorés par la présence de voix concurrentes. Nous nous sommes précisément intéressés à la sensibilité des participants au contenu linguistique du bruit de fond lors d'une tâche de compréhension de pseudomots dans le bruit. Nous avons focalisé notre attention sur le facteur Fréquence des mots du cocktail. L'expérience 4b était en tout point identique à l'expérience 4a, excepté le fait que les stimuli cibles utilisés étaient des pseudomots.

A.4.2. Méthode

A.4.2.1. Stimuli

A.4.2.1.1. *Pseudomots cibles*

À partir des 120 noms expérimentaux utilisés dans l'expérience 4a, nous avons construit 120 pseudomots monosyllabiques (cf. annexe 6) en mélangeant les phonèmes des mots cibles. Tous les pseudomots respectaient les contraintes phonotactiques du français, c'est-à-dire qu'aucun des pseudomots construits ne présentait un enchaînement illégal en langue française. Ensuite, ces 120 pseudomots ont suivi toutes les étapes de préparation décrites précédemment (cf. section A.3.2.) pour aboutir au statut de pseudomots expérimentaux (enregistrement, normalisation, segmentation).

A.4.2.1.2. *Stimuli*

Les bruits de fond utilisés pour l'expérience 4b étaient les mêmes que ceux utilisés pour l'expérience 4a. La durée des enregistrements avait fourni une quantité suffisante d'extraits de *cocktail party* de quatre secondes pour ne pas avoir à réutiliser les mêmes extraits deux fois. Chaque pseudomot a donc été mixé avec un extrait de chaque type de cocktail party (C4F+, C4F-, C6F+, C6F-, C8F+ et C8F-). Les différents stimuli ont été répartis en six listes expérimentales contrebalancées comme dans l'expérience 4a.

A.4.2.2. Procédure expérimentale

Les conditions expérimentales étaient exactement identiques à celles de l'expérience 4a. Les participants entendaient les stimuli un à un et devaient transcrire ce qu'ils avaient entendu par l'intermédiaire du clavier. Ils étaient informés par la consigne (cf. annexe 7) qu'il s'agissait de pseudomots et l'expérimentateur rappelait si nécessaire la définition d'un pseudomot.

A.4.2.3. Participants

Les 40 participants à l'expérience 4a ont participé également à l'expérience 4b. La moitié des participants a commencé par l'expérience 4a et l'autre moitié par l'expérience 4b. Une pause était effectuée entre les deux expériences qui duraient au total 45 minutes additionnées aux 10 minutes d'audiométrie tonale.

A.4.2.4. Plan expérimental

Le plan expérimental de l'expérience 4b était le suivant: $A_{40} * P_{20} < C_3 * F_2 >$

Avec :

A : les Auditeurs au nombre de 40

P : les Pseudomots répartis au nombre de 20 par condition soit 120 au total

N : le facteur Nombre de voix du cocktail à trois modalités C_4 , C_6 , C_8 pour respectivement 4,6 et 8 voix

F : le facteur Fréquence du cocktail à 2 modalités, F_+ et F_- .

A.4.3. Résultats

A.4.3.1. Effet du Nombre de voix du cocktail

Nous n'avons pas observé d'effet simple du Nombre de voix composant le bruit de fond. Les analyses par sujets et par items n'ont pas montré d'effet du Nombre de voix sur les scores de restitution ($F1(2, 39) = 1.86$, n.s., $F2(2, 238) = 1.6$, n.s.). Les pourcentages de restitution correcte obtenus pour les pseudomots étaient de 41 % (DS = 11.09) pour la condition C_4 , 40.06 % (DS = 10.32) pour la condition C_6 et 37.19 % (DS = 9.37) pour la condition C_8 .

A.4.3.2. Effet de la Fréquence des mots du cocktail

Nous avons observé un effet simple de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des pseudomots. En moyenne, les pseudomots étaient reconstruits à 37.88 % (DS = 7.85) dans un cocktail de mots fréquents et à 40.96 % (DS = 9.21) dans un cocktail de mots peu fréquents. L'analyse de la variance montrait un effet marginal de la Fréquence du cocktail pour la reconstruction des pseudomots par sujets ($F1(1, 39) = 3.97$; $p = .05$), mais pas par items $F2(1, 119) = 2.9$; n.s.

A.4.3.3. Interaction Nombre de voix du cocktail-Fréquence des mots du cocktail

Nous avons observé un effet d'interaction entre le Nombre de voix et la Fréquence des mots du cocktail pour la reconstruction des pseudomots. L'analyse de la variance confirme la significativité de l'interaction par sujets ($F1(2, 78) = 3.72$; $p < .05$) mais pas par items ($F2(2, 238) = 1.6$; n.s.). Des comparaisons spécifiques ont montré qu'en moyenne, on n'observait pas de différence entre le cocktail peu fréquent et le cocktail fréquent pour la

condition 8 voix ($F(1, 39) < 1$). Pour cette condition on obtenait 36.25 % (DS = 12.8) dans le cocktail F- et 38.13 % (DS = 12.07) de reconstruction dans le cocktail F+.

En revanche, nous avons observé des différences significatives entre les pourcentages moyens de reconstruction pour les deux types de cocktails dans les conditions *cocktail party* à 4 voix ($F(1, 39) = 7.01$; $p < .05$) et à 6 voix ($F(1, 39) = 4.06$; $p = .05$). Pour la condition à 4 voix, les pourcentages de reconstruction étaient de 44.38 % (DS = 13.6) dans le cocktail F- et de 37.63 % (DS = 13.77) dans le cocktail F+. Pour la condition à 6 voix, les pourcentages de reconstruction étaient de 42.25 % (DS = 14.09) dans le cocktail F- et de 37.08 % (DS = 10.43) dans le cocktail F+. La Figure 30 représente les taux de restitution pour ces six conditions.

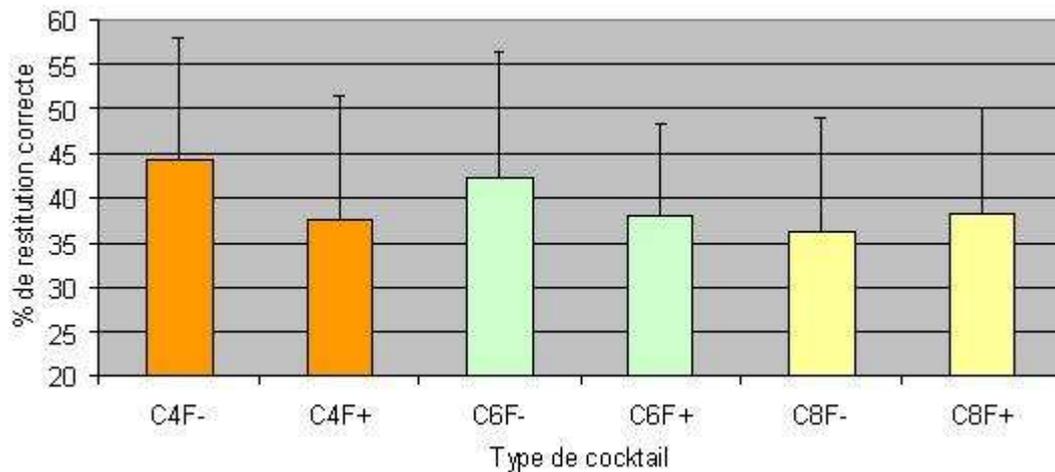


Figure 30 : Interaction entre le Nombre de voix et la Fréquence des mots du cocktail

A.4.4. Résumé des résultats

Nous avons observé dans l'expérience 4b un effet simple de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des pseudomots. Les pseudomots étaient mieux restitués dans un cocktail de mots peu fréquents que dans un cocktail de mots fréquents. Nous n'avons pas observé d'effet simple du Nombre de voix composant le bruit de fond cependant l'interaction entre le Nombre de voix et la Fréquence des mots du cocktail était significative par sujets. Les pseudomots étaient significativement mieux reconstruits dans les cocktails de mots peu fréquents pour les conditions à 4 voix et 6 voix.

A.5. Comparaison des Expériences 4a et 4b

Nous avons comparé les résultats obtenus pour la restitution des mots (expérience 4a) et des pseudomots (expérience 4b) en situation de perception de la parole dans la parole.

A.5.1. Effet simple du type d'item

En comparant les expériences 4a et 4b nous avons observé un effet lexical, les mots étaient mieux restitués que les pseudomots. En moyenne, les mots étaient reconstruits à 60.5 % (DS = 5.56) et les pseudomots à 39.42 % (DS = 7.02). L'analyse de la variance a montré un effet simple significatif du type d'item ($F1(1, 39) = 294.87$; $p < .0001$; $F2(1, 238) = 34.73$; $p < .0001$).

Globalement, les scores de restitution étaient de 50.72 % (DS = 8.16) pour la condition à 4 voix ; 50.94 % (DS = 6.95) pour la condition à 6 voix et 48.22 % (DS = 6.59) pour la condition à 8 voix. Concernant la fréquence des mots du cocktail, globalement, les participants restituaient les items à 50.27 % (DS = 6.73) dans le cocktail de mots peu fréquents et à 49.65 % (DS = 5.93) dans le cocktail de mots fréquents. Les ANOVAs n'ont montré aucun effet global du Nombre de voix ($F1(2, 39) = 2.19$; n.s.) ni de la Fréquence des mots du cocktail ($F1(1, 39) < 1$; n.s.) sur la restitution des items.

A.6. Discussion

L'expérience 3 et ses résultats nous ont permis de cibler les conditions expérimentales des expériences 4a et 4b et de mettre en évidence une influence des mots contenus dans le bruit de fond pendant la tâche de restitution de mots cibles. Nous avons pu voir que le RS/B, ne module en rien cet effet, pas plus que le genre des locuteurs du bruit de fond. Les effets de masquages énergétique et informationnel observés dans l'expérience 3 suggèrent que les auditeurs ont été sensibles au contenu linguistique du bruit de fond et que ces éléments linguistiques peuvent perturber la recherche lexicale de la cible.

À partir de ces premières données, nous avons expérimenté la restitution de mots et de pseudomots cibles dégradés par la présence de signaux de parole concurrents. Nous avons paramétré nos expériences 4a et 4b en fonction des résultats obtenus à l'expérience 3. Nous avons utilisé trois types de *cocktail party* différents (à 4, 6 et 8 voix) et nous avons choisi de ne pas réintégrer le facteur RS/B. Nous avons rigoureusement contrôlé le contenu de nos bruits *cocktail party* qui pouvaient être de deux types : soit constitués uniquement de mots très

fréquents en français (cocktails F+), soit uniquement constitués de mots très peu fréquents en français (cocktails F-). Nous nous sommes penchés très attentivement sur l'effet de ce paramètre de fréquence du cocktail sur les taux de restitution des mots (expérience 4a) et des pseudomots (expérience 4b).

Les résultats des expériences 4a et 4b montrent que les mots étaient mieux reconstruits que les pseudomots ce qui est cohérent car les pseudomots n'ont pas de représentation stockée en mémoire, ils ne sont pas archivés dans le lexique mental. De ce fait, et contrairement aux mots, ils n'ont bénéficié d'aucune aide lexicale au moment de l'effort de reconstruction.

En ce qui concerne les mots, nous avons observé un effet principal de leur fréquence d'occurrence. Les mots de forte fréquence ont été mieux restitués que les mots de faible fréquence et cela quels que soient les autres paramètres. En effet la fréquence interne du mot influence les performances de restitution quel que soit le nombre de voix qui composent le bruit de fond et quelle que soit la fréquence des mots du bruit de fond. Il semblerait donc que la fréquence étant un paramètre interne de stockage du mot dans le lexique, elle facilite l'accès lexical lorsqu'elle est élevée, et cela même en présence de bruit de fond.

Nous avons observé un effet simple significatif de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des pseudomots cibles. Lorsque les mots distracteurs (du bruit de fond) étaient de basse fréquence, le pourcentage de restitution était plus élevé. À l'inverse, si les mots du bruit de fond étaient de forte fréquence, ils gênaient la reconstruction de l'item cible. Cela signifie que les locuteurs ont été sensibles à cette caractéristique de fréquence : lorsque les mots du bruit de fond étaient de forte fréquence, il est possible qu'ils aient plus attiré l'attention du locuteur (de par leur familiarité), par conséquent, les ressources attentionnelles disponibles pour traiter l'item cible étaient moindres et le pourcentage de restitution diminuait. À l'opposé, il serait possible que les mots du bruit de fond de faible fréquence aient moins attiré l'attention de l'auditeur parce qu'ils étaient moins saillants. De ce fait, le système aurait disposé de plus de ressources attentionnelles pour traiter l'item cible ce qui expliquerait les scores de restitution plus élevés. Malheureusement, il n'est pas possible d'expliquer le phénomène de perception de la parole dans la parole à l'aide d'un modèle psycholinguistique. En effet, les modèles psycholinguistiques ne traitent pas de la perception de la parole spontanée et encore moins de la perception de la parole dans la parole, mais ils s'appliquent à des situations de perception idéales (mots clairement prononcés dans le silence).

Nous n'avons pas observé d'interaction entre la fréquence des mots cibles et la fréquence des mots du cocktail. Les mots cibles de forte fréquence étaient mieux reconstruits que les mots de faible fréquence, et ce à un taux identique quelle que soit la fréquence des

mots du bruit de fond. Nous avons cependant observé une interaction entre la fréquence des mots du cocktail et le nombre de voix composant le cocktail pour les conditions 4 voix et 6 voix: les stimuli étaient significativement mieux reconstruits dans un cocktail de mots peu fréquents à 4 ou 6 voix que dans un cocktail de mots fréquents à 4 ou 6 voix. Nous n'avons pas observé de différence entre le cocktail de mots fréquents et le cocktail de mots peu fréquents pour la condition à 8 voix. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que c'est dans la condition où peu de voix sont mélangées que les locuteurs peuvent être sensibles à un paramètre comme la fréquence des mots concurrents. Au-delà de 6 voix, le bruit de fond devient trop diffus pour mettre en évidence un effet de la différence de fréquence des deux types de cocktails. À 4 et 6 voix cependant, le bruit de fond n'est pas encore suffisamment chargé et il est donc possible que les locuteurs soient influencés par un paramètre inhérent aux mots du bruit de fond. De plus, cet effet était présent pour la restitution des pseudomots, mais pas pour celle des mots. Il semblerait que la difficulté supplémentaire due à la restitution des pseudomots permette de mettre en évidence l'effet de la fréquence des mots du bruit de fond. Il serait possible que pour la restitution des mots, les mécanismes lexicaux aient compensé l'interférence occasionnée par les mots du bruit de fond et qu'ainsi, aucune différence de performances significative n'ait été observée.

Ces résultats sont les premiers à mettre en évidence l'effet d'un paramètre psycholinguistique interne aux mots composant le bruit de fond sur la compréhension d'un signal de parole cible. Ces résultats soulèvent tout un ensemble de questions concernant les capacités cognitives de concentration dans le bruit puisqu'il apparaît que la tâche est perturbée par le traitement irrépressible du contenu informationnel du bruit de fond.

Nous allons à présent examiner les performances de compréhension de la parole dans la parole chez les dyslexiques adultes.

B. INTELLIGIBILITÉ DE LA PAROLE DANS LA PAROLE CHEZ LES DYSLEXIQUES NORMO-ENTENDANTS

Peu d'études se sont intéressées à la compréhension de la parole dans la parole chez les adultes dyslexiques. Sont-ils plus gênés dans le bruit pour comprendre un message parlé que les normo-lecteurs ? Des études récentes suggèrent que les patients dyslexiques présentent des troubles de la perception de la parole (voir McBride-Chang, 1995, pour une revue) et des difficultés pour la séparation de flux auditifs (Helenius, *et al.*, 1999). D'après Manis, *et al.* (1997) et Serniclaes, *et al.* (2001), les dyslexiques présenteraient des difficultés à extraire des représentations phonologiques discrètes à partir des traits phonétiques contenus dans le signal de parole. De plus, certaines études montrent un déficit plus fondamental au niveau du traitement des informations auditives de bas niveaux. En particulier, de nombreuses études ont montré chez les dyslexiques des troubles dans le traitement de stimuli acoustiques courts, présentés rapidement et sujets à des changements dynamiques (McArthur & Bishop, 2001, Tallal, 1980). Il semblerait que le déficit auditif de perception de ces caractéristiques temporelles soit à l'origine des troubles de perception de la parole. Par conséquent, il a été proposé que le déficit de perception de la parole interfère avec le développement des représentations phonologiques, et donc avec l'acquisition de la lecture et de l'écriture (Tallal, 1980 ; Tallal, 1984).

De nombreuses études ont clairement établi que les personnes présentant un trouble du langage ont des difficultés avec la perception de la parole en environnement bruyant. Dans une tâche de discrimination dans le bruit, il a été montré que c'est la condition de masquage rétroactif qui perturbe le plus les dyslexiques, c'est-à-dire une condition dans laquelle le son à détecter est immédiatement suivi d'une autre stimulation auditive (Rosen & Mangarini, 1999 ; Bishop, Carlyon, Deeks & Bishop, 1999 ; McArthur & Hogben, 2001 ; Hartley & Moore, 2002). Cette difficulté pour percevoir des sons séquentiels se reflète dans la ségrégation excessive des flux sonores que Helenius, *et al.* (1999) ont observé chez les dyslexiques adultes. D'autres travaux ont montré une relation entre une résolution auditive dégradée et des troubles de la lecture (Van Ingelghem, Van Wieringen, Wouters,

Vandenbussche, Onghena & Ghesquière, 2001). L'étude dans le bruit de Brady, *et al.* (1983) a montré que des enfants de neuf ans mauvais lecteurs avaient plus de difficultés à répéter des mots présentés dans le bruit que les enfants contrôles du même âge alors que les performances des deux groupes ne variaient pas dans le silence. Chez les adultes, l'étude de Chermak, *et al.* (1989) a montré des scores d'identification de mots dans le bruit significativement différents entre un groupe d'adultes présentant des troubles de l'apprentissage et un groupe d'adultes contrôles. Deux autres études chez les enfants ont manipulé des phrases cohérentes dans le bruit et montré que les enfants souffrant de troubles du langage ou de l'audition (Stollman, *et al.*, 1994) ou encore de troubles de l'acquisition (Bradlow, *et al.*, 2003) présentaient des scores de perception des phrases dans le bruit plus bas que les groupes contrôles. Les deux études précisent que les enfants avec troubles du langage étaient plus perturbés par la baisse d'audibilité du signal que les groupes contrôles.

Tous ces résultats montrent des difficultés de compréhension de la parole dans le bruit chez les participants présentant des troubles dyslexiques. Cependant, la question de savoir si le contenu du bruit de fond a une influence sur les performances de ces patients reste en suspens. Les patients dyslexiques sont-ils sensibles aux effets de masquage énergétique et informationnel contenus dans un bruit de type *cocktail party* ? Si oui, présentent-ils des résultats similaires ou différents de ceux des normo-lecteurs ? Le nombre de voix concurrentes a-t-il un impact sur leur compréhension du message verbal cible ? Le contenu lexical du bruit de fond perturbe-t-il la recherche de l'item cible comme c'est le cas chez les participants normo-lecteurs ? Nous avons tenté de répondre à ces questions à l'aide des expériences 5a et 5b présentées dans cette partie.

B.1. Expérience 5a : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de mots cibles en situation cocktail party chez le sujet dyslexique normo-entendant

B.1.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 5a avait pour but de mesurer la restauration lexicale de mots détériorés par la présence de voix concurrentes chez des participants adultes dyslexiques. L'expérience 5a était identique à l'expérience 4a (cf. Partie A.), seule la saisie des réponses variait. Nous nous sommes précisément intéressés à la question de savoir si les participants dyslexiques étaient sensibles au contenu linguistique du bruit de fond lors d'une tâche de compréhension de parole dans le bruit. Nous avons testé les mêmes facteurs que dans l'expérience 4a, à savoir la

fréquence d'occurrence des mots cibles dans la langue, le nombre de voix composant le *cocktail party* (4, 6 ou 8) et la fréquence moyenne des mots qui le constituaient (forte ou faible). Les participants dyslexiques écoutaient des extraits sonores contenant de la parole dans le bruit et devaient répéter les mots cibles à deux expérimentateurs qui notaient les réponses par l'intermédiaire du clavier.

B.1.2. Méthode

B.1.2.1. Stimuli

Les stimuli utilisés dans l'expérience 5a (cf. annexe 6) étaient identiques à ceux utilisés dans l'expérience 4a (cf. Partie A. pour le détail de la sélection et de la préparation des stimuli).

B.1.2.2. Procédure expérimentale

La procédure expérimentale était très proche de celle utilisée pour l'expérience 3 (cf. Partie A.). L'expérience a eu lieu dans la salle d'expérimentation de l'Institut des Sciences de l'Homme à Lyon. Contrairement au groupe de normo-lecteurs qui ont été testés collectivement, les participants dyslexiques ont tous été testés individuellement. Le participant dyslexique était placé dans un box isolé face à l'écran d'ordinateur. Sa tâche était d'écouter les stimuli diffusés un à un dans le casque et de les répéter à haute et intelligible voix. Deux expérimentateurs prenaient place face à des ordinateurs de part et d'autre des cloisons du box occupé par le participant et transcrivaient au clavier la réponse donnée à voix haute par le participant dyslexique. Cette double saisie des réponses permettait de transcrire le plus fidèlement possible la réponse du participant. L'expérimentateur principal pilotait l'expérience, c'est-à-dire qu'il lançait le début de l'expérience et passait ensuite d'un stimulus au suivant lorsqu'il avait terminé de transcrire la réponse du participant. Le participant n'avait pas à se soucier du déroulement de l'expérience. Le volume sonore des stimuli était le même que celui utilisé dans l'expérience 4a. Chaque participant était testé à l'aide de l'une des six listes de mots à l'intérieur de laquelle l'ordre d'apparition des stimuli était pseudo-aléatoire (cf. Partie A.). La consigne (cf. annexe 8) était donnée oralement par l'expérimentateur principal qui s'assurait que le participant avait bien compris le principe de l'expérience. Avant la phase de test, l'expérience débutait par un entraînement de quelques essais qui n'ont pas été pris en compte dans les résultats. Le participant dyslexique pouvait faire l'entraînement plusieurs fois pour s'assurer d'avoir bien compris la tâche. Les participants pouvaient faire

une pause à tout instant s'ils le souhaitaient et n'étaient pas limités en temps pour donner leurs réponses.

B.1.2.3. Participants

Quarante-neuf patients dyslexiques (25 femmes ; 24 hommes) parmi les 50 patients dyslexiques ayant participé aux expériences 2a et 2b ont passé l'expérience 5a. Seul un participant masculin âgé de 45 ans n'a pas du tout réussi à effectuer la tâche de perception de parole dans le bruit. Tous étaient naïfs par rapport au but de l'étude. Leur âge variait entre 16 et 40 ans ($M = 24.73$, $DS = 6.57$) ; tous avaient une vue normale ou corrigée et aucun ne souffrait de troubles auditifs. Tous les participants dyslexiques nous avaient fourni un diagnostic de leur dyslexie établi par leur orthophoniste ou leur médecin neuropsychologue. Nous avons vérifié leur dyslexie grâce au test de lecture de l'Alouette¹³ (Lefavrais, 1967) et au test Odédys¹⁴. Nous nous sommes assurés de cette façon que tous les participants présentaient des troubles du langage associés à un Quotient Intellectuel normal. Tous les participants étaient volontaires et ont été dédommagés pour leur participation.

B.1.2.3.1. *Plan expérimental*

Le plan expérimental de l'expérience 5a était le suivant: $D_{49} * M_{10} < F_2 * N_3 * FC_2 >$

Avec :

D : les participants Dyslexiques testés au nombre de 49

M : les Mots répartis au nombre de 10 par condition soit 120 au total

F : le facteur fréquence du mot à deux modalités, f+ et f-

N : le facteur Nombre de voix du *cocktail party* à trois modalités C_4 , C_6 et C_8 pour respectivement 4,6 et 8 voix

FC : le facteur Fréquence du Cocktail à 2 modalités, F+ et F-.

Les variables indépendantes (VI) étaient toutes des variables intra-sujets. Il s'agit des facteurs Fréquence, Cocktail et Fréquence du Cocktail (les f minuscules feront référence à la fréquence des mots cibles et les F majuscules à la fréquence des mots du cocktail). La variable dépendante (VD) correspondait aux pourcentages de restitution correcte des participants.

¹³ Test permettant de déterminer l'âge de lecture

¹⁴ Outil de Dépistage des Dyslexies mis au point en 2002 par les laboratoires de Psychologie & Neuro-Cognition et Cogni-Sciences de Grenoble.

B.1.3. Résultats

Tous les participants dyslexiques et tous les mots ont été inclus dans l'analyse. L'analyse comportait donc 49 participants et 120 mots soit 5880 données. Nous avons transformé les réponses écrites des participants dyslexiques en performances numériques selon la méthode décrite dans la partie A.. La significativité de nos résultats a été mesurée à l'aide d'une analyse statistique ANOVA à mesures répétées, en considérant comme variable aléatoire d'une part les participants ($F1$), et d'autre part, les items ($F2$).

B.1.3.1. Effet du facteur Fréquence des mots cibles

Nous avons observé un effet simple de la fréquence des mots cibles : les mots de forte fréquence étaient mieux reconstruits que les mots de faible fréquence. En moyenne, la condition f+ occasionnait 65.54 % de restitution correcte (DS = 7.5) contre 43.1 % (DS = 9.25) pour la condition f-. Les analyses par sujets et par items montraient un effet global significatif de la fréquence des mots cibles ($F1(1, 48) = 488.11$; $p < .0001$; $F2(1, 118) = 22.62$; $p < .0001$). Ce résultat permet de confirmer que notre matériel expérimental était conforme aux caractéristiques de fréquence données par la base *Lexique2*, et que les dyslexiques présentaient une sensibilité à la fréquence des mots cibles. Il était donc pertinent de tester leur sensibilité à la fréquence des mots du bruit de fond.

B.1.3.2. Effet du Nombre de voix du cocktail

Nous n'avons pas observé d'effet simple du Nombre de voix composant le bruit de fond. Les pourcentages de restitution correcte obtenus pour les mots étaient de 53.62 % (DS = 10.08) pour la condition C4, 55.01 % (DS = 8.92) pour la condition C6 et 54.33 % (DS = 8.73) pour la condition C8. Les analyses de la variance par sujets et par items ne montraient pas d'effet du nombre de voix sur les scores de restitution ($F1(2, 48) < 1$, $F2(2, 119) = 1.18$, n.s.).

B.1.3.3. Effet de la Fréquence des mots du cocktail

Nous n'avons pas observé d'effet de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des mots cibles. Les mots étaient reconstruits à 54.55 % (DS = 8.82) dans un cocktail de mots fréquents et à 54.1 % (DS = 8.23) dans un cocktail de mots peu fréquents. L'analyse de la variance ne montrait pas d'effet de la fréquence du cocktail pour la reconstruction des mots par sujets ni par items ($F1(1, 48) < 1$; $F2(1, 119) < 1$).

B.1.3.4. Interaction entre les facteurs Fréquence

Les mots peu fréquents étaient reconstruits à 42.91 % (DS = 9.61) dans le cocktail F- et à 43.29 % (DS = 12.56) dans le cocktail F+, et les mots fréquents à 65.23 % (DS = 10.52) dans le cocktail F- et à 65.86 % (DS = 9.89) dans le cocktail F+. L'ANOVA a révélé que cette interaction était non significative par sujets ($F(1, 48) < 1$) mais significative par items ($F(3, 236) = 14.25, p < .0001$).

B.1.4. Résumé des résultats obtenus

Globalement, les participants dyslexiques présentaient des résultats très similaires à ceux des participants normo-lecteurs. Les scores de restitution obtenus dans l'expérience 5a étaient inférieurs de 5 à 8 % à ceux obtenus dans l'expérience 4a selon la condition considérée, mais les effets des différents facteurs étaient cependant similaires. Nous avons observé un effet de la fréquence d'occurrence des mots cibles semblable à celui observé dans l'expérience 4a chez les normo-lecteurs ; les mots fréquents étaient mieux restitués que les mots peu fréquents. Nous allons à présent étudier la restitution des pseudomots dégradés par des bruits paroliers concurrents.

B.2. Expérience 5b : Effet de la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond sur la compréhension de pseudomots cibles en situation cocktail party chez le sujet dyslexique normo-entendant

B.2.1. Résumé de l'expérience

L'expérience 5b avait pour but de mesurer la restauration lexicale de pseudomots détériorés par la présence de voix concurrentes chez des dyslexiques adultes. L'expérience 5b était en tout point identique à l'expérience 5a, excepté le fait que les stimuli cibles utilisés étaient des pseudomots. Nous nous sommes précisément intéressés à la question de savoir si les participants dyslexiques étaient sensibles au contenu linguistique du bruit de fond lors d'une tâche de compréhension de pseudomots dans le bruit. Nous avons focalisé notre attention sur le facteur Fréquence des mots du cocktail.

B.2.2. Méthode

B.2.2.1. Stimuli

Les stimuli utilisés dans l'expérience 5b (cf. annexe 6) étaient identiques à ceux utilisés dans l'expérience 4b (cf. Partie A. pour le détail de la sélection et de la préparation des stimuli).

B.2.2.2. Procédure expérimentale

Les conditions expérimentales étaient exactement identiques à celles de l'expérience 4b. Les participants entendaient les stimuli un à un et devaient répéter à voix haute ce qu'ils avaient entendu. Ils étaient informés par la consigne (cf. annexe 8) qu'il s'agissait de pseudomots, et l'expérimentateur expliquait la définition d'un pseudomot si besoin.

B.2.2.3. Participants

Les 49 participants à l'expérience 5a ont participé également à l'expérience 5b. La moitié des participants a commencé par l'expérience 5a et l'autre moitié par l'expérience 5b. Une pause était effectuée entre les deux expériences qui duraient au total environ 45 minutes.

B.2.2.3.1. Plan expérimental

Le plan expérimental de l'expérience 5b était le suivant : $D_{49} * P_{20} < C_3 * FC_2 >$

Avec :

D : les Dyslexiques, au nombre de 49

P : les Pseudomots répartis au nombre de 20 par condition, soit 120 au total

N : le facteur Nombre de voix du *cocktail party* à trois modalités C_4 , C_6 , et C_8 pour respectivement 4, 6 et 8 voix

FC : le facteur Fréquence du cocktail à 2 modalités, F+ et F-.

B.2.3. Résultats

B.2.3.1. Effet du Nombre de voix du cocktail party

Nous avons observé un effet simple du Nombre de voix composant le bruit de fond pour la restitution des pseudomots. Les pourcentages de restitution correcte obtenus pour les pseudomots étaient de 33.11 % (DS = 10.93) pour la condition C_4 , 35 % (DS = 11.79) pour la condition C_6 et 29.64 % (DS = 12.01) pour la condition C_8 . Les analyses de la variance montraient un effet du Nombre de voix par sujets ($F(2, 48) = 3.9$; $p < .05$), et par

items ($F2(2, 119) = 7.84, p < .001$). La Figure 31 présente les scores de restitution des pseudomots pour les trois cocktails au nombre de voix différents.

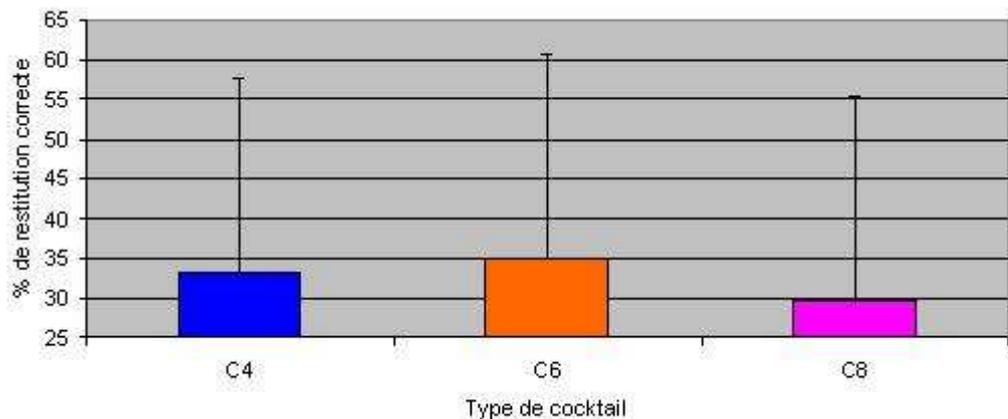


Figure 31 : Effet du Nombre de voix du cocktail sur la restitution de pseudomots

Des comparaisons spécifiques ont montré une différence de performances significative seulement entre les conditions C6 et C8 ($F1(1, 48) = 6.76 ; p < .05$).

B.2.3.2. Effet de la Fréquence des mots du cocktail

Nous avons observé un effet de la Fréquence des mots du cocktail sur la restitution des pseudomots cibles. Les pseudomots étaient reconstruits à 31.33 % (DS = 9.32) dans un cocktail de mots fréquents et à 33.84 % (DS = 9.67) dans un cocktail de mots peu fréquents. L'analyse de la variance montrait un effet significatif de la fréquence du cocktail pour la reconstruction des mots par sujets ($F1(1, 48) = 4.38 ; p < .05$) et par items ($F2(1, 119) = 7.15 ; p < .01$).

B.2.3.3. Interaction Nombre de voix du cocktail-Fréquence des mots du cocktail

Nous avons observé un effet d'interaction entre le nombre de voix et la fréquence des mots du cocktail pour la reconstruction des pseudomots. L'analyse de la variance confirme la significativité de l'interaction par sujets ($F1(2, 96) = 4.25 ; p < .05$) et par items ($F2(2, 238) = 5.83 ; p < .01$). Des comparaisons spécifiques ont montré qu'en moyenne, on observait une différence entre le *cocktail party* peu fréquent et le *cocktail party* fréquent pour la condition 4 voix ($F1(1, 48) = 10.07 ; p < .01$). Pour cette condition on obtenait un score de reconstruction de 36.7 % (DS = 14.98) dans le cocktail F- et de 29.49 % (DS = 11.91) dans le cocktail F+. En revanche, nous n'avons pas observé de différence significative entre les pourcentages moyens de reconstruction pour les cocktails de

mots fréquents et peu fréquents dans les conditions à 6 voix ($F(1, 48) < 1$; n.s.) et à 8 voix ($F(1, 48) < 1$; n.s.). Pour la condition à 6 voix, les pourcentages de reconstruction étaient de 36.02 % (DS = 14.79) dans le cocktail F- et de 33.98 % (DS = 13.69) dans le cocktail F+. Pour la condition à 8 voix, les pourcentages de reconstruction étaient de 28.78 % (DS = 13.13) dans le cocktail F- et de 30.51 % (DS = 14.18) dans le cocktail F+. La Figure 32 représente les taux de restitution pour ces six conditions.

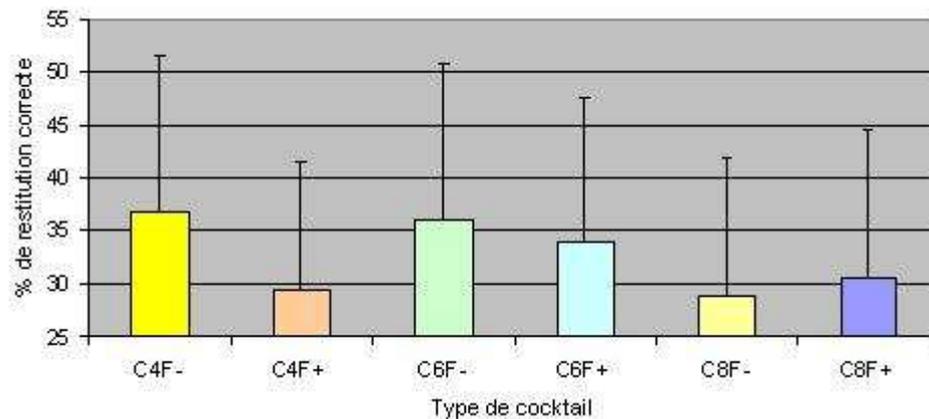


Figure 32 : Interaction entre le Nombre de voix et la Fréquence des mots du cocktail pour la restitution des pseudomots

B.2.4. Résumé des résultats obtenus

L'expérience 5b a montré un effet du Nombre de voix du bruit de fond sur la restitution des pseudomots. Les pseudomots étaient mieux restitués dans un *cocktail party* à 6 voix que dans un *cocktail party* à 8 voix. Nous avons également observé un effet de la Fréquence des mots du cocktail, ainsi qu'une interaction entre le Nombre de voix et la Fréquence des mots du cocktail : les pseudomots cibles étaient mieux restitués dans un cocktail de mots peu fréquents que dans un cocktail de mots fréquents pour la condition à 4 voix. Nous allons à présent comparer les performances des dyslexiques pour la restitution des mots et des pseudomots en situation de parole dans la parole.

B.3. Comparaison des expériences 5a et 5b

Nous avons comparés les résultats obtenus par les participants dyslexiques pour la restitution des mots (expérience 5a) et des pseudomots (expérience 5b) en situation *cocktail party*.

B.3.1. Effet simple du type d'item

En comparant les expériences 5a et 5b nous avons observé que les mots étaient mieux restitués que les pseudomots. En moyenne, les mots étaient reconstruits à 54.32 % (DS = 7.63) et les pseudomots à 32.59 % (DS = 8.51). L'analyse de la variance montrait un effet simple significatif du Type d'item par sujets ($F(1, 48) = 498.17$; $p < .0001$) et par items ($F(2, 238) = 41.9$; $p < .0001$). Globalement, les scores de restitution étaient de 43.37 % (DS = 8.96) pour la condition à 4 voix ; 44.97 % (DS = 9) pour la condition à 6 voix et 42.03 % (DS = 8.53) pour la condition à 8 voix. L'analyse de la variance montrait un effet du Nombre de voix non significatif par sujets ($F(2, 48) = 2.8$; n.s.) mais significatif par items ($F(2, 478) = 5.77$; $p < .01$). Concernant la Fréquence des mots du cocktail, les participants restituaient globalement les items à 44.02 % (DS = 7.99) dans le cocktail de mots peu fréquents et à 42.88 % (DS = 7.87) dans le cocktail de mots fréquents. L'ANOVA ne montrait aucun effet global de la Fréquence des mots du cocktail ($F(1, 48) = 1.56$; n.s., $F(2, 239) = 1.7$; n.s.).

B.4. Discussion

B.4.1. Comparaison des performances de compréhension de la parole dans la parole pour les participants normo-lecteurs et dyslexiques

Nous avons comparé les performances de reconstruction de la parole dans la parole des participants dyslexiques (expériences 5a et 5b) à celles des participants normo-lecteurs (expériences 4a et 4b) à l'aide d'une méta-analyse comprenant les 40 participants normo-lecteurs et les 49 participants dyslexiques. En moyenne, les normo-lecteurs ont obtenu de meilleures performances de restitution que les dyslexiques. Les différences de performances variaient entre 5.02 % et 8.03 % selon les conditions considérées. Selon l'analyse de la variance, l'effet du Type de participant était significatif par sujets ($F(1, 87) = 22.81$; $p < .0001$) et par items ($F(2, 239) = 146.76$; $p < .0001$).

Pour la restitution des mots (expériences 4a et 5a) nous avons observé à la fois chez les dyslexiques et chez les normo-lecteurs un effet de la fréquence des mots cibles, aucun effet du nombre de voix du cocktail et aucun effet de la fréquence des mots du cocktail. Si les effets des différents facteurs testés étaient les mêmes, les résultats des normo-lecteurs étaient cependant meilleurs que ceux des dyslexiques.

Pour la restitution des pseudomots, et pour les deux types de participant, la restitution des pseudomots était meilleure dans le cocktail de mots peu fréquents que dans le cocktail de mots fréquents. Les différences de performances entre cocktail F+ et cocktail F- étaient équivalentes dans les deux groupes (entre 2.5 % et 3 % de restitution en plus pour le cocktail F-). Nous n'avons pas observé d'interaction significative entre le Type de participant et la Fréquence des mots du cocktail ($F(1, 87) < 1$).

Au final, entre les deux groupes de participants, nous avons observé des différences uniquement pour la restitution des pseudomots. Les dyslexiques avaient plus de difficultés que les normo-lecteurs pour restituer les pseudomots et semblaient plus sensibles que les normo-lecteurs aux paramètres du bruit de fond. En effet, alors que les normo-lecteurs avaient des performances de restitution comparables pour les bruits de fond à 4, 6 ou 8 locuteurs, les dyslexiques restituaient mieux les pseudomots dans un cocktail à 6 voix (35 %) que dans un cocktail à 8 voix (29.64 %). Nous avons déjà discuté des effets de la Fréquence du bruit de fond et du Nombre de voix du bruit de fond chez les normo-lecteurs dans partie A.. Nous allons à présent discuter des effets des paramètres du bruit de fond chez les dyslexiques.

B.4.2. Effet de la fréquence et du nombre de voix du bruit de fond chez les participants dyslexiques

Nous avons observé que les dyslexiques restituaient mieux les pseudomots dans le *cocktail party* à 6 voix que dans le *cocktail party* à 8 voix. Cet effet peut s'expliquer par le fait que le bruit de fond à 6 voix est moins masquant que le bruit de fond à 8 voix. Les dyslexiques ne présentaient pas d'effet de la Fréquence du bruit de fond pour ces deux conditions (6 et 8 voix), nous pouvons donc supposer qu'ils ont été gênés proportionnellement à la saturation spectrale du signal concurrent pour faire la tâche. Cette hypothèse permettrait d'expliquer pourquoi les cibles étaient significativement mieux reconstruites dans un cocktail à 6 voix que dans un cocktail à 8 voix. Pour la condition à 4 voix, en revanche, on aurait pu s'attendre à des performances plus élevées qu'à 6 voix en raison de la saturation énergétique plus basse. Il n'en était rien car c'est dans la condition 4 voix que nous avons enregistré les performances de restitution les plus basses. Or, c'est précisément dans cette condition à 4 voix que nous avons observé un effet de la Fréquence des mots du cocktail. Nous rappelons que le facteur Fréquence des mots du cocktail nous permettait de voir si l'auditeur était sensible au contenu du bruit de fond lorsqu'il effectuait la tâche de restitution de l'item cible. L'expérience 5b a ainsi montré que les participants dyslexiques étaient sensibles à la Fréquence des mots du bruit de fond lorsque le bruit de fond ne contenait que 4 locuteurs. Au-

delà de 4 locuteurs, ils perdaient cette sensibilité et ne restituait pas les mots différemment que le bruit de fond soit composé de mots fréquents ou non. Cet effet de fréquence pour la condition à 4 voix pourrait expliquer l'obtention de scores de restitution plus bas pour cette condition vis-à-vis de la condition à 6 voix : à 4 voix, le contenu lexical du bruit de fond a gêné les dyslexiques pour faire la tâche, alors qu'à 6 voix ils n'y étaient pas sensibles. Nous allons à présent discuter de la différence de l'effet de Fréquence des mots du bruit de fond entre dyslexiques et normo-lecteurs.

B.4.3. Effet de la fréquence des mots du bruit de fond entre dyslexiques et normo-lecteurs

Pour les dyslexiques comme pour les normo-lecteurs, nous avons observé que les performances étaient plus élevées dans le cocktail de mots peu fréquents que dans le cocktail de mots fréquents. Il est possible que les mots peu fréquents interfèrent moins dans les recherches lexicales des items cibles que les mots fréquents (cf. discussion de la partie A.) ce qui expliquerait la différence de performances. Cependant, nos résultats montraient que les normo-lecteurs étaient sensibles à cette différence de Fréquence des mots du bruit de fond pour 4 et 6 voix alors que les dyslexiques ne présentaient des différences de performances que pour 4 voix. Il semblerait que le groupe de participants normo-lecteurs perçoive le contenu linguistique du bruit de fond dans la condition à 6 voix alors que ce n'est pas le cas des dyslexiques. Ceci pourrait expliquer les performances des dyslexiques légèrement plus élevées à 6 voix qu'à 4 voix (respectivement 44.97 % et 43.37 % de reconstruction), alors que les normo-lecteurs présentaient des résultats strictement identiques pour 6 et 4 voix (respectivement 50.72 % et 50.94 % de reconstruction).

Au final, les résultats des expériences de parole dans la parole montrent un effet de la Fréquence des mots du bruit de fond sur la restitution de pseudomots cibles chez les dyslexiques comme chez les normo-lecteurs. Nous avons donc mis en évidence l'activation des mots distracteurs pendant le traitement de la cible. Les normo-lecteurs semblent activer les mots du bruit de fond de façon plus automatique que les dyslexiques, puisque l'effet de Fréquence de ces mots est significatif pour les normo-lecteurs pour un plus grand nombre de voix que pour les dyslexiques. Il semble cohérent que les dyslexiques, qui présentent des troubles de l'accès au lexique, soient capables d'activer le contenu lexical d'un bruit de fond de manière moins efficace que des normo-lecteurs. Nous approfondirons ce point dans la partie D. qui discutera nos résultats en perception de la parole dans la parole.

Avant cela, l'avant dernière partie de notre étude concerne les mesures auditives et notamment les mesures de système efférent. Nous avons vu au Chapitre II. que notre groupe de 18 dyslexiques présentait une absence de latéralisation de leur système efférent par rapport aux normo-lecteurs appariés. La partie C. s'est intéressée au lien entre la fonctionnalité du système auditif efférent et les performances de compréhension de la parole dans la parole chez les adultes normo-lecteurs et dyslexiques.

C. SYSTÈME EFFÉRENT ET PAROLE DANS LA PAROLE

C.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons mettre en relation les résultats des tests auditifs cliniques que nous avons pratiqués sur les participants à nos études (normo-lecteurs et dyslexiques) et leurs performances de compréhension de la parole dans la parole. Les tests auditifs ont été décrits largement dans le Chapitre II. (Partie D.) aussi, nous renvoyons le lecteur à ce chapitre pour la description méthodologique et le recueil des mesures auditives. Les tests auditifs cliniques qui nous intéressent à présent sont les mesures de la fonctionnalité du système efférent des participants dyslexiques et des participants témoins appariés. Il faut rappeler que la latéralité du système auditif efférent est influencée par la latéralité manuelle tout comme la latéralité hémisphérique (Khalfa, Veillet & Collet, 1998). Comme le suggèrent différents travaux, il pourrait y avoir un lien entre la latéralisation des voies auditives descendantes et la latéralisation du langage (Crow, Ball & Bloom, 1989 ; Khalfa, *et al.* 1998 ; Veillet, Georgieff, Philibert, Dallery, Marie-Cardine & Collet, 2001). Nous allons essayer dans cette partie de mettre en évidence une relation entre la latéralisation des voies auditives et une capacité à comprendre la parole dans la parole.

C.2. Participants dyslexiques et témoins

Nous allons tenter de faire un parallèle entre les mesures auditives recueillies chez les participants dyslexiques et chez les participants normo-lecteurs et leurs performances de compréhension de la parole dans la parole. Nous allons nous intéresser aux mesures auditives des 18 participants dyslexiques dont nous avons déjà décrit les résultats au Chapitre II (Partie D.). Ces 18 patients dyslexiques ont tous passé les expériences de parole dans la parole (expériences 5a et 5b). Nous n'avons pas recueilli de mesures auditives chez les 40 participants normo-lecteurs ayant passé les expériences de compréhension de la parole dans la parole (expériences 4a et 4b) cependant les 18 participants contrôles, appariés aux participants dyslexiques, ont tous passé les tests auditifs ainsi que les expériences 4a et 4b.

Dans l'optique de comparer les liens entre mesures auditives et performances de compréhension de la parole dans le bruit, nous utiliserons le groupe de 18 témoins comme groupe de normo-lecteurs. Nous nous sommes avant toute chose assurés que leurs performances de compréhension de la parole dans la parole n'étaient pas différentes de celles des 40 normo-lecteurs (voir ci-dessous).

C.2.1. Atténuations équivalentes et quotients de latéralité

Pour rappel, le Tableau 6 présente les résultats des mesures de système efférent relevés chez les participants dyslexiques et leurs témoins appariés. D'après ces résultats, il semblerait que le système auditif efférent des patients dyslexiques ne soit pas latéralisé contrairement à celui des participants du groupe témoin.

Tableau 6 : AE dans les deux oreilles et QL des dyslexiques et des témoins

	AE oreille droite		AE oreille gauche		Quotient de latéralité	
	Moyenne	Déviatiion Standard	Moyenne	Déviatiion Standard	Moyenne	Déviatiion Standard
Dyslexiques	-3.12	2.52	-3.26	2.11	0.13	1.47
Témoins	-2.68	1.54	-1.85	0.98	-0.83	1.3
Valeur de <i>F</i>	0.41		6.62		4.29	
Valeur de <i>p</i>	= .52		= .15		= .046	

C.3. Système efférent et parole dans le bruit chez les dyslexiques

C.3.1. Performances de compréhension de la parole dans le bruit

Les performances des 18 participants dyslexiques sélectionnés pour les tests auditifs étaient comparables à celles du groupe de 49 patients dyslexiques. On observait une moyenne de restitution de la parole dans la parole de 44.44 % (DS = 5.37) pour le groupe de 18 dyslexiques et de 43.45 % (DS = 7.33) pour le groupe de 49 dyslexiques. L'analyse de la variance n'a pas révélé de différence entre les deux groupes ($F(1, 65) < 1$, n.s.). Nous pouvions donc considérer le groupe de 18 dyslexiques choisis pour les tests auditifs comme représentatif du groupe total de dyslexiques testés.

C.3.2. Mesures auditives et performances de restitution de la parole dans la parole

Nous avons calculé les coefficients de corrélation de Pearson entre les scores moyens de restitution des mots et des pseudomots dans toutes les conditions, et les mesures auditives (AE des deux oreilles et QL) pour les 18 participants dyslexiques. Nous n'avons observé aucune corrélation significative entre les mesures auditives des participants dyslexiques et leurs performances de restitution de la parole dans la parole.

C.4. Système efférent et parole dans le bruit chez les témoins

C.4.1. Performances de compréhension de la parole dans le bruit

Les 18 participants témoins ont tous passé les expériences de compréhension de la parole dans la parole (expériences 4a et 4b) dans les mêmes conditions que le groupe de participants normo-lecteurs (cf. Partie A.). Leurs performances étaient comparables à celles du groupe de 40 participants normo-lecteurs : nous avons observé une moyenne de restitution de la parole dans la parole de 51.3 % (DS = 6.89) pour le groupe de 18 témoins et de 49.95 % (DS = 5) pour le groupe de 40 normo-lecteurs. L'analyse de la variance ne montrait aucune différence de performances entre participants témoins et participants normo-lecteurs ($F(1, 56) < 1$, n.s.). Nous n'avons pas pratiqué de mesures de système efférent chez les participants normo-lecteurs, aussi avons-nous testé les corrélations entre mesures auditives et mesures comportementales chez les participants témoins (que nous avons considérés comme comparables au groupe normo-lecteurs).

C.4.2. Mesures auditives et performances de restitution de la parole dans la parole

Nous avons calculé les coefficients de corrélation de Pearson entre les scores moyens de restitution des mots et des pseudomots dans toutes les conditions, et les mesures auditives (AE des deux oreilles et QL) pour les 18 participants témoins. La seule corrélation significative observée est une corrélation négative significative ($r = -0.51$, $p = .02$) entre le quotient de latéralité (QL) des participants témoins et leurs performances de reconstruction des mots dans les cocktails de mots peu fréquents (F-). Les participants témoins présentant les QL les plus négatifs, présentaient également les performances de compréhension de la parole dans la parole les plus élevées.

C.5. Discussion

Les mesures cliniques de système efférent ont montré une absence de latéralisation des voies auditives descendantes chez les participants dyslexiques testés (cf. Chapitre II. Partie D. pour les résultats et la discussion). Les participants témoins, en revanche, étaient en moyenne latéralisés à droite, ce qui était le résultat attendu chez des droitiers.

Les résultats des expériences 4a et 4b passées par les participants témoins montrent que ces derniers ont obtenu des scores de restitution de la parole dans la parole significativement supérieurs à ceux des participants dyslexiques. De plus, nous avons observé chez les témoins une corrélation entre performances de restitution des mots et quotient de latéralité. Cette même corrélation n'était pas significative chez les dyslexiques ($r = 0.06$, $p = .81$). Les Figure 33 et Figure 34 montrent les nuages de points et les droites de régression représentant la relation entre les QL et les scores de restitution des mots dans le cocktail de mots peu fréquents pour les dyslexiques et les témoins.

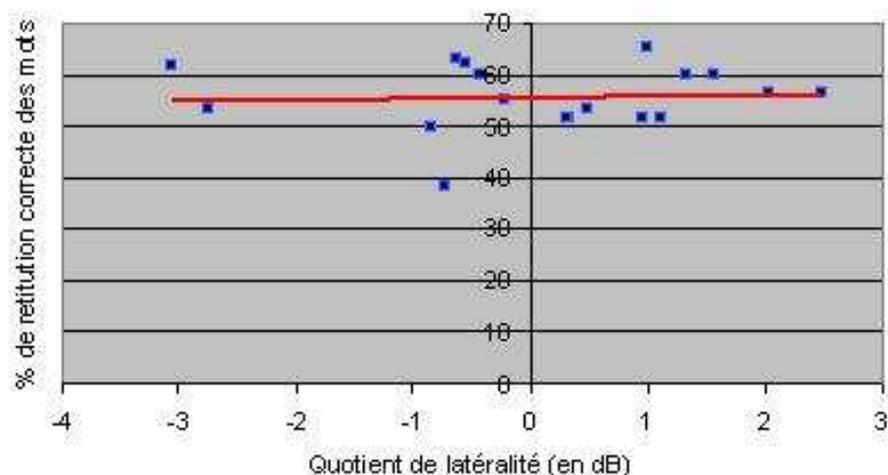


Figure 33 : Relation entre le QL et la restitution des mots chez les dyslexiques

Chez les dyslexiques, on observe que la droite de régression est plate, ce qui signifie que le score de restitution des mots est peu différent lorsque le QL varie. En d'autres termes, les performances de compréhension de la parole dans la parole ne sont pas différentes chez les sujets dyslexiques qu'ils soient latéralisés ou non.

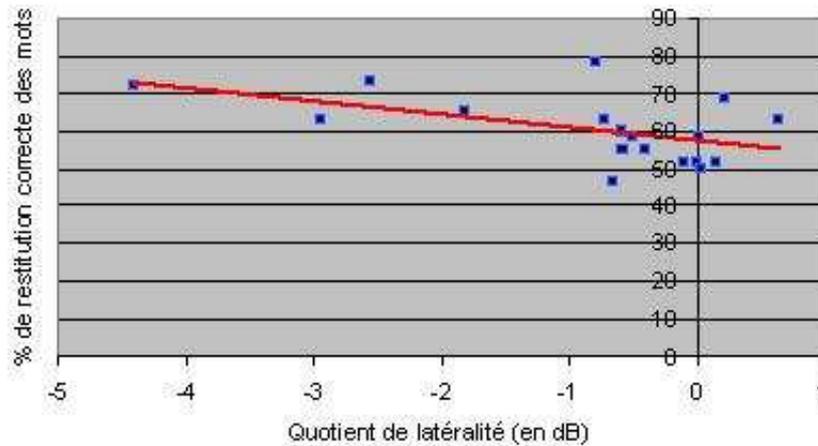


Figure 34 : Relation entre le QL et la restitution des mots chez les témoins

Chez les témoins, à l'inverse, on observe que la droite de régression présente une pente négative. Cela signifie que les scores de restitution varient en sens inverse du QL : plus le QL est négatif, et donc plus l'audition est latéralisée, plus les performances de compréhension de la parole dans la parole sont élevées. Cela signifie que plus le participant est latéralisé, plus il a eu de facilité à effectuer la tâche.

Ces résultats montrent qu'il existe un lien entre l'asymétrie auditive et les capacités de compréhension de la parole dans la parole mais chez les participants contrôles seulement. Les participants dyslexiques présentent une hétérogénéité importante des quotients de latéralité mais qui semble sans lien avec leurs résultats comportementaux.

L'asymétrie du système efférent reflète potentiellement l'asymétrie corticale centrale des aires auditives dans le cerveau (cf. Chapitre II. Partie E.). Les travaux de Khalifa & Collet (1996), Pujol, *et al.* (1999) et Powell, *et al.* (2006) suggèrent que la latéralisation du langage est corrélée avec la latéralisation hémisphérique. Nos résultats sont en accord avec cette hypothèse d'un lien entre asymétrie des voies auditives et latéralisation du langage. L'étude de Bellis *et al.* (2000) a montré une relation entre la perte d'asymétrie centrale liée à l'âge et les difficultés de perception de la parole. Il se pourrait que les participants dyslexiques que nous avons testés soient moins performants pour comprendre de la parole dégradée du fait de l'absence de latéralisation de leurs aires langagières. Ces résultats vont dans le sens des travaux de Veillet, *et al.* (2007) qui montraient un déficit de la perception du voisement chez des enfants diagnostiqués dyslexiques associé à une absence d'asymétrie en faveur de l'oreille droite de leurs SEOCM. Nous reviendrons sur la discussion de ces travaux. D'un point de vue plus psycholinguistique, serait-il possible que l'accès au lexique soit modulé par l'asymétrie des aires du langage ? Dans ce cas, les performances plus basses des participants non-

latéralisés peuvent-elles s'expliquer par la différence de latéralisation ? Nous discuterons ces points de façon plus approfondie dans la partie D. de ce chapitre.

D. PAROLE DANS LA PAROLE : DISCUSSION

Dans ce second chapitre expérimental de la thèse, nous nous sommes interrogés sur la façon dont les adultes normo-lecteurs normo-entendants et des adultes dyslexiques normo-entendants parviennent à comprendre un signal de parole dégradé par la présence de voix concurrentes.

D.1. Rappel des résultats obtenus

L'expérience 3 et ses résultats ont montré une influence des mots contenus dans le bruit de fond pendant la tâche de restitution de mots cibles. Nous avons pu voir que le rapport signal sur bruit ne module en rien cet effet, pas plus que le genre des locuteurs du bruit de fond. Les effets de masquages énergétique et informationnel observés dans l'expérience 3 suggèrent cependant que les auditeurs ont été sensibles au contenu linguistique du bruit de fond et que ces éléments linguistiques peuvent perturber la recherche lexicale de la cible.

À partir de ces premières données, nous avons mesuré la restitution de mots et de pseudomots cibles dégradés par la présence de signaux de parole concurrents chez des participants normo-lecteurs et chez des participants dyslexiques. Nous avons utilisé trois types de *cocktail party* différents (à 4, 6 et 8 voix) et nous avons contrôlé le contenu de nos bruits *cocktail party* qui pouvaient être de deux types : soit constitués uniquement de mots très fréquents (cocktails F+), soit uniquement constitués de mots très peu fréquents (cocktails F-). Nous nous sommes intéressés à l'effet de ce paramètre de fréquence du cocktail sur les taux de restitution des mots et des pseudomots chez les normo-lecteurs (expériences 4a et 4b) et chez les dyslexiques (expériences 5a et 5b).

Pour les participants normo-lecteurs, les pseudomots étaient significativement mieux reconstruits dans les cocktails de mots peu fréquents pour les conditions à 4 voix et 6 voix, et pour les dyslexiques, les pseudomots étaient mieux restitués dans un cocktail de mots peu fréquents à 4 voix.

Nous allons tout d'abord discuter des différents effets de masquage observés dans l'expérience 3.

D.2. Les différents effets de masquage

Depuis la première description de l'effet « *cocktail party* » par Cherry en 1953, un très grand nombre d'études ont vu le jour, la plupart du temps centrées sur les caractéristiques psychoacoustiques de l'analyse de scènes auditives. Les travaux de Brungart, *et al.* (2001), et Brungart, *et al.* (2006) ont décrit les effets de masquage informationnel et de masquage énergétique dans le cas particulier de la perception de la parole dans la parole. Le masquage énergétique est présent lorsque les signaux de parole concurrents se recouvrent en temps et en fréquence. Il empêche l'auditeur de détecter certaines informations acoustiques du signal de parole cible. Le masquage informationnel apparaît lorsque les signaux de parole concurrents sont similaires et que l'auditeur a des difficultés à séparer les éléments acoustiques du signal cible de ceux du signal concurrent (Brungart & Simpson, 2002). L'expérience 3 nous a permis de montrer la présence de ces deux types de masques lors de la perception de la parole en situation *cocktail party*. Le masquage énergétique est, certes, présent, cependant, il ne serait responsable que d'une partie limitée de l'effet de masquage total (Brungart, *et al.*, 2006). Le masquage informationnel jouerait donc un rôle non négligeable dans la gêne occasionnée par le signal de parole concurrent sur l'intelligibilité du signal cible. À l'appui de cette hypothèse, l'étude de Van Engen & Bradlow (2007) démontre que la perturbation occasionnée par un bruit parolier concurrent est effectivement due à son contenu linguistique plutôt qu'aux caractéristiques acoustiques de ce bruit de fond. Comme dans les études de Rhebergen, Versfeld & Dreschler (2005) et Garcia Lecumberri & Cook (2006) ; Van Engen & Bradlow (2007) ont comparé les performances de reconnaissance de parole dans le bruit avec des bruits paroliers interférents de la même langue que le signal cible ou d'une langue différente. Les résultats montraient que dans un bruit concurrent à deux locuteurs, les auditeurs anglais étaient plus gênés par un bruit de parole concurrent en anglais qu'un bruit de parole concurrent en mandarin. Ces résultats démontrent l'interférence linguistique occasionnée par le masquage informationnel.

Nous avons testé les différents types de masquages dans notre expérience 3 qui utilisait un échantillon de bruits de fond de différentes natures. Nous avons comparé les scores de restitution de mots cibles en fonction du type de bruit de fond qui pouvait être un bruit *cocktail party* de parole naturelle à 4, 6 ou 8 voix (contenant des informations lexicales), un

bruit *cocktail party* de parole inversée à 4, 6 ou 8 voix (contenant des informations phonétiques partielles), ou un bruit à large bande spectrale (ne contenant aucune information phonétique). Les résultats ont montré que les bruits de fond contenant de l'information linguistique étaient plus masquant que le bruit large bande. Ce résultat confirme les travaux de Simpson & Cook (2005) qui avaient montré que le bruit *cocktail party* constitue un masque plus puissant qu'un bruit au spectre identique à celui de la parole. Dans cette étude, les auteurs mesuraient des scores d'identification de consonnes (dans des syllabes de type VCV), dégradées par des bruits paroliers à N -locuteurs et dans des bruits modulés en amplitude (à partir des mêmes bruits paroliers) à N -locuteurs. Les auteurs ont enregistré les scores de restitution de consonnes pour des valeurs de N comprises entre 1 et 512. Les résultats montrent que l'effet de masquage des bruits paroliers naturels est plus efficace que l'effet de masquage des bruits modulés en amplitude. Pour les bruits naturels, les performances chutent linéairement jusqu'à un score minimum obtenu pour la condition 8 voix, puis une légère amélioration des performances est observée entre 8 et 512 voix. Au contraire, l'effet de masquage du bruit modulé en amplitude est moins efficace dès la condition 2 voix. Les performances diminuent avec l'augmentation du nombre de voix mais de façon graduelle. Ces résultats confirment ceux de Bronkhorst & Plomp (1992) qui avaient testé les mêmes effets avec des bruits modulés en amplitude réalisés à partir de bruits paroliers contenant de 1 à 6 voix ainsi que les travaux de Sperry, Wiley & Chial, (1997) qui avaient montré qu'un bruit contenant des informations linguistiques perturbe plus les auditeurs qu'un bruit sans contenu linguistique.

Dans notre étude, l'interférence linguistique produite par les *cocktails party* naturels et inversés provoquait une réduction des performances de restitution de 10 % en moyenne par rapport au bruit de fond dépourvu d'information linguistique. Hawley, *et al.* (2000) avaient déjà utilisé de la parole inversée dans une étude sur la compréhension de la parole en situation *cocktail party* mais il s'agissait d'une étude en perception binaurale visant à étudier les effets de la localisation spatiale des voix concurrentes. Les résultats n'avaient pas montré de différence significative entre parole naturelle et parole inversée. Dans notre étude, les performances obtenues pour le *cocktail party* inversé étaient plus élevées que celles obtenues pour le *cocktail party* naturel. Alors que pour les *cocktails party* inversés les performances de restitution diminuaient linéairement avec l'augmentation du nombre de voix, ce n'était pas le cas pour les *cocktails party* naturels. Nous avons observé notamment une différence significative des performances entre le cocktail à 4 voix naturel et le cocktail à 4 voix inversé. Cette différence de performances pourrait provenir du contenu informationnel du *cocktail*

party naturel. En effet, les informations lexicales du bruit de fond étaient parfois audibles comme le démontrait le résultat de l'analyse des erreurs produites par les participants. Plus de la moitié des erreurs observées pour la condition de *cocktail party* naturel à 4 voix étaient des mots issus du bruit *cocktail party* concurrent. Ce résultat indique que les mots du bruit de fond ont pu être activés lors du traitement de la cible et entrer en compétition avec les mots cibles puisqu'ils ont parfois été donnés comme réponse. Cette expérience suggère la présence de compétitions lexicales entre les mots du bruit de fond et le mot cible, puisqu'il arrivait parfois qu'il y ait confusion. En revanche, les mots du *cocktail party* inversé n'ont jamais été activés car l'inversion portait sur la durée totale du signal, ce qui dégradait entièrement les informations sémantiques (tout comme dans l'étude de Mehler, *et al.*, 1988, qui avait utilisé la parole inversée comme condition contrôle).

Nos résultats ont montré également que le *cocktail party* à 4 voix occasionnait un effet de masquage informationnel plus important que le *cocktail party* à 6 voix. C'est dans cette condition à 4 voix d'ailleurs, que les mots du cocktail étaient restitués le plus souvent à la place des mots cibles. Dans la condition à 6 locuteurs, la quantité de bruit due au nombre de voix augmentait la saturation spectrale du bruit de fond rendant de ce fait inaccessibles certaines informations lexicales. Par conséquent il se pourrait que l'effet de masque informationnel ait été moins important, les compétitions lexicales moins nombreuses et les performances de restitutions légèrement plus élevées (8 % de différence pour la condition à 4 voix). Nous allons à présent discuter des effets de fréquence des mots du bruit de fond observés dans les expériences 4a, b et 5a, b.

D.3. Compétitions lexicales et effet de fréquence

La plupart des modèles psycholinguistiques de perception de la parole décrivent la reconnaissance des mots parlés comme le résultat de nombreuses compétitions entre tous les candidats potentiellement activés. Dans TRACE (Mc Clelland & Elman, 1986) par exemple, ces compétitions peuvent avoir lieu au niveau des traits acoustiques mais il existe également des compétitions phonologiques et lexicales. Le modèle TRACE postule un système d'activations et d'inhibitions à l'intérieur d'un réseau entièrement interconnecté qui permettraient de renforcer l'activation de l'item correspondant le mieux à l'entrée sensorielle. Le modèle ShortList de Norris (1994) propose l'accès au lexique en deux étapes, tout d'abord, la recherche d'une « *short list* » de candidats compatibles avec l'entrée sensorielle (semblable à Cohorte) et dans un second temps des compétitions lexicales entre ces différents candidats

pour accéder à la reconnaissance. Même si ces modèles diffèrent de par leur conception et leurs mécanismes, la plupart d'entre eux intègrent les effets de fréquence d'occurrence dans la langue et prédisent un avantage des mots fréquents pour la reconnaissance. L'effet de fréquence est un effet psycholinguistique très stable, largement décrit dans la littérature. Les travaux de Taft & Hambly (1986) par exemple, ont montré que pour des mots appariés selon leur point d'unicité¹⁵, les mots de haute fréquence étaient traités plus rapidement que les mots de basse fréquence. Ces travaux ont été pris en compte pour améliorer le modèle de la Cohorte de Marslen-Wilson & Welsh (1978) qui, dans sa version II (Marslen-Wilson, 1987 ; 1990), proposait la notion de seuil d'activation des items lexicaux en compétition dans le lexique. Le modèle Cohorte II prévoyait que les items les plus fréquents aient les seuils d'activation les plus bas pour rendre compte de leur traitement et de leur reconnaissance plus rapides.

Pour la suite de nos travaux, nous nous sommes basés sur la robustesse de l'effet de fréquence lors de l'activation lexicale pour prédire une influence de la fréquence des mots du bruit de fond sur la restitution des mots cibles. Les résultats de l'expérience 3 nous suggèrent une activation irrépessible des mots du bruit de fond dans notre paradigme d'identification de mot cible présenté en même temps qu'un bruit de *cocktail party* à 4 voix, bien que la tâche des participants soit de focaliser leur attention sur l'item cible et « d'ignorer » le bruit concurrent. Nous avons testé l'hypothèse de cette activation lexicale en manipulant les fréquences des mots du bruit de fond.

Les expériences 4a et 4b ont montré une sensibilité des auditeurs normo-lecteurs à la fréquence d'occurrence des mots du bruit de fond. En effet, les pseudomots cibles étaient mieux restitués dans les cocktails à 4 voix et 6 voix constitués de mots peu fréquents que de mots fréquents. Nous n'avons pas observé cet effet de fréquence des mots du bruit de fond lorsque les cibles étaient des mots. Nos résultats semblent indiquer que lors des recherches lexicales de pseudomots (c'est-à-dire d'items absents du lexique), les auditeurs étaient plus influencés par les mots du bruit de fond même s'ils étaient censés faire abstraction de ce dernier. Il semblerait donc que lors de la restitution de pseudomots, les mots du bruit de fond aient plus d'influence sur les recherches lexicales que lors de la restitution de mots. Cet effet pourrait provenir du fait que la restitution de pseudomots dans le bruit est une tâche plus

¹⁵ Le point d'unicité ou point d'identification du mot correspond au moment de la réalisation acoustique du mot où celui-ci va être correctement identifié. Par exemple, pour l'item « cigarette », le point d'unicité se réalise à l'entrée dans le système du phonème /e/ car à partir de ce point, aucune référence lexicale stockée en mémoire autre que « cigarette » ne correspond à cet enchaînement phonologique.

complexe que la restitution de vrais mots. Devant cette difficulté cognitive, le système lexical serait plus « perméable » aux informations du bruit de fond. Dans une conception purement psycholinguistique de cet effet de fréquence, les compétitions lexicales seraient initiées à partir du pseudomot cible ainsi qu'à partir des mots perçus dans le bruit de fond. La recherche du pseudomot dans le lexique n'aboutissant à aucune référence stockée, les mots du bruit de fond pourraient émerger du fait qu'ils correspondent, eux, à des références stockées.

D'autre part, si l'on s'appuie sur l'hypothèse des seuils d'activation différents des mots du lexique en fonction de leur fréquence, on peut penser que les mots peu fréquents du bruit de fond aient été moins activés et aient, par conséquent, été de moins bons compétiteurs durant l'identification de l'item cible. Cela expliquerait les performances de restitution plus élevées pour le cocktail de mots peu fréquents. À l'inverse, dans le cas des cocktails de mots fréquents, il serait possible que ces derniers aient été plus activés et soient entrés sérieusement en compétition avec l'item cible, gênant sa restitution.

Une étude de Dupoux, Kouider & Mehler (2003) s'est intéressée à l'activation lexicale de mots hors du champ de l'attention sélective dans une situation de perception de parole dans le bruit. Pour cela, les auteurs ont utilisé un paradigme d'amorçage dichotique avec une tâche de décision lexicale. L'amorce était présentée dans une oreille et la cible dans l'autre. L'amorce pouvait être saillante (dans le silence) ou peu saillante c'est à dire incluse dans une phrase porteuse ou dans un brouhaha de parole. En condition contrôle, les auteurs présentaient l'amorce et la cible en condition monaurale (amorce et cible dans le même canal). Les résultats montrent un effet d'amorçage de répétition uniquement si l'amorce était saillante c'est-à-dire présentée dans le silence. Les auteurs concluent que le traitement de l'amorce ne se fait qu'à un niveau sensoriel car dès que l'amorce est présentée dans du bruit, aucun effet d'amorçage n'est observé ce qui signifie que l'amorce n'a pas été activée. Cependant, la condition contrôle présente un effet d'amorçage. En condition monaurale, les expérimentateurs ont observé un effet d'amorçage significatif de la cible de 44 ms lorsque l'amorce est présentée dans le brouhaha de parole. Cet effet d'amorçage indique que l'amorce, incluse dans le brouhaha de parole, a été traitée à un niveau lexical alors que la tâche demandée était de focaliser l'attention sur la cible afin d'effectuer la tâche de décision lexicale. Ces résultats renforcent l'hypothèse que nous avons soulevée en discutant les résultats que nous avons obtenus dans la tâche de perception de parole dans la parole. Il serait possible que les mots du bruit de fond soient activés lors du traitement d'un item cible alors même que la consigne est d'ignorer ce bruit de fond.

Ces explications sont bien entendu hypothétiques et mériteraient d'être soutenues par d'autres résultats allant dans le même sens et obtenus en testant d'autres effets psycholinguistiques connus comme par exemple l'effet du nombre de voisins phonologiques des mots du bruit de fond.

Nous allons à présent discuter les performances de restitution obtenues par les participants dyslexiques.

D.4. Cas de la dyslexie

Les expériences 5a et 5b ont montré que les participants dyslexiques reconstruisaient la parole dans la parole mais dans des proportions plus faibles que les normo-lecteurs. Comme les normo-lecteurs, ils étaient sensibles au paramètre de fréquence des mots du bruit de fond mais pour les bruits paroliers concurrents à 4 voix seulement.

Les mesures de système efférent ont montré une différence fonctionnelle entre dyslexiques et normo-lecteurs concernant l'asymétrie des voies auditives efférentes. Chez les participants dyslexiques nous avons observé une absence d'asymétrie du système efférent olivo-cochléaire médian. Cette asymétrie était présente chez les participants témoins et corrélée avec leurs capacités de restitution de mots dans un cocktail de mots peu fréquents. En revanche, chez les dyslexiques, nous n'avons observé aucune corrélation significative entre la latéralisation du système efférent et les performances d'identification de mots et de pseudomots en présence de bruit.

Comme nous l'avons déjà discuté, cette absence d'asymétrie du système auditif périphérique pourrait refléter une absence d'asymétrie centrale des aires du langage et expliquer les performances verbales plus basses. Cette hypothèse est également suggérée par l'étude de Veuillet, *et al.* (2007) qui montrait un déficit de perception du voisement à l'aide d'une tâche de perception catégorielle chez un groupe d'enfants diagnostiqués dyslexiques par rapport à un groupe d'enfants contrôles appariés en âge de lecture. Les auteurs ont également exploré le fonctionnement du SEOCM de ces enfants et montré une réduction, et parfois même, une absence d'asymétrie des voies auditives descendantes chez les enfants dyslexiques. A la suite d'une période d'entraînement audio-visuel focalisé sur le contraste de voisement, les auteurs ont observé une amélioration des performances de perception catégorielle chez les enfants dyslexiques associée à une amélioration de l'asymétrie des SEOCM en faveur de l'oreille droite. Ces résultats montrent que certains mécanismes de traitement auditif sont déficitaires chez les dyslexiques mais qu'une rééducation est

envisageable. Ces travaux peuvent nous laisser supposer que le déficit de perception de la parole dans le bruit que nous avons observé chez les dyslexiques pourrait être fortement lié à l'absence d'asymétrie de leur système efférent.

D.5. Asymétrie centrale et performances de compréhension de la parole dégradée

Nos travaux sur la perception de la parole dans la parole montrent un lien chez les participants normo-lecteurs entre l'asymétrie de leur SEOCM et leurs performances de restitution de mots dans le bruit. La tâche que nous avons utilisée plaçait les participants en environnement bruyant, cependant, nous ne pouvons toujours pas affirmer que leur système efférent a été activé par le bruit parolier concurrent. En effet, lors des tests cliniques, le SEOCM est activé préférentiellement par un bruit blanc ou un bruit rose. Cependant, il est possible que le SEOCM ait été activé par le bruit *cocktail party* et qu'il ait joué son rôle de filtre inhibiteur durant la tâche de perception de parole dans le bruit, puisque nous observons de meilleures performances de restitution chez les participants témoins par rapport aux participants dyslexiques associé au fait que les participants témoins avaient un système efférent latéralisé à droite ce qui n'était pas le cas des dyslexiques.

Le SEOCM émanant directement de structures corticales centrales, son asymétrie pourrait refléter l'asymétrie centrale des aires du langage (cf. discussion du Chapitre II.). Ces résultats, associés à l'absence d'asymétrie du SEOCM chez les dyslexiques et à leurs performances plus basses de compréhension de la parole dans la parole, renforcent l'hypothèse selon laquelle l'asymétrie hémisphérique des fonctions langagières jouerait un rôle dans le traitement de la parole dégradée.

Cette hypothèse est cependant à considérer avec prudence et devra être vérifiée au moyen d'études plus larges et de techniques d'expérimentation plus précises.

CHAPITRE IV.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cette thèse, nous avons essayé de mieux comprendre le traitement cognitif de la parole dégradée. Nous nous sommes appuyés sur des mesures comportementales d'intelligibilité et des mesures neurophysiologiques du système auditif pour tenter de décrire les mécanismes permettant de reconstruire de la parole dégradée et de comprendre le message parlé. D'une part nous avons étudié la parole inversée temporellement et d'autre part la parole dans la parole. Les résultats montrent une capacité cognitive à restaurer le signal dégradé. Cette capacité de restauration dépend de paramètres externes au système cognitif, comme le niveau d'altération du signal d'origine, mais également de paramètres internes, propres à chaque individu, tels la capacité d'activation des mécanismes lexicaux, et peut être la latéralisation hémisphérique.

Les différentes expériences que nous avons menées nous ont permis de mettre en évidence l'effet de paramètres psycholinguistiques pendant le processus de compréhension de la parole dégradée. Les caractéristiques psycholinguistiques des mots à restituer, certainement en relation avec leur organisation hiérarchique dans le lexique mental, conditionnent leur compréhension en situation de perception difficile. D'autre part, en situation de perception de la parole dans la parole, les caractéristiques psycholinguistiques du contenu lexical du bruit concurrent influencent également la compréhension.

Une perspective intéressante de ces travaux concerne l'effet d'activation des mots du bruit parolier concurrent lors du traitement du mot cible. Cet effet montre que des activations lexicales sont possibles en dehors du champ de l'attention sélective qui est focalisée sur la voix cible. Cependant nos données ne permettent pas de dire si l'effet observé était dû à un saut de l'attention vers la conversation concurrente ou à un traitement « en parallèle » des deux flux d'information. Il se pourrait que le traitement en parallèle soit possible comme le montrent les résultats de Dupoux, *et al.*, (2002) qui montrent un effet d'amorçage sémantique en conditions monorales. Le paradigme de la parole dans la parole pourrait permettre de tester les compétitions lexicales durant la compréhension de mots d'une façon directe et de manipuler aisément les caractéristiques de la cible et celles des mots concurrents.

Nos travaux ont montré un lien entre les capacités de restauration de la parole dégradée et les caractéristiques physiologiques du système auditif. Nous avons observé des corrélations entre la latéralisation du système efférent de nos participants normo-lecteurs et leurs capacités à restituer un signal de parole dégradé. Ces résultats sont en faveur de l'hypothèse d'un lien entre asymétrie cérébrale et performances langagières. Cette hypothèse est renforcée par le fait que chez les participants dyslexiques, les capacités de restitution de parole dégradée étaient plus basses et associées à un système efférent symétrique.

Cependant, la réalité d'un lien entre asymétrie corticale et compréhension de la parole dégradée pourrait probablement être mise en évidence grâce à une étude en IRM fonctionnelle qui permettrait d'identifier les aires cérébrales (incluant les aires auditives) activées pendant le traitement de la parole dégradée, et d'évaluer si les performances langagières sont significativement corrélées avec l'asymétrie des activations cérébrales. De tels résultats permettraient de mettre en évidence un lien entre l'organisation cortico-cérébrale chez un individu donné et ses capacités à comprendre de la parole dégradée.

D'autre part, il serait intéressant d'explorer s'il existe des différences interindividuelles anatomiques entre les différents participants à nos études. En effet, il pourrait être possible de mettre en relation les différences fonctionnelles que nous avons observées (capacité à comprendre de la parole dégradée) avec des différences anatomiques, notamment au niveau des cortex auditifs des participants. Les travaux de Golestani, Molko, Dehaene, LeBihan & Pallier, (2007) ont montré l'existence d'une variabilité interindividuelle des capacités de participants français à distinguer le contraste entre les consonnes dentales et rétroflexes du Hindi. Ils ont également mesuré les volumes des gyri de Heschl droit et gauche des participants. Ces structures contiennent les cortex auditif. Les auteurs ont observé que les participants les moins performants pour distinguer les syllabes hindi présentaient en moyenne des cortex auditifs gauches moins volumineux que les participants ayant eu plus de facilité pour distinguer les syllabes. La différence anatomique observée concernait les volumes de matière blanche des cortex auditifs qui reflète la quantité de myéline des fibres du cortex. Cette différence de quantité de myéline peut être interprétée comme une plus grande quantité de fibres du cortex auditif ou une plus grande efficacité de transmission nerveuse dans cette structure corticale. Les auteurs concluaient à l'existence d'un lien entre la taille des cortex auditifs et les capacités à discriminer des contrastes consonantiques associés à des transitions acoustiques rapides.

Nos résultats ayant montré que les voies auditives descendantes étaient asymétriques chez les participants les plus performants pour comprendre de la parole dégradée, il se

pourrait que la taille des cortex auditifs soit également asymétrique chez ces mêmes participants. On pourrait alors émettre l'hypothèse que les cortex auditifs gauches seraient plus volumineux chez les participants possédant un système efférent latéralisé et donc chez les participants les plus aptes à percevoir de la parole dégradée.

Les données présentées dans cette thèse ouvrent de nouvelles perspectives quand à l'étude de la compréhension de la parole. En effet, la perception et la compréhension de la parole humaine mettent en jeu des mécanismes cognitifs complexes souvent étudiés séparément dans les travaux de la littérature. L'approche pluridisciplinaire des sciences cognitives permet d'étudier ces mécanismes du point de vue de plusieurs champs scientifiques. Dans ces travaux, nous avons tenté de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la perception de la parole dégradée. La psycholinguistique nous a permis de mettre à jour l'intervention du lexique mental et des connaissances lexicales dans le processus de reconstruction. La majorité des modèles psycholinguistiques de la perception de la parole tente de rendre compte de la compréhension de la parole sans difficulté de perception. Or, comprendre la parole dans la vie de tous les jours, est un processus qui nécessite de surmonter les dégradations extérieures que peut subir le signal de parole. Les travaux présentés ici ont permis de montrer que le système cognitif est capable dans une certaine mesure de restaurer le signal dégradé pour comprendre le message verbal et que cette capacité de restauration est extrêmement variable d'un individu à l'autre. La neurophysiologie, et notamment l'étude du système auditif efférent, nous a permis d'émettre l'hypothèse d'un lien entre l'asymétrie des voies auditives (potentiellement liée à l'asymétrie hémisphérique des aires du langage) et les performances de reconstruction de la parole dégradée. L'étude des patients dyslexiques nous a appris qu'ils sont capables de restaurer de la parole dégradée malgré leur trouble langagier, et que leur absence d'asymétrie des voies auditives descendantes pourrait être liée à ces capacités réduites de restitution de la parole dégradée.

Au final, il apparaît que la compréhension de la parole est un phénomène robuste malgré la présence constante de dégradations extérieures. La plupart du temps, suivre une conversation en extérieur ne demande pas d'effort. Le système cognitif corrige le signal pour permettre de rétablir la compréhension. Parmi les questions en suspens se posent celle de l'origine des inégalités entre individus pour comprendre de la parole dégradée et notamment celle de la localisation des structures impliquées dans les processus de compensation.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Bashford, J. A. Jr., Warren, R. M., & Brown, C. A. (1996). Use of speech modulated noise adds strong "bottom-up" cues for phonemic restoration. *Perception & Psychophysics*, 58, 342-350.
- Bellis, T. J., Trent, N., & Kraus, N. (2000). Aging affects hemispheric asymmetry in the neural representation of speech sounds. *The Journal of Neuroscience*, 20(2), 791-797.
- Ben-Dror, I., Pollatsek, A., & Scarpati, S. (1991). Word identification in isolation and in context by college dyslexic students. *Brain and Language*, 40, 471-490.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Cox, R. W., Rao, S. M., & Prieto, T. (1997). Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging, *The Journal of Neuroscience*, 17, 353-362.
- Bishop, D. V., Carlyon, R. P., Deecks, J. M., & Bishop, S. J. (1999). Auditory temporal processing impairment: neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. Review. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 42, 1295-1310.
- Bishop, D. V. M., & Snowling, M. J. (2004). Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychological Bulletin*, 130, 858-888.
- Boets, B., Ghesquière, P., Wieringen, A., & Wouters, J. (2007). Speech perception in preschoolers at family risk for dyslexia: Relations with low-level auditory processing and phonological ability. *Brain and Language*, 101(1), 19-30.
- Bolia, R. S., Nelson, W. T., Ericson, M. A., & Simpson, B. D. (2000). A speech corpus for multitalkers communications research. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107, 1065-1066.
- Bradlow, A. R., Kraus, N., & Hayes, E. (2003). Speaking clearly for children with learning disabilities: sentence perception in noise. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 46, 80-97.
- Brady, S., Shankweiler, D., & Mann, V. (1983). Speech perception and memory coding in relation to reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 35(2), 345-367.
- Bray, P., & Kemp, D. T. (1987). An advanced cochlear echo technique suitable for infant screening. *British Journal of Audiology*, 21, 191-204.
- Bronkhorst, A. (2000). The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acustica*, 86, 117-128.

- Bronkhorst, A., & Plomp, R. (1992). Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, *92*, 3132-3138.
- Brouwer, S. M. (2006). *Spoken word processing in adults with dyslexia*. Thesis. Utrecht University.
- Bruck, M. (1990). Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology*, *26*, 439-454.
- Brungart, D. S. (2001a). Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, *109*, 1101-1109.
- Brungart, D. S. (2001b). Optimizing multitalker speech displays with near-field HRTFs. *Proceedings of the 2001 International Conference on Auditory Display*, 169-174.
- Brungart, D. S., Chang, P. S., Simpson, B. D., & Wang, D. (2006). Isolating the energetic component of speech-on-speech masking with ideal time frequency segregation. *Journal of Acoustical Society of America*, *120*, 4007-4018.
- Brungart, D. S., & Simpson, B. D. (2002). The effects of spatial separation in distance on the informational and energetic masking of a nearby speech signal. *Journal of the Acoustical Society of America*, *112*(2), 664-676.
- Brungart, D. S., Simpson, B. D., Ericson, M. A., & Scott, K. R. (2001). Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, *110*, 2527-2538.
- Carhart, R., Tillman, T. W., & Greetis, E. S. (1969). Perceptual masking in multiple sound background. *Journal of the Acoustical Society of America*, *45*, 694-703.
- Chermak, G. D., Vonhof, M. R., & Bendel, R. B. (1989). Word identification performance in the presence of competing speech and noise in learning disabled adults. *Ear & Hearing*, *10*, 90-93.
- Cherry, E. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *Journal of Acoustical Society of America*, *25*, 975-979.
- Cohen, M., Campbell, R., & Yaghai, F. (1989). Neuropathological abnormalities in developmental dyslexia. *Annals of Neurology*, *25*, 567-570.
- Collet, L., Kemp, D. T., Veuillet, E., Duclaux, R., Moulin, A., & Morgon, A. (1990). Effect of contralateral auditory stimuli on active cochlear micro-mechanical properties in human participants. *Hearing Research*, *43*, 251-262.

- Collet, L., Veuillet, E., Bene, J., & Morgon, A. (1992). Effects of contralateral white noise on click-evoked emissions in normal and sensorineural ears: towards an exploration of the medial olivocochlear system. *Audiology*, *31*, 1-7.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing*. San Diego, CA: Academic Press.
- Connine, C. M., Mullennix, J., Shernoff, E., & Yelen, J. (1990). Word familiarity and frequency in visual and auditory word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 1084-1096.
- Connine, C. M., Titone, D., Deelman, T., & Blasko, D. G. (1997). Similarity mapping in spoken word recognition. *Journal of Memory and Language*, *37*, 463-480.
- Content, A., Dumay, N., & Frauenfelder, U. H. (2000). The role of syllable structure in lexical segmentation in French. In *Proceedings of the Workshop on Spoken Word Access Processes, 29-31st May 2000*, Max-Planck Institute for Psycholinguistics, Nijmegen, The Netherlands.
- Content, A., Morais J., Alegria J., Bertelson P. (1982). Accelerating the development of phonetic segmentation skills in kindergartners. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *2*, 259-269.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 331-335.
- Cooper, N. P., & Guinan, J. J. Jr. (2003). Separate mechanical processes underlie fast and slow effects of medial olivo-cochlear efferent activity. *Journal of Physiology*, *548*(1), 307-312.
- Crouzet, O. (2000). *Segmentation de la Parole en Mots et Régularités Phonotactiques : Effets Phonologiques, Probabilistes ou Lexicaux ?* Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Université Paris 5 - René Descartes. 310 p.
- Crow, T. J., Ball, J., Bloom, S. R. (1989) Schizophrenia as an anomaly of development of cerebral asymmetry. A postmortem study and a proposal concerning the genetic basis of the disease. *Archives of General Psychiatry*, *46*, 1145 -1150.
- Culing, J. F. & Darwin, C. J. (1993). The role of timbre in the segregation of simultaneous voices with intersecting F0 contours. *Perception & Psychophysics*, *54*(3), 303-309.
- Cutler, A., McQueen, J. M., Norris, D. G., & Somejuan, A. (2001). The roll of the silly ball. In E. Dupoux (Ed.), *Language, Brain and Cognitive Development: Essays in honor of Jacques Mehler*, (pp181-194). Cambridge, MA: MIT Press.

- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., & Segui, J. (1986). The syllable's differing role in the segmentation of French and English. *Journal of Memory and Language*, 25, 385-400.
- Cutler, A., Mehler, J., Norris, D., Segui, J. (1987). Phoneme monitoring and the lexicon. *Cognitive Psychology*, 19, 141-177.
- Cutler, A. & Norris, D. (1979). Monitoring sentence comprehension. *Sentence processing: Psycholinguistic studies presented to Merrill Garrett, ed.* W.E. Cooper & E.C.T Walker.
- Cutler, A., & Norris, D. (1988). The role of strong syllables in segmentation for lexical access. *JEP: HPP*, 14, 113-121.
- Darwin, C. J., Brungart, D. S., & Simpson, B. D. (2003). Effects of fundamental frequency and vocal-tract length changes on attention to one of two simultaneous talkers. *Journal of Acoustical Society of America*, 114(5), 2913-2922.
- Demonet, J. F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J. L., Wise, R., Rascol, A. & Frackowiak, R., (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115, 1753-1768.
- Divenyi, P. L. (2004). Masking the feature-information in multi-stream speech-analogue displays. In P.L. Divenyi (Ed.), *Speech Separation by Man and Machine*, (pp. 269-281). New York: Kluwer Academic Publishers.
- Dorsaint-Pierre, R., Penhune, V. B., Watkins, K. E., Neelin, P., Lerch, J. P., Bouffard, M., & Zatorre, R. J. (2006). Asymmetries of the planum temporale and Heschl's gyrus: relationship to language lateralization. *Brain*, 129, 1164-1176.
- Drullman, R., & Bronkhorst, A. (2000). Multichannel speech intelligibility and talker recognition using monaural, binaural, and three-dimensional auditory presentation. *Journal of Acoustical Society of America*, 107, 2224-2235.
- Dupoux, E., Kouider, S. & Mehler, J. (2003). Unattended Lexical Activation? Explorations using Dichotic Priming, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 172-184.
- Dworczak, F., Bedoin, N., & Krifi, S. Internet et les troubles d'apprentissage de la lecture: synergies et partenariats créés. In G. Pithon, C. Asdih and S. Larivée (Eds.), *Construire une "communauté éducative": le partenariat familles-associations-écoles-universités*. De Boeck. (in press).
- Edwards, J., & Lahey, M. (1996). Auditory lexical decisions of children with specific language impairment. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 1263-1273.

- Elbaz, P., Leca, F., Elbaz, E. F., & Miller, P. (1992). Vocals in silence and noise. A simple test of resistance of intelligibility in noisy environment. *Annales d'otolaryngologie et de chirurgie cervicofaciale*, 109(7), 373-385.
- Ellis, D. P. W. (1998). Using knowledge to organize sound: The prediction-driven approach to computational auditory scene analysis, and its application to speech/nonspeech mixtures. *Speech Communication special issue on Computational Auditory Scene Analysis*, M. Cooke & H. Okuno, eds., 27(3-4), 281-298.
- Elman, J. L., & McClelland, J. L. (1988). Cognitive penetration of the mechanisms of perception: Compensation for coarticulation of lexically restored phonemes. *Journal of Memory and Language*, 27, 143-165.
- Ericson, M. A., & McKinley, R. L., (1997). The intelligibility of multiple talkers spatially separated in noise, in *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments*, Edited by R. H. Gilkey and T. R. Anderson (Erlbaum, Hillsdale N.J.), pp. 701-724.
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I., & Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46, 259-283.
- Felton, R. H., Naylor, C. E., & Wood, F. B. (1995). Neuropsychological profile of adult dyslexics. *Brain and Language*, 39, 485-497.
- Frauenfelder, U. H., Baayen, R. H., Hellwig, F. M., & Schreuder, R. (1993). Neighborhood density and frequency across languages and modalities. *Journal of Memory and Language*, 32, 781-804.
- Frauenfelder, U. H., & Content, A. (1999). The role of the syllable in spoken word recognition: Access or segmentation? *Actes des IIèmes Journées d'Etudes Linguistiques* (pp.1-8). Nantes (France).
- Frauenfelder, U., & Peeters, G. (1990). Lexical segmentation in TRACE: An exercise in simulation. In G. T. M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing: Psycholinguistic and computational perspectives* (pp. 50-86). Cambridge, Mass: The MIT Press.
- Frauenfelder, U. H., Segui, J., & Dijkstra, T. (1990). Lexical effects in phoneme processing: Facilitatory or inhibitory? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1), 77-91.
- Freyman, R., Balakrishnan, U., and Helfer, K. (2001). Spatial release from informational masking in speech recognition *Journal of Acoustical Society of America*, 109, 2112-2122.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia*, 5, 192-214.

- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, *18*, 222-233.
- Ganong, W. F. (1980). Phonetic categorization in auditory word perception. *Journal of Experimental Psychology*, *6*, 110-125.
- Garcia Lecumberri, M. L., & Cooke, M. (2006). Effect of masker type on native and non-native consonant perception in noise. *Journal of Acoustical Society of America*, *119*, 2445-2454.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human Brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, *161*, 186-187.
- Golestani, N., Molko, N., Dehaene, S., LeBihan, D., & Pallier, C. (2007). Brain structure predicts the learning of foreign speech sounds. *Cerebral Cortex*, *17*, 757-782.
- Giard, M. H., Collet, L., Bouchet, P., & Pernier, J. (1994). Auditory selective attention in the human cochlea. *Brain Research*, *633*, 353-356.
- Giraud, A. L., Collet, L., Chéry-Croze, S., Magnan, J., & Chays, A. (1995). Evidence of a medial olivocochlear involvement in contralateral suppression of otoacoustic emissions in humans. *Brain Research*, *705*(1-2), 15-23.
- Giraud, K., Demonet, J. F., Habib, M., Marquis, P., Chauvel, P., & Liégeois-Chauvel, C. (2005). Auditory evoked potential patterns to voiced and voiceless speech sounds in adult developmental dyslexics with persistent deficits. *Cerebral Cortex*, *15*, 1524-1534.
- Giraud, A. L., Garnier, S., Micheyl, C., Lina-Granade, G., Chays, A., & Chery-Croze, S. (1997). Medial Olivocochlear Efferent Involved In Speech In Noise Intelligibility. *Neuroreport*, *8*, 1779-1783.
- Greenberg, S., & Arai, T. (2001). The relation between speech intelligibility and the complex modulation spectrum. *Proceedings of the 7th Eurospeech Conference on Speech Communication and Technology*, Vol. 1 (pp. 473-476). Aalborg.
- Guinan, J. J. Jr. (1986). Effect of efferent neural activity on cochlear mechanics. *Scandinavian Audiology*, *25*, 53-62.
- Guinan, J. J. Jr. (1996). Physiology of olivocochlear efferents. In: *The cochlea* (Dallos P, Popper AN, Fay RR, eds), pp 435-502. New York: Springer.
- Habib, M. (2000) The neurological basis of developmental dyslexia. An overview and working hypothesis. *Brain*, *123*(12), 2373-2399.
- Hari, R., & Kiesilä, P. (1996). Deficit of temporal auditory processing in dyslexic adults. *Neuroscience letters*, *205*, 138-140.

- Hartley, D. E. H., & Moore, D. R. (2002). Auditory processing efficiency deficits in children with developmental language impairments. *Journal of the Acoustical Society of America*, *112*, 2962-2966.
- Hawley, M., Litovsky, R., & Culling, J. (2000). The 'cocktail party' effect with four kinds of maskers: Speech, time-reversed speech, speech shaped noise, or modulated speech shaped noise. In *Proceedings of the Midwinter Meeting of the Association for Research in Otolaryngology*, p.31.
- Helenius, P., Uutela, K., & Hari, R. (1999). Auditory stream segregation in dyslexic adults. *Brain*, *122*, 907-913.
- Henderson, L. (1985). Toward a psychology of morphemes. In A.W. Wallis (Eds.), *Progress in the Psychology of Language, Vol.1* (pp. 15-72). London: Lawrence Erlbaum Associates Limited.
- Howard, D., Patterson, K., Wise, R., Brown, W. D., Friston, K., Weiller, C. & Frackowiak, R. (1992). The cortical localization of the lexicons. Positron emission tomography evidence. *Brain*, *115*, 1769-1782.
- Huffman, R. F., & Henson, O. W. Jr. (1990). The descending auditory pathway and acousticomotor systems: connections with the inferior colliculus. *Brain Research Reviews*, *15*, 295-323.
- Kawase, T., Delgutte, B., & Liberman, M. C. (1993). Anti-masking effects of the olivocochlear reflex, II. Enhancement of auditory nerve responses to masked tones. *Journal of Neurophysiology*, *70*, 2533-2549.
- Kawase, T., Liberman, M. C. (1993). Anti-masking effects of the olivocochlear reflex, I. Enhancement of compound action potentials to masked tones. *Journal of Neurophysiology*, *70*, 2519-2532.
- Kemp, D. T. (1978). Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *Journal of Acoustic Society of America*, *64*, 1386-1391.
- Kemp, D. T. (1979). Evidence of mechanical nonlinearity and frequency selective wave amplification in the cochlea. *Arch Otol Rhinol Laryngol*, *224*, 37-45.
- Khalifa, S. (1999). *Caractérisation des asymétries fonctionnelles de l'appareil auditif périphérique chez l'humain : relations avec la spécialisation hémisphérique ?* Thèse de Doctorat en Neuropsychologie. Lyon, Université Claude Bernard Lyon1. pp. 318.
- Khalifa, S., Bougeard, R., Morand, N., Veuillet, E., Isnard, J., Guenot, M., Ryvlin, P., Fischer, C., & Collet, L. (2001). Evidence of peripheral auditory activity modulation by the auditory cortex in humans. *Neuroscience*, *104*(2), 347-358.

- Khalifa, S., & Collet, L. (1996). Functional asymmetry of medial olivocochlear system in humans. Towards a peripheral auditory lateralization. *NeuroReport*, 7, 993-996.
- Khalifa, S., Morlet, T., Veuillet, E., Perrot, X., & Collet, L. (1998). Existence d'une latéralisation de l'appareil auditif périphérique. *Annales d'otolaryngologie et de chirurgie cervicofaciale*, 115, 156-160.
- Khalifa, S., Veuillet, E., Collet, L. (1998). Influence of handedness on peripheral auditory asymmetry. *European Journal of Neuroscience*, 10, 2731-2737.
- Kidd, G. J., Mason, C., & Rohtla, T. (1995). Binaural advantage for sound pattern identification. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(4), 1977-1986.
- Kidd, G. J., Mason, C., Rohtla, T., & Deliwala, P. (1998). Release from informational masking due to the spatial separation of sources in the identification of nonspeech auditory patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 422-431.
- Kujala, T., Myllyviita, K., Trevaniemi, M., Alho, K., Kallio, J., & Näätänen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37, 262-266.
- Kumar, A. E., & Vanaja, C. D. (2004). Functioning of olivocochlear bundle and speech perception in noise. *Ear & Hearing*, 25, 124-146.
- Larsen, J. P., Høien, T., Lundberg, I., & Ødegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporale in adolescents with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 39, 289-301.
- Lefavrais, P. (1965). Test de l'Alouette. ECPA: Paris.
- Leonard, C. M., Eckert, M. A., Lombardino, L. J., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C. M., et al. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex*, 11, 48-57.
- Licklider, J. C. R., & Miller, G. A. (1960). The Perception of Speech. In Stevens, S. S. (Ed.), *Handbook of Experimental Psychology* (pp. 1040-1074). New York: Wiley.
- Livingstone, M. S., Rosen, G. D., Drislane, F. W., & Galaburda, A. M., (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 88, 7943-7947.
- Luce, P. A. (1986). *Neighborhoods of words in the mental lexicon*. Doctoral dissertation, Indiana University, Bloomington, IN.
- Luce, P. A., Pisoni, D. B. (1998). Recognizing spoken words: the neighborhood activation model. *Ear & Hearing*, 19, 1-36.

- Luce, P., Pisoni, D., & Goldinger, S. (1990). Similarity neighbourhoods of spoken words. In G. Altmann, Ed., *Cognitive Models of Speech Perception: Psycholinguistic and Computational Perspectives*, 122-147. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luce, R. D. (1959). Individual choice behavior, New York, Wiley.
- Maillart, C., Schelstraete, M., & Hupet, M. (2004). Phonological representations in children with SLI: A study of French. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 187-198.
- Manis, F. R., McBride-Chang, C., Seidenberg, M. S., Keating, P., Doi, L. M., Munson, B., et al. (1997). Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia? *Journal of Experimental Child Psychology*, 66, 211-235.
- Mann, V. A., & Repp, B. H. (1981). Influence of preceding fricative on stop consonant perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 69, 548-558.
- Marslen-Wilson, W. D. (1984). Function and process in spoken word recognition, in H. Bouma & D.G Bouwhuis ed., *Attention and Performance X: Control of Language Processes*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Marslen-Wilson, W. D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25, 71-102.
- Marslen-Wilson, W. D. (1990). Activation, competition, and frequency in lexical access. In G.T.M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing*, pp. 148-172. Cambridge, MA: MIT Press.
- Marslen-Wilson, W. D., & Welsh, A. (1978). Processing interactions and lexical access during word recognition in continuous speech. *Cognitive Psychology*, 10, 29-63.
- Marslen-Wilson W. D., & Zwitserlood, P. (1989). Accessing spoken words: the importance of word onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 576-585.
- McAnally, K. I., & Stein, J. F., (1996). Auditory temporal coding in dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*. 263, 961-965.
- McArthur, G. M., & Bishop, D. V. M. (2001). Auditory perceptual processing in people with reading and oral language impairments: Current issues and recommendations. *Dyslexia*, 7, 150-170.
- McArthur, G. M., & Hogben, J. H. (2001). Auditory backward recognition masking in children with a specific language impairment and children with a specific reading disability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 1092-1100.

- McBride-Chang, C. (1995). Phonological processing, speech perception, and reading disability: An integrative review. *Educational Psychologist*, 30, 109-121.
- McClelland, J. L., & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, 18, 1-86.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of Basic Findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- McCusker, L. X., Holley-Wilcox, P., & Hillinger, M. L. (1979). Frequency effects in auditory and visual word recognition. *Paper presented to the Southwestern Psychological Association* (cited in McCusker et al., 1981).
- Mehler, J. (1981). The role of syllables in speech processing: Infant and adult data. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 295, 333-352.
- Mehler, J., Dommergues, J. Y., Frauenfelder, U. H., & Segui, J. (1981). The syllable's role in speech segmentation. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20, 298-305.
- Mehler, J., Dupoux, E., & Segui, J. (1990). Constraining Models of Lexical Access: The onset of word recognition. In G. T. M. Altmann (Ed.). *Cognitive models of speech processing: psycholinguistic and computational perspectives* (pp. 236-262). Cambridge Mass: MIT Press.
- Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoncini, J., & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29, 143-178.
- Mehler, J., Segui, J., Frauenfelder, U. (1981). The role of the syllable in language acquisition and perception. In T.F. Myers, J. Laver, J. Anderson (Eds), *The Cognitive Representation of the Speech*, Amsterdam, North Holland.
- Metsala, J. L., Walley, A. C. (1998). Spoken vocabulary growth and the segmental restructuring of lexical representations: Precursors to phonemic awareness and early reading ability. In: J.L. Metsala & L.C. Ehri (Eds.). *Word recognition in beginning literacy*. London: Lawrence Erlbaum Associates, 89-119.
- Meunier, F., Cenier, T., Barkat, M. & Magrin-Chagnolleau, I., (2002). Mesure d'intelligibilité de segments de parole à l'envers en français, *Actes des 24ème Journées d'étude sur la parole (JEP)*, p.117-120, Nancy, France.
- Micheyl, C. (1995). *Implication des mécanismes cochléaires actifs et du système efférent olivocochléaire median dans la perception auditive*. Thèse de Doctorat en Psychologie. Lyon: Université Lumière Lyon2. pp. 273.

- Micheyl, C., & Collet, L. (1996). Involvement of the olivocochlear bundle in the detection of tones in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, *99*, 1604-1610.
- Micheyl, C., Khalfa, S., Perrot, X., & Collet, L. (1997). Difference in cochlear efferent activity between musicians and non musicians. *Neuroreport*, *8*, 1047-1050.
- Micheyl, C., Morlet, T., Giraud, A. L., Collet, L., & Morgon A. (1995). Contralateral suppression of evoked otoacoustic emissions and detection of a multitone complex in noise. *Acta Otolaryngologica*, *115*, 178-182.
- Micheyl, C., Perrot, X., Collet, L. (1997). Relationship between auditory intensity discrimination in noise and olivocochlear efferent system activity in humans. *Behavioural Neuroscience*, *111*, 801-807.
- Miller, G. A. (1947). The masking of speech. *Psychological Bulletin*, *44*, 105-129.
- Moore, B. C. J. (2004). An introduction to the psychology of hearing. Fifth Edition. Elsevier Academic Press.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *9*, 56-60.
- Moulin, A. (1993). *Caractérisation des otoémissions acoustiques et du système efférent cochléaire médian chez l'humain*. Thèse de Doctorat en Neurosciences. Lyon: Université Claude Bernard Lyon1.
- Moulin, A., Collet, L., Veillet, E., & Morgon, A., (1993). Interrelations between spontaneous otoacoustic emissions, transiently evoked otoacoustic emissions and acoustic distortion products in humans. *Hearing Research*, *65*, 193-210.
- Neff, D. L. (1995). Signal properties that reduces masking by simultaneous, random-frequency maskers. *Journal of the Acoustical Society of America*, *98*, 1909-1920.
- New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: A New French Lexical Database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* *36*(3), 516-524.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : LEXIQUE. *L'Année Psychologique*, *101*, 447-462.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (1990) Automaticity: a new framework for dyslexia research. *Cognition*, *35*, 159-182.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Berry, E. L., Jenkins, I. H., Dean, P., & Brooks, D. J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet*, *353*, 1662-1667.
- Norris, D. (1994). Shortlist: A connectionist model of continuous speech recognition. *Cognition*, *52*, 189-234.

- Norris, D., McQueen, J. M., & Cutler, A. (2000). Merging information in speech recognition: Feedback is never necessary. *Behavioral and Brain Sciences*, 23(3), 299-370.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Pallier, C. (1994). *Rôle de la syllabe dans la perception de la parole: Etudes attentionnelles*. Thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris.
- Paulesu, E., Démonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., et al. (2001). Dyslexia: Cultural Diversity and Biological Unity. *Science*, 291, 2165-2167.
- Penhune, V. B., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A., Zatorre R. J. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI. *Neuroimage*, 20, 1215-1225.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., MacDonald, J. D., Evans, A. C. (1996). Interhemispheric anatomical difference in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cerebral Cortex*, 6, 661-672.
- Perrot, X., Ryvlin, P., Isnard, J., Guénot, M., Catenoix, H., Fischer, C., et al. (2006). Evidence for corticofugal modulation of peripheral auditory activity in humans. *Cerebral Cortex*, 16, 941-948.
- Pichora-Fuller, M. K., Schneider, B. A., & Daneman, M. (1995). How young and old adults listen to and remember speech in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 593-608.
- Powell, H. W. R, Parker, G. J. M., Alexander, D. C., Symms, M. R. Boulby, P. A., Wheeler-Kingshott, C. A. M., et al. (2006). Hemispheric asymmetries in language-related pathways: a combined functional MRI and tractography study. *Neuroimage*, 32, 388-399.
- Price, C. J., Wise, R. J., Warburton, E. A., Moore, C. J., Howard, D., Patterson, K., Frackowiak, R. S., & Friston, K. J. (1996). Hearing and saying. The functional neuroanatomy of auditory word processing, *Brain*, 119, 919-931.
- Pujol, J., Deus, J., Losilla, J. M., & Capdevila, A. (1999). Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *Neurology*, 52, 1038-1043.
- Pujol, R., Blatrix, S., Pujol, T. (1999). *Promenade autour de la cochlée*, site pédagogique <http://www.cochlee.info/>, INSERM et Université Montpellier 1.
- Radeau, M., Mousty, P., Bertelson, P. (1989). The effect of the uniqueness point in spoken-word recognition, *Psychological Research*, 51, 123-128.
- Ramus, F. (2002). Dyslexie: la cognition en désordre? *La Recherche Hors-Série*, 9,66-68.

- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212-218.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126, 841-865.
- Rasmussen, G. L. (1946). The olivary peduncle and other fiber projections of the superior olivary complex. *Journal of Comparative Neurology*, 84, 141-219.
- Raven, J. C. (1938). Progressive matrices: A perceptual test of intelligence. London: H.K. Lewis.
- Reed, M. A. (1989). Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 270-292.
- Rhebergen, K. S., Versfeld, N. J., & Dreschler, W. A. (2005). Release from informational masking by time reversal of native and non-native interfering speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 118, 1274-1277.
- Robichon, F., Levrier, O., Farnarier, P., & Habib, M. (2000). Developmental dyslexia: Atypical cortical asymmetries and functional significance. *European Journal of Neurology*, 7, 35-46.
- Rosen, S., & Manganari, E. (1999). The relationship between speech and non-speech auditory processing in children with dyslexia. *Speech, hearing and Language: Work in progress*, 11, 160-186.
- Rüsseler, J., Becker, P., Johannes, S., & Münte, T. F. (2007). Semantic, syntactic, and phonological processing of written words in adult developmental dyslexic readers: an event-related brain potential study. *BMC Neuroscience*, 8, 52.
- Saberi, K., & Perrott, D. R. (1999). Cognitive restoration of reversed speech. *Nature*, 398, 760.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month old infants. *Science* 274, 1926-1928.
- Samuel, A. G. (1996). Does lexical information influence the perceptual restoration of phonemes? *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 28-51.
- Samuel, A. G. (1997). Lexical activation produces potent phonemic percepts. *Cognitive Psychology*, 32, 97-127.
- Scharf, B., Magnan, J., & Chays, A. (1997). On the role of the olivocochlear bundle in hearing : 16 case studies. *Hearing Research*, 103, 101-122.

- Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling J., & Remschmidt, H. (2001). Speech perception deficit in dyslexic adults as measured by mismatch negativity (MMN). *International Journal of Psychophysiology*, 40, 77-87.
- Scott, S. K., Blank, C. C., Rosen, S., & Wise, R. J. (2000). Identification of a pathway for intelligible speech in the left temporal lobe. *Brain*, 123(12), 2400-2406.
- Segui, J. (1984). The syllable: A basic perceptual unit in speech perception ? In H. Bouma, D.G. Bouwhuis (Eds), *Attention and Performance X: Control of Language Processes*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum.
- Segui, J., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). The role of the syllable in speech segmentation, phoneme identification and lexical access. In G. T. M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing: psycholinguistic and computational perspectives* (pp. 263-280). Cambridge Mass.: MIT Press.
- Segui, J., & Frauenfelder, U. (1986). The effects of lexical constraints upon speech perception. In F. Klix and H. Hagendorf (Eds), *Human Memory and Cognitive Capabilities*, Amsterdam, North-Holland, 795-808.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R., & Démonnet, J. F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44, 384-399.
- Seymour, P. H. K., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, 94(2), 143-174.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Kamath, V., Wygonski, J., Ekelid, M. (1995). Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, 270, 303-304.
- Shillcock, R. (1990). Lexical hypotheses in continuous speech. In G. T. M. Altmann (Ed.), *Cognitive models of speech processing: Psycholinguistic and computational perspectives* (pp. 24-49) .Cambridge, MA: MIT Press.
- Simpson, S. A., & Cooke, M. (2005). Consonant identification in N-talker babble is a non-monotonic function of N (L). *Journal of Acoustic Society of America*. 118, 2775–2778.
- Slowiaczek, L. M., & Pisoni, D. B. (1986). Effects of phonological similarity on priming in auditory lexical decision. *Memory and Cognition*, 14, 230–237.
- Snowling, M. J. (1981). Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research*. 43, 219-234.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2nd Ed.). Oxford: Blackwell.

- Snowling, M. J. (2000). Language and literacy skills: who is at risk and why? In D.V.M. Bishop & L.B. Leonard (Eds.) *Speech and language impairments in children: Causes, characteristics, intervention and outcome*. Hove UK: Psychology Press, 245-259.
- Sperry, J., Wiley, T., & Chial, M. (1997). Word recognition performance in various background competitors. *Journal of the American Academy of Audiology*, 8(2), 71-80.
- Spinelli, E. Segui, J., & Radeau, M. (2001). Phonological Priming in Spoken Word recognition With Disyllabic Targets. *Language and Cognitive Processes*, 16, 367-392.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003). *Lecture et dyslexie*. Paris: Dunod.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read, the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20, 147-152.
- Stollman, M., Kapteyn, T., & Sleeswijk, B. (1994). Effect of time-scale modification of speech on the speech recognition threshold in noise for hearing-impaired and language-impaired children. *Scandinavian Audiology*, 23, 39-46.
- Summers, V., & Molis, M. R. (2004). Speech recognition in fluctuating and continuous maskers: effects of hearing loss and presentation level. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(2), 245-256.
- Taft, M., & Hambly, G. (1986). Exploring the cohort model of spoken word recognition. *Cognition*, 22, 259-282.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.
- Tallal, P. (1984) Temporal or phonetic processing deficit in dyslexia? That's the question. *Applied Psycholinguistics*, 5, 167-169.
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. (1993). Neurobiological basis of speech: a case for the pre-eminence of temporal processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682, 27-47.
- Tallal, P., & Newcombe, P. (1978). Impairment of auditory perception and language comprehension in dysphasia. *Brain and Language*, 5, 13-34.
- Valdois, S. (2004). Les sous-types de dyslexies développementales. In S. Valdois, P. Colé & D. David (Eds). *Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales : de la théorie à la pratique* (pp. 171-198). Marseille : Editions Solal.
- Van Engen, K. & Bradlow, A. R. (2007). Sentence recognition in native- and foreign-language multi-talker background noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1), 519-526.

- Van Ingelghem, M., van Wieringen, A., Wouters, J., Vandebussche, E., Onghena, P., & Ghesquière, P. (2001). Psychophysical evidence for a general temporal processing deficit in children with dyslexia. *Neuroreport*, *12*, 1-4.
- Veillet, E., Collet, L., & Bazin, F. (1999). Objective evidence of peripheral auditory disorders in learning-impaired children. *Journal of Audiological Medicine*, *8*(1), 18-29.
- Veillet, E., Collet, L., & Duclaux, R. (1991). Contralateral auditory stimulation and active micromechanical properties in human participants: Dependence on stimulus variables. *Journal of Neurophysiology*, *65*, 724-735.
- Veillet, E., Georgieff, N., Philibert, B., Dallery, J., Marie-Cardine, M., & Collet, L. (2001). Abnormal peripheral auditory asymmetry in schizophrenia. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, *70*, 88-94.
- Veillet, E., Magnan, A., Ecalle, J., Thai-Van, H., & Collet, L. (2007). Auditory processing disorder in children with reading disabilities: effect of audiovisual training. *Brain*. (In Press).
- Warr, W. B., Guinan, J. J., White, J. S. (1986). *Neurobiology of Hearing: The Cochlea*. Raven Press ; New York.
- Warren, R. M. (1970). Perceptual restoration of missing speech sounds. *Science*, *167*, 392-393.
- Warren, R. M., & Warren, R. P. (1970). Auditory illusions and confusions. *Scientific American*, *223*, 30-36.
- Watson, B. U. & Miller, T. K. (1993). Auditory perception, phonological processing and reading ability/disability. *Journal of Speech and Hearing Research* *36*(4), 850-863.
- Wible, B., Nicol, T., & Kraus, N. (2002). Abnormal neural encoding of repeated speech stimuli in noise in children with learning problems, *Clinical Neurophysiology* *113*(4), 485-494.
- Wood, N. L., & Cowan, N. (1995). The cocktail party phenomenon revisited: Attention and memory in the classic selective listening procedure of Cherry (1953). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *21*, 255-260.
- Zahn, R., Huber, W., Drews, E., Erberich, S., Kring, T., Klaus Willmes, K., & Schwarz, M. (2000). Hemispheric lateralization at different levels of human auditory word processing: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, *287*, 195-198.
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*, 37-46.

- Zeng, F. G., Martino, K. M., Linthicum, F. H., & Soli, S. D. (2000). Auditory perception in vestibular neurectomy subjects. *Hearing Research, 142*, 102-112.
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., George, F., Alario F. X., & Lorenzi, C. (2005). Deficits in speech perception predict language learning impairment. *PNAS. 102*(39), 14110-14115.
- Zwitserslood, P. (1989). The locus of the effects of sentential-semantic context in spoken-word recognition. *Cognition, 32*, 25-64.

ANNEXES

ANNEXE 1

Matériel des expériences 1a, 1b, 2a et 2b

Mots		
cobra	chiffon	cachot
lagon	pigeon	patin
rebond	blouson	chalet
cabri	buffet	purée
sosie	lundi	vallon
diva	poumon	sirop
couffin	ruban	canot
bévue	prairie	bandit
nougat	bijou	piquet
guenon	troupeau	juron
chaînon	climat	rotin
frelon	leçon	cachet
javelot	plateau	lacet
puma	réseau	pâté
trognon	crédit	galet
laitue	genou	poteau
chevreau	projet	bouchon
vessie	cheveu	taureau
safran	chemin	balai
pruneau	raison	torrent
venin	palet	débit
blaireau	furet	bonnet
dragée	tiret	défi
faisan	poney	poulet
gigot	pichet	gâteau
grelot	rallye	ballon
landau	garrot	bâton
caisson	beignet	mouton
trousseau	bidet	bouton
crapaud	caddie	cadeau
jeton	râteau	vallée
stylo	loquet	menton
ravin	boulon	château
chameau	bison	salon
verrou	baquet	bateau
képi	chaton	forêt
jambon	radeau	café
raisin	radis	pari
tricot	sachet	matin
mégot	gageot	côté

Pseudomots		
bacot	cralon	pivue
bagnon	créton	plafé
banou	dérit	podit
bansson	déseau	posit
bapaud	dignet	pouchet
basseau	draquet	poudit
beigot	faireau	prailée
bétin	fomin	prolon
bideau	frelet	pruton
bigat	fulot	puquet
biva	gaçon	pureau
blaidis	gajou	raban
blouté	gamon	raffet
bogéon	geteau	raffin
bougot	gideau	raichon
bouma	grechet	raiton
bounon	guedit	ranon
buret	jandet	raquet
cabon	javrot	reteau
caffon	jesan	réteau
cafran	jubra	roton
caïrot	kéney	rulet
cajet	labond	sapeau
calie	laifit	sarent
cameau	lantin	sateau
carrou	lavreau	sigée
casin	leret	solet
chaïton	lobri	styron
chalon	lunton	taucet
chalot	mapi	tilon
chatue	mendau	torie
chavin	ménot	trilet
chelon	mouzon	trochet
cheson	nougeot	troubit
cheteau	pagon	troulet
chinet	panin	valo
clitin	pason	vaneau
coret	passie	véchet
coudie	pilet	veté
coveu	pimat	veteau

ANNEXE 2

Consignes orales pour les expériences 1a et 1b

Expérience 1a portant sur les mots

Vous allez entendre 120 mots. Ce sont des mots que vous connaissez tous, ce sont des noms communs de la langue française qui appartiennent à un vocabulaire courant. Par exemple le mot « *savon* ». Pour chaque mot, la tâche est de taper au clavier ce que vous avez entendu. Vous allez écouter ces mots un par un à l'aide du casque, certains sont très clairement prononcés donc vous n'aurez aucune difficulté à les reconnaître, d'autres sont un peu « distordus », donc vous aurez plus de mal à les comprendre. Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque mot qu'une seule fois. Quand vous avez fini de taper un mot, appuyez sur la touche « entrée » puis sur la touche « espace » pour passer au mot suivant. Si vous n'avez pas compris le mot, tapez ce que vous avez entendu même si ce n'est qu'un petit morceau. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Vous pouvez mettre les casques.

Expérience 1b portant sur les pseudomots

Vous allez entendre de la parole humaine, il ne s'agit pas de vrais mots de la langue française, par exemple « *plavin* ». Attention, certains items ressemblent à de vrais mots mais n'en sont pas. Vous allez écouter ces items un par un à l'aide du casque, certains sont très audibles donc vous allez très bien les entendre et être capable de les retranscrire, d'autres sont « distordus » donc plus difficiles à comprendre. Votre tâche est de taper au clavier après chaque item ce que vous pensez avoir entendu. Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque item qu'une seule fois. Quand vous avez fini de taper au clavier, appuyez sur la touche « entrée » puis sur la touche « espace » pour passer à l'item suivant. Si vous n'avez pas très bien compris un item, tapez ce que vous avez entendu même si ce n'est qu'un fragment. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Vous pouvez mettre les casques.

ANNEXE 3

Consignes orales pour les expériences 2a et 2b
(Participants dyslexiques)**Expérience 2a portant sur les mots**

Vous allez entendre 120 mots. Ce sont des mots que vous connaissez tous, ce sont des noms communs de la langue française qui appartiennent à un vocabulaire courant. Par exemple le mot « *savon* ». Vous allez écouter ces mots un par un à l'aide du casque, pour chaque mot, la tâche est de répéter ce que vous avez entendu. Certains mots sont très clairement prononcés donc vous n'aurez aucune difficulté à les reconnaître, d'autres sont un peu « distordus », donc vous aurez plus de mal à les comprendre. Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque mot qu'une seule fois. Si vous n'avez pas compris le mot, répétez ce que vous avez entendu même si ce n'est qu'un petit morceau. Parlez bien fort pour que nous vous entendions de l'autre côté de la cloison. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Vous pouvez mettre le casque.

Expérience 2b portant sur les pseudomots

Vous allez entendre de la parole humaine, il ne s'agit pas de vrais mots de la langue française, par exemple « *plavin* ». Vous allez écouter ces items un par un à l'aide du casque, votre tâche est de répéter ce que vous avez entendu après chaque extrait sonore. Attention, certains items ressemblent à de vrais mots mais n'en sont pas. Certains sont très audibles donc vous allez très bien les entendre et être capable de les répéter, d'autres sont « distordus » donc plus difficiles à comprendre. Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque item qu'une seule fois. Si vous n'avez pas très bien compris un item, répétez ce que vous avez entendu même si ce n'est qu'un fragment. Parlez bien fort pour que nous vous entendions de l'autre côté de la cloison. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Vous pouvez mettre le casque.

ANNEXE 4

Matériel de l'expérience 3

fois	dette	mouche	dalle	faille	nord	bac	maille
jade	gaine	bœuf	char	gosse	ouate	bosse	plan
tort	roche	panne	bec	bâche	gaffe	pli	pape
niche	pouce	vice	flux	mine	feinte	grue	ski
bise	ruse	thèse	pull	bouc	rite	roi	puit
meule	lance	butte	lion	quiche	gamme	laine	bile
quinte	rampe	voute	vigne	folle	pieu	chèque	souche
cave	noce	motte	saule	poche	sourd	fauve	ronce
gîte	poule	flot	arc	brin	soupe	mousse	lobe
code	bombe	cale	serre	cire	guide	canne	rente
bus	lame	blé	phoque	songe	rock	même	mèche
foule	bar	bal	bûche	vanne	fente	singe	gomme
noix	pogne	zinc	tâche	marre	tome	lice	sauce
case	cap	botte	paume	lande	fouille	plot	mec
touche	linge	fonte	croc	zèle	sel	coupe	louche
tri	chique	pause	boule	joule	loupe	gage	guêpe
bouffe	nonne	ronde	cône	clou	dose	gel	col
cache	lieu	suie	veuf	fiche	clan	pelle	mure
loge	race	miss	mode	mal	frein	buée	manche
duo	fauche	tronc	cèpe	moule	guise	clin	flanc
dune	rive	mère	ride	lac	pente	pôle	phase
sage	banque	pince	chatte	figue	craie	doigt	lange
paire	lard	dague	naine	tige	vote	bague	thème
vase	tulle	site	poids	val	latte	châle	loque
plomb	reine	coude	messe	pré	touffe	quille	tir
bol	poupe	biche	rouille	tape	bis	natte	pile
trait	juin	nef	menthe	clos	trop	coq	deuil
paille	tasse	patte	cil	teinte	nappe	signe	fouet
hyène	peigne	beurre	plaie	nage	fosse	cime	bille
nuée	rail	paye	rage	tempe	compte	pompe	cube
four	joie	rose	duc	tôle	digue	hier	vol
bulle	douille	gym	point	rhum	puce	crin	tube
vente	seuil	jouet	grain	cure	fac	vogue	nuque
pneu	lien	souhait	cage	goutte	pêche	pote	file
chaîne	quête	ruche	pipe	chasse	jante	râle	faune
nerf	côte	gène	biais	ours	mythe	jupe	bourg

ANNEXE 5

Consigne orale pour l'expérience 3

Expérience 3

Vous allez entendre dans le casque 288 extraits sonores contenant des mots cibles. Ces mots sont accompagnés d'un bruit de fond dont le volume est variable. Votre tâche est d'écouter attentivement chaque extrait sonore un par un et de comprendre le mot cible pour le transcrire au clavier. Les mots cibles à transcrire sont tous des mots courants dans la langue française, par exemple le mot « *bois* ». Après chaque extrait sonore, vous devez taper au clavier ce que vous avez entendu. Attention, il faut être très attentif car vous ne pouvez entendre chaque extrait sonore qu'une seule et unique fois! Si vous n'avez pas compris un mot, écrivez ce que vous avez entendu, même si ce n'est qu'un fragment du mot. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Quand vous avez fini de taper un mot, appuyez sur la touche « Entrée » puis sur la touche « Espace » pour passer à l'extrait suivant. Avant de commencer, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec l'expérience. Vous pouvez mettre le casque.

ANNEXE 6

Matériel des expériences 4a, 4b, 5a et 5b

Mots		
teigne	salle	douve
fan	gare	langue
bèche	sioux	bagne
math	fête	toge
creux	cri	bouée
râpe	port	tombe
sœur	verre	faute
sol	fougue	taupe
cote	date	luge
chaîne	danse	rime
bal	toit	sort
chance	ruée	prêt
jarre	bête	plat
trou	rate	chiot
gousse	dard	benne
batte	jambe	tare
laisse	bique	dieu
lys	rêve	choix
neige	coin	mage
gaz	gang	pub
vis	geôle	toque
mime	gland	baffe
caille	nymphé	mite
clef	muse	robe
proue	lime	scène
dame	chope	tank
vague	glas	meute
dinde	caisse	pion
jugé	mangue	fève
tache	lampe	lune
buis	nouille	note
patte	base	zone
flan	glu	chaise
louve	pagne	front
cran	masse	pomme
bail	soin	sac
bord	rêne	bave
fer	chien	soute
miche	feuille	buse
tante	sud	genre

Pseudomots		
fleu	lite	bla
bape	goi	brou
rague	nigue	jeille
miffe	ranle	nance
nif	mourre	mouf
mabe	gane	pegue
cheuille	veupe	touc
jope	bousse	gotte
drai	doin	prin
jesse	tru	ragne
gasse	binte	bran
daize	sode	sive
zoupe	gaille	rambe
pague	tad	cra
banche	tede	ronque
mone	binde	gabe
tide	cheb	tran
rille	tiche	vone
lanque	taze	rube
sate	desse	stan
tave	bope	rinfé
fal	migue	clu
feque	mige	togne
muge	resse	tanre
somme	cleu	tof
ruque	mame	veme
blu	poque	mebe
rette	nole	zoi
zange	juque	dille
ronte	sonte	goupe
rinche	pabe	ple
rouque	mance	nade
rouche	seille	lolle
dache	tougue	dube
laze	vatte	guve
daille	keul	miou
lafe	vure	lousse
teche	viche	chile
bre	jaffe	nobe
fogne	rinpe	nouche

ANNEXE 7

Consignes orales pour les expériences 4a et 4b

Expérience 4a portant sur les mots

Vous allez entendre un par un, 120 extraits sonores dans lesquels plusieurs personnes parlent en même temps. Parmi les différents locuteurs parlant en continu, un locuteur cible prononce un seul et unique mot. Votre tâche est de repérer la voix du locuteur cible et de comprendre le mot qu'il a prononcé puis de le transcrire au clavier. Les mots cibles à transcrire sont tous des mots courants dans la langue française, par exemple le mot « *train* ». Après chaque extrait sonore, vous devez taper au clavier ce que vous avez entendu. Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque extrait sonore qu'une seule et unique fois! Si vous n'avez pas compris un mot, écrivez ce que vous avez entendu, même si ce n'est qu'un fragment de mot. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Quand vous avez fini de taper un mot, appuyez sur la touche « Entrée » puis sur la touche « Espace » pour passer à l'extrait suivant. Avant de commencer, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec l'expérience. Vous pouvez mettre le casque.

Expérience 4b portant sur les pseudomots

Vous allez entendre un par un, 120 extraits sonores dans lesquels plusieurs personnes parlent en même temps. Parmi les différents locuteurs parlant en continu, un locuteur cible prononce un seul et unique item. Il ne s'agit pas d'un vrai mot de la langue française, par exemple « *ture* ». Votre tâche est de repérer la voix du locuteur cible et de comprendre l'item qu'il a prononcé. Après chaque extrait sonore, vous devez taper au clavier ce que vous avez entendu. Attention, certains items cibles à transcrire ressemblent à de vrais mots mais n'en sont pas. Il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque extrait sonore qu'une seule et unique fois! Si vous n'avez pas compris l'item cible, écrivez ce que vous avez entendu, même si ce n'est qu'un fragment. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Quand vous avez fini de taper un item, appuyez sur la touche « Entrée » puis sur la touche « Espace » pour passer à l'extrait suivant. Avant de commencer, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec l'expérience. Vous pouvez mettre le casque.

ANNEXE 8

Consignes orales pour les expériences 5a et 5b
(Participants dyslexiques)**Expérience 5a portant sur les mots**

Vous allez entendre un par un, 120 extraits sonores dans lesquels plusieurs personnes parlent en même temps. Parmi les différents locuteurs parlant en continu, un locuteur cible prononce un seul et unique mot. Votre tâche est de repérer la voix du locuteur cible et de comprendre le mot qu'il a prononcé puis de le répéter à voix haute. Les mots cibles à répéter sont tous des mots courants dans la langue française, par exemple le mot « *train* ». Attention, il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque extrait sonore qu'une seule et unique fois! Si vous n'avez pas compris un mot, répétez ce que vous avez entendu, même si ce n'est qu'un petit morceau. Parlez bien fort pour que nous vous entendions de l'autre côté de la cloison. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Avant de commencer, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec l'expérience. Vous pouvez mettre le casque.

Expérience 4b portant sur les pseudomots

Vous allez entendre un par un, 120 extraits sonores dans lesquels plusieurs personnes parlent en même temps. Parmi les différents locuteurs parlant en continu, un locuteur cible prononce un seul et unique item. Il ne s'agit pas d'un vrai mot de la langue française, par exemple « *ture* ». Votre tâche est de repérer la voix du locuteur cible et de comprendre le mot qu'il a prononcé puis de le répéter à voix haute. Attention, certains items cibles à répéter ressemblent à de vrais mots mais n'en sont pas. Il faut être très attentif car vous ne pourrez entendre chaque extrait sonore qu'une seule et unique fois! Si vous n'avez pas compris l'item cible, répétez ce que vous avez entendu, même si ce n'est qu'un petit morceau. Parlez bien fort pour que nous vous entendions de l'autre côté de la cloison. Le temps n'est pas limité pour la réponse. Avant de commencer, vous allez effectuer un entraînement pour vous familiariser avec l'expérience. Vous pouvez mettre le casque.

