



HAL
open science

Perception catégorielle et perception allophonique: incidences de l'âge, du niveau de lecture et des couplages entre prédispositions phonétiques

Caroline Bogliotti

► **To cite this version:**

Caroline Bogliotti. Perception catégorielle et perception allophonique: incidences de l'âge, du niveau de lecture et des couplages entre prédispositions phonétiques. Linguistique. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2005. Français. NNT : . tel-00468920

HAL Id: tel-00468920

<https://theses.hal.science/tel-00468920v1>

Submitted on 1 Apr 2010

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

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

UNIVERSITE PARIS 7 – DENIS DIDEROT

UFR DE LINGUISTIQUE

Ecole doctorale des Sciences du Langage

PERCEPTION CATEGORIELLE ET
PERCEPTION ALLOPHONIQUE :
INCIDENCES DE L'AGE, DU NIVEAU DE LECTURE
ET DES COUPLAGES ENTRE PREDISPOSITIONS PHONETIQUES

THESE DE DOCTORAT DE PHONETIQUE PRESENTEE PAR
CAROLINE BOGLIOTTI

DIRIGEE PAR LILIANE SPRENGER-CHAROLLES ET WILLY SERNICLAES

SOUTENUE LE 18 MAI 2005

Jury :

Mme Pascale COLE, rapporteur

Mr Jean-Luc NESPOULOUS, rapporteur

Mme Liliane SPRENGER-CHAROLLES

Mr Willy SERNICLAES

Mr Ulrich FRAUENFELDER

Mr Philippe MARTIN

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| <u>REVUE DE LITTERATURE</u> | 7 |
| <u>1 L'APPRENTISSAGE DE LA LECTURE</u> | 8 |
| 1.1 LE LECTEUR EXPERT | 8 |
| 1.2 L'APPRENTI LECTEUR | 11 |
| 1.2.1 SAVOIR LIRE DANS UNE ECRITURE ALPHABETIQUE : COMPRENDRE LE SYSTEME ALPHABETIQUE | 11 |
| 1.2.2 LA CONSCIENCE PHONOLOGIQUE | 13 |
| 1.2.3 LES MODELES D'APPRENTISSAGE DE LA LECTURE | 16 |
| <u>2 LA DYSLEXIE DEVELOPPEMENTALE</u> | 28 |
| 2.1 LA DYSLEXIE DEVELOPPEMENTALE : SES MANIFESTATIONS | 28 |
| 2.1.1 DEFINITION DE LA DYSLEXIE | 28 |
| 2.1.2 LA CARACTERISATION DES DEFICITS DES DYSLEXIQUES | 29 |
| 2.2 ORIGINES DE LA DYSLEXIE DEVELOPPEMENTALE : INTERPRETATIONS CONTEMPORAINES | 34 |
| 2.2.1 HYPOTHESE AUDITIVE | 34 |
| 2.2.2 HYPOTHESE VISUELLE : UN DEFICIT MAGNOCELLULAIRE ? | 40 |
| 2.2.3 HYPOTHESE CEREBELLEUSE : LES TROUBLES MOTEURS | 44 |
| 2.2.4 HYPOTHESE PHONOLOGIQUE | 46 |
| 2.2.5 UN DEFICIT DE PERCEPTION CATEGORIELLE A L'ORIGINE DE LA DYSLEXIE | 49 |
| <u>3 LA PERCEPTION CATEGORIELLE</u> | 53 |
| 3.1 LA PERCEPTION CATEGORIELLE : DEFINITION | 53 |
| 3.2 LA PERCEPTION CATEGORIELLE : UNE ORIGINE CONTROVERSEE | 54 |
| 3.2.1 LA THEORIE MOTRICE | 54 |
| 3.2.2 LA PC EST-ELLE SPECIFIQUE A LA PAROLE ET A L'HOMME : LES THEORIES AUDITIVES | 56 |
| 3.2.3 LA THEORIE D'APPRENTISSAGE DE LA CATEGORISATION | 58 |
| 3.3 LES CRITERES D'EVALUATION DE LA PERCEPTION CATEGORIELLE | 59 |
| 3.3.1 LES CRITERES D'EVALUATION | 59 |
| 3.3.2 LES ECHELLES DE QUANTIFICATION | 60 |
| 3.4 LES CHANGEMENTS DEVELOPPEMENTAUX DES CAPACITES DE PERCEPTION DE LA PAROLE | 61 |
| 3.4.1 LA VARIETE DES CONTRASTES QU'UN NOURRISSON PEUT DISCRIMINER | 62 |
| 3.4.2 EPOQUE DE LA PERTE DE LA CAPACITE PERCEPTIVE DES SONS NON NATIFS | 70 |
| 3.4.3 NATURE DU CHANGEMENT DE LA CAPACITE PERCEPTIVE AU COURS DU DEVELOPPEMENT : MODELES ET RESULTATS | 73 |
| 3.4.4 LA PERCEPTION CHEZ L'ENFANT | 94 |
| <u>4 LE DEFICIT DE PERCEPTION CATEGORIELLE ET LA DYSLEXIE</u> | 97 |
| 4.1 CONSCIENCE PHONOLOGIQUE ET PC (PRC) : UNE RELATION FORTE | 97 |

| | | |
|---------------------------------|--|----------------|
| 4.2 | DEFICIT DANS LE CODAGE PHONOLOGIQUE | 99 |
| 4.3 | DEFICIT DE LECTURE ET DEFICIT DE PC (PCR, PRC ET EFP) | 100 |
| 4.4 | LE DEFICIT DE PC : UNE DISCRIMINABILITE ACCRUE | 102 |
| 4.5 | LA PERCEPTION ALLOPHONIQUE : LE DEFICIT DE PC REVISE | 104 |
| 4.5.1 | RESULTATS | 104 |
| 4.5.2 | LES IMPLICATIONS DE LA PERCEPTION ALLOPHONIQUE DANS LA LECTURE | 106 |
| 4.5.3 | DES ENTRAINEMENTS SUR LA PC POUR EN AMELIORER LES PERFORMANCES | 108 |
| PARTIE EXPERIMENTALE | | 113 |
| <hr/> | | |
| 1 | ETUDE 1 : EFFET DE L'AGE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA PC | 116 |
| <hr/> | | |
| 1.1 | METHODOLOGIE | 117 |
| 1.1.1 | POPULATION | 117 |
| 1.1.2 | MATERIEL LINGUISTIQUE ET PROCEDURES | 117 |
| 1.1.3 | MATERIEL PERCEPTIF ET PROCEDURES | 119 |
| 1.1.4 | PROCEDURES STATISTIQUES | 125 |
| 1.2 | RESULTATS | 126 |
| 1.2.1 | LA PERCEPTION CATEGORIELLE RELATIVE | 126 |
| 1.2.2 | EFFET DE FRONTIERE PHONEMIQUE | 128 |
| 1.2.3 | LA PRECISION CATEGORIELLE | 128 |
| 1.3 | DISCUSSION | 129 |
| 1.4 | CONCLUSION | 131 |
| | | |
| 2 | ETUDE 2 : LE DEFICIT DE PC ET LA PERCEPTION ALLOPHONIQUE | 132 |
| <hr/> | | |
| 2.1 | METHODOLOGIE | 132 |
| 2.1.1 | POPULATION | 132 |
| 2.1.2 | MATERIEL LINGUISTIQUE ET PROCEDURES | 133 |
| 2.1.3 | MATERIEL PERCEPTIF ET PROCEDURES | 134 |
| 2.1.4 | PROCEDURES STATISTIQUES | 134 |
| 2.2 | RESULTATS | 136 |
| 2.2.1 | LA PERCEPTION CATEGORIELLE | 136 |
| 2.2.2 | L'EFFET DE FRONTIERE PHONEMIQUE | 137 |
| 2.2.3 | LA PRECISION CATEGORIELLE | 137 |
| 2.2.4 | RELATIONS ENTRE CAPACITE DE PERCEPTION DE LA PAROLE ET CAPACITE DE LECTURE | 138 |
| 2.3 | DISCUSSION | 139 |
| 2.3.1 | UN DEFICIT DE PC OBSERVE CHEZ LES DYSLEXIQUES | 139 |
| 2.3.2 | UNE MEILLEURE DISCRIMINABILITE INTRACATEGORIELLE CHEZ LES DYSLEXIQUES | 141 |
| 2.3.3 | ORIGINE DE LA PERCEPTION ALLOPHONIQUE : UN DEFICIT DE COUPLAGES | 142 |
| 2.3.4 | LA PERCEPTION ALLOPHONIQUE ET LA LECTURE | 143 |
| 2.4 | CONCLUSION | 144 |
| | | |
| 3 | ETUDE 3 : PERSISTANCE DU DEFICIT DE PC | 146 |
| <hr/> | | |
| 3.1 | METHODOLOGIE | 146 |
| 3.1.1 | POPULATION | 146 |
| 3.1.2 | MATERIEL LINGUISTIQUE ET PROCEDURES | 147 |
| 3.1.3 | MATERIEL PERCEPTIF ET PROCEDURES | 148 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.1.4 | PROCEDURES STATISTIQUES | 150 |
| 3.2 | RESULTATS | 152 |
| 3.2.1 | LA PERCEPTION CATEGORIELLE | 152 |
| 3.2.2 | EFFET DE FRONTIERE PHONEMIQUE | 153 |
| 3.2.3 | LA PRECISION CATEGORIELLE | 153 |
| 3.2.4 | RELATIONS ENTRE CAPACITES DE PERCEPTION DE LA PAROLE ET CAPACITE DE LECTURE | 154 |
| 3.3 | DISCUSSION | 155 |
| 3.4 | CONCLUSION | 156 |

4 ETUDE 4 : AGENCEMENT DES FRONTIERES NATURELLES ET PHONOLOGIQUES D'UN CONTINUUM DE LIEU D'ARTICULATION **157**

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.1 | METHODOLOGIE | 161 |
| 4.1.1 | POPULATION | 161 |
| 4.1.2 | MATERIEL PERCEPTIF ET PROCEDURES | 161 |
| 4.1.3 | PROCEDURES STATISTIQUES | 166 |
| 4.2 | RESULTATS | 168 |
| 4.2.1 | HYPOTHESES DE TRAVAIL | 168 |
| 4.2.2 | HYPOTHESES SUR LES PENTES DES FONCTIONS D'IDENTIFICATION | 173 |
| 4.2.3 | HYPOTHESE SUR LES SCORES DE DISCRIMINATION | 177 |
| 4.3 | DISCUSSION | 183 |
| 4.4 | CONCLUSION | 187 |

5 ETUDE 5 : DEVELOPPEMENT D'UN INSTRUMENT MULTIMEDIA DE REMEDIATION DE LA DYSLEXIE **188**

| | | |
|------------|---------------------------------|------------|
| 5.1 | METHODOLOGIE | 189 |
| 5.1.1 | POPULATION | 189 |
| 5.1.2 | MATERIEL PERCEPTIFS | 189 |
| 5.1.3 | PROCEDURES DES TESTS PERCEPTIFS | 190 |
| 5.1.4 | PROCEDURES STATISTIQUES | 194 |
| 5.2 | RESULTATS | 196 |
| 5.2.1 | CONTINUUM 1 : /bə-də/ | 196 |
| 5.2.2 | CONTINUUM 2 : /də-tə/ | 199 |
| 5.2.3 | CONTINUUM 3 : /ba-da/ | 203 |
| 5.2.4 | CONTINUUM 4 : /do-to / | 207 |
| 5.3 | DISCUSSION | 209 |
| 5.4 | CONCLUSION | 212 |

DISCUSSION GENERALE **213**

BIBLIOGRAPHIE **229**

ANNEXES **240**

L'objectif de notre travail était d'évaluer le développement de la perception catégorielle de la parole en fonction de différents facteurs tels que l'âge et le niveau de lecture.

La première étude a consisté à suivre pendant 3 ans les capacités de perception de la parole chez des enfants entre 6 et 8 ans, avant et après l'apprentissage de la lecture (Grande Section de Maternelle, Cours Préparatoire et Cours Élémentaire 1). Afin d'affiner notre connaissance des effets de la lecture sur la perception catégorielle, nous avons conduit une seconde étude dans laquelle nous avons comparé les performances de dyslexiques et de bons lecteurs de 10 ans. Cette étude nous a permis de constater l'apparition d'un mode de perception allophonique, à l'origine du déficit de perception catégorielle des dyslexiques. La troisième étude nous a permis d'évaluer les capacités de perception chez des dyslexiques et normolecteurs de 17 ans afin de vérifier si le déficit de perception catégorielle était persistant.

La quatrième étude avait pour objectif d'examiner la correspondance entre les frontières perceptives naturelles et les frontières phonologiques sur un continuum de lieu d'articulation, nous permettant ainsi d'explorer davantage la notion de couplage entre prédispositions perceptives, un déficit de couplage étant à l'origine de la perception allophonique rencontrée chez les sujets dyslexiques.

Et c'est sur ce dernier point que porte notre dernière étude. Nous présenterons les données générales et individuelles recueillies lors d'un essai de remédiation avec un logiciel d'apprentissage discriminant.

En premier lieu, nous allons présenter la revue de littérature relative à tous les thèmes dont la connaissance s'avère nécessaire pour l'élaboration ou la compréhension de nos différentes études. Cette revue de littérature s'articule autour de quatre points : la lecture et son apprentissage, pour lequel la phonologie a un rôle fondamental ; la dyslexie développementale, trouble spécifique de la lecture, sera au centre du second chapitre, ce qui nous permettra de faire le point sur les caractéristiques de cette pathologie et sur les origines probables de la dyslexie, cette question étant sujette à débat. Enfin, la perception de la parole ainsi que la relation qu'il existe entre le déficit de perception de la parole et la dyslexie seront les deux derniers points abordés dans notre revue de littérature.

REVUE DE LITTÉRATURE

1 L'apprentissage de la lecture

La lecture est une activité à la fois complexe et flexible, qui met en jeu la quasi-totalité des connaissances et mobilise, selon l'objectif poursuivi par le lecteur, l'ensemble des processus cognitifs de traitement de l'information. L'apprentissage de la lecture ne s'effectue pas naturellement, et exige une instruction : celle-ci doit tenir compte de « l'état initial » de l'enfant, qui est sensé déjà disposer d'une bonne compétence dans la compréhension et la production de la parole, et de « l'état final » représenté par la compétence lexicale de l'adulte confronté à l'écrit. L'activité de lecture et de compréhension ne présente pas les mêmes spécificités selon que le lecteur est débutant ou habile.

1.1 Le lecteur expert

Chez le lecteur expert, la compréhension d'une phrase ou d'un texte s'effectue aisément et sans effort cognitif apparent étant donné le caractère automatique de la reconnaissance de mots écrits. L'effet Stroop (Cohen, Dunbar et Mc Clelland, 1990) met parfaitement en évidence l'importance de l'automatisation des processus de reconnaissance. Dans ce type de tâche, le niveau de l'automatisme de la lecture est évalué en termes de compétition et d'interférence entre les informations (par exemple, entre la couleur de l'encre et le mot écrit) : ainsi, plus le processus de lecture est automatisé, plus le lecteur fera des interférences entre la couleur dans laquelle le mot est écrit (Figure 1).

ROUGE **ROUGE**

Figure 1 Effet Stroop. Le temps requis pour nommer la couleur de l'encre est plus long si le mot lui-même désigne une autre couleur (rouge écrit en bleu). Ce phénomène argumente l'automatisation du processus de lecture chez les adultes.

Guttentag et Haith ont parfaitement mis en évidence cette idée que la reconnaissance des mots écrits se déroule de manière quasi-réflexive chez le lecteur expert. Ils ont présenté à des adultes, ainsi qu'à des enfants dans leur 1^{ère} année d'apprentissage de la lecture, des images représentant des animaux ou des moyens de locomotion, dans lesquels se trouvait un mot écrit ('conditions catégorielles'). Ce mot écrit appartenait

soit à la même catégorie sémantique que le dessin, soit à une autre catégorie (par exemple, ‘mouton’ est écrit à l’intérieur d’une image représentant un chien ou une voiture). La tâche du sujet consiste à dénommer le plus rapidement possible le nom du dessin en ignorant le mot écrit à l’intérieur. Les effets d’interférence ont été évalués en comparant les temps obtenus dans chacune des conditions par rapport à ceux obtenus dans une condition contrôle, dans laquelle le dessin présenté ne comportait aucun mot. Les résultats ont montré un fort effet d’interférence (de type Stroop) dans les deux conditions catégorielles, qui suggèrent que les procédures de reconnaissance des mots écrits se déroulent de manière quasi réflexive ou instantanément, en dehors de tout contrôle attentionnel (Figure 2).

En ce qui concerne les apprentis lecteurs, les auteurs ont également constaté un effet d’interférence catégorielle dès la fin de la 1^{ère} année d’apprentissage, ce qui suggère une reconnaissance des mots écrits qui s’automatise (9 mois d’expérience en lecture), ce qui n’était pas le cas au début de l’apprentissage.

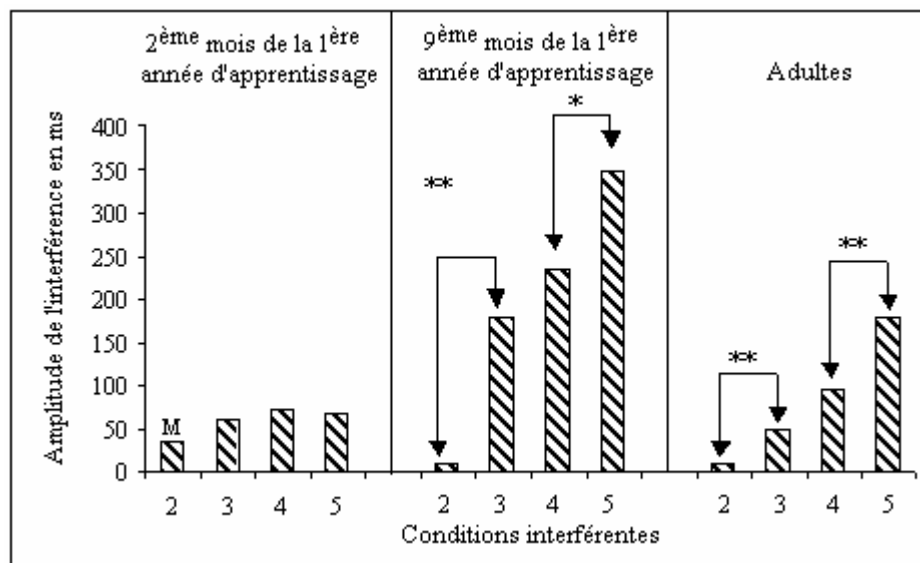


Figure 2 Amplitude moyenne de l’interférence en ms (différence entre la condition interférente et la situation contrôle) selon le type de stimulus interférent, selon la période de test au cours de la première année d’apprentissage de la lecture (au 2^{ème} et au 9^{ème} mois) et chez les adultes (d’après Guttentag et Haith, 1978). Les stimuli interférents sont : 2 : chaîne de caractères autres que des lettres (* ?;!<’) ; 3 : chaîne de lettres non prononçables (‘ibdthd’) ; 4 : mot de catégorie sémantique différente de celle de l’image (voiture dans le dessin d’un chien) ; 5 : mot de même catégorie sémantique que celle de l’image (mouton dans le dessin d’un chien) (tiré de Sprenger-Charolles et Colé, 2003)

Les modèles de lecture et de son apprentissage considèrent la reconnaissance des mots comme étant la résultante de l'activation de trois codes :

- Un code orthographique : ce code renvoie à l'identité des lettres qui composent le mot et leur combinaison ; par exemple m+a+m+a+n
- Un code phonologique : l'identité des phonèmes composant le mot, leur combinaison sont stockés ; /m/ /a/ /m/ /ã/
- Un code sémantique : comprenant l'ensemble des connaissances conceptuelles nécessaires à la compréhension des mots.

Le décours temporel de ces 3 codes a été étudié principalement à l'aide de la technique d'amorçage¹, qui consiste en la présentation d'un mot ou d'un pseudomot amorce qui précède celle d'un mot cible sur lequel on demande d'effectuer une tâche particulière. Par cette technique, Ferrand et Grainger (1992, 1993, 1994, 1996) ont montré que, lors de la reconnaissance des mots écrits, l'activation des codes orthographique et phonologique des mots étaient extrêmement rapide, et que d'autre part, l'activation des codes orthographiques était plus précoce que celle des codes phonologiques (Figure 3). Cet effet de facilitation phonologique, retrouvé dans plusieurs études (Grainger et Ferrand, 1994, 1996 ; Perea et Gotor, 1997 ; Ziegler, 2000) a été observé quelle que soit la fréquence des mots écrits, et suggère que le lecteur expert active systématiquement les codes phonologiques des mots écrits pendant leur reconnaissance. Cette hypothèse a des implications importantes sur la conception de la lecture puisque la nécessité d'une telle activation pour la reconnaissance des mots fréquents a été longtemps discutée.

¹ La technique d'amorçage rapide avec masquage a été développée par Foster et Davis (1984) et constitue une méthode courante pour étudier les processus précoces et automatiques impliqués dans la reconnaissance des mots écrits. Cette technique consiste à présenter un masque (une série de dièses par exemple) avant la présentation de l'amorce, le masque se surimposant à l'amorce et un intervalle temporel très court intervenant entre le début de la présentation de l'amorce et celle de la cible subséquente (environ 50 à 60 ms). Un des avantages de cette technique réside non seulement dans l'absence de mise en place de stratégies de traitement, mais également dans l'incapacité du sujet à identifier l'amorce de manière consciente. Par conséquent, les effets d'amorçage ne peuvent être attribués qu'à des processus automatiques inconscients.

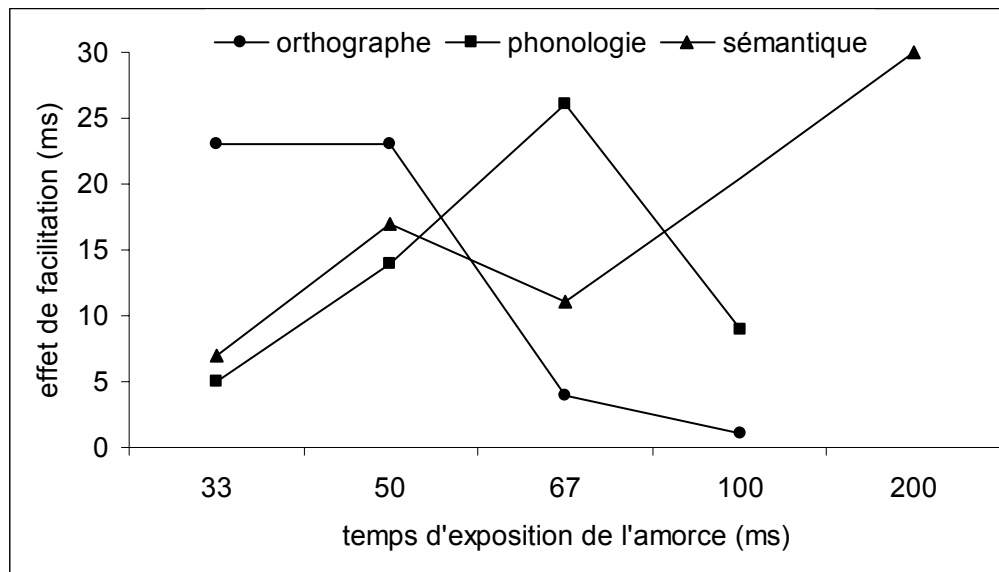


Figure 3 Décours temporels de l'activation des codes orthographique, phonologique et sémantique des mots chez le lecteur expert (d'après Ferrand et Grainger, 1993)

Ainsi, la connaissance des mécanismes d'identification et de reconnaissance des mots écrits chez le lecteur expert a permis une avancée importante dans la compréhension de l'apprentissage de la lecture. La tâche d'un apprenti lecteur consiste à comprendre ce qu'il lit de la même façon qu'il comprend ce qu'il entend. Pour parvenir à ses fins, il doit tout d'abord automatiser les processus d'identification des mots écrits et donc développer des procédures de lecture rapides, précises et automatiques (aspects généraux de l'apprentissage de la lecture). Néanmoins, les études se contredisent sur l'existence et le rôle des différentes procédures de lecture selon les langues (aspects spécifiques à la langue). Ainsi, une grande partie de la capacité de traitement pourra être orientée vers la compréhension de phrases ou de textes.

1.2 L'apprenti lecteur

1.2.1 Savoir lire dans une écriture alphabétique : comprendre le système alphabétique

Confronté à une écriture alphabétique, l'enfant doit en premier lieu apprendre le principe fondamental de ce système, qui consiste à coder les sons des mots parlés à l'aide de symboles que sont les lettres. L'utilisation du système alphabétique demande à

l'enfant d'adopter une attitude analytique envers les mots écrits, comme envers le langage parlé. Une fois acquis, ce principe alphabétique lui permettra alors d'utiliser une procédure de lecture phonologique, qui consiste à traduire la séquence de lettres du mot lu en une séquence de sons correspondant à ces lettres. L'apprenti lecteur, en activant le code phonologique, accèdera au codage sémantique correspondant, stocké dans son lexique oral. Il parviendra ainsi à concevoir que le mot parlé /sak/ se représente 'sac' à l'écrit, ou que les phonèmes tels que /s/ et /l/ lui permettent de distinguer les mots 'sac' et 'lac' disponibles dans son lexique.

Ce code phonologique peut être obtenu à partir de la mise en oeuvre de deux procédures :

- La procédure d'adressage (ou procédure orthographique), dans laquelle le code phonologique est récupéré lexicalement sur la base d'une comparaison entre le mot écrit et son code orthographique stocké en mémoire. Cette procédure permet de lire les mots dont les graphèmes se prononcent de manière singulière, comme le 'e' de 'femme' qui se prononce [a], ou la séquence 'll' se prononçant différemment dans 'ville' et 'fille' ([vil] et [fij]), ou encore les graphèmes à prononciation multiple comme 'ch' de 'orchidée' ou 'archive' (/orkide/ ou /arʃiv/).
- La procédure d'assemblage (ou voie phonologique), par laquelle le lecteur génère le code phonologique du mot à partir des règles de correspondances entre les graphèmes et les phonèmes. Cette voie phonologique est utilisée lorsque le lecteur se trouve face à des mots nouveaux, traités de la même façon que des pseudomots, tels que 'tibulo', 'tople' ou 'funve'.

Ainsi, pour comprendre le principe alphabétique, l'apprenti lecteur se doit d'être capable d'analyser le langage de manière consciente, faculté que l'on dénomme conscience phonologique. De nombreuses recherches ont porté sur cette habileté, et différentes hypothèses ont été émises quant aux relations qu'entretiennent la conscience phonologique et l'apprentissage de la lecture.

1.2.2 La conscience phonologique

1.2.2.1 La conscience phonémique : un pré requis à l'apprentissage de la lecture

Selon la première hypothèse, cette capacité à segmenter les mots parlés s'avère indispensable à la découverte des correspondances graphème-phonème (Gough et Hillinger, 1980). La connaissance des correspondances grapho-phonologiques est à son tour nécessaire à la reconnaissance des mots rencontrés pour la première fois, et à la mise en place d'un niveau de pratique indispensable pour rendre automatique le mécanisme d'identification des mots écrits (Share, Jorm, McLean et Matthews, 1984 ; Stanovich, 1986).

Les arguments majeurs en faveur de cette hypothèse émanent de diverses expériences conférant un statut causal aux capacités métaphonologiques de l'acquisition des capacités de lecture. C'est en particulier ce qui est illustré par les études comportant un entraînement des capacités phonologiques. Par exemple, Lecoq (1991) a effectué une étude longitudinale comportant des programmes d'entraînement des capacités métaphonologiques, de la mémoire de travail et de la mémoire immédiate. Les résultats indiquaient que l'entraînement de ces capacités phonologiques influençait nettement le niveau atteint ultérieurement en lecture. Chaque groupe expérimental avait reçu un entraînement spécifique. Testés à la fin de la première année d'acquisition de la lecture, les sujets du groupe expérimental entraînés sur leurs compétences métaphonologiques ont obtenu de meilleurs résultats en lecture que ceux des groupes dont les entraînements ne concernaient pas la conscience phonologique.

Bryant et Bradley (1985) ont suggéré que des entraînements sur la conscience phonémique associés à un entraînement sur les correspondances entre les lettres et les sons pouvaient avoir un effet particulièrement efficace sur les compétences en lecture. Un programme d'entraînement appliqué par Bradley et Bryant (1983) 'apprenait' à des enfants non lecteurs que 'cat' et 'cup' étaient des mots qui commençaient par le même son, mais que ces mots commençaient également par la même lettre. Les exercices consistaient à mettre en relation les sons qui composaient un mot à leur patron d'épellation, et cette tâche était associée à un entraînement de catégorisation de sons. Quand le programme changeait le mot 'cat' en 'hat', il montrait qu'un nouveau mot apparaissait en substituant une lettre à une autre, mais que la rime 'at' restait intacte. Les résultats de cette étude suggèrent que les enfants entraînés phonologiquement

présentaient de meilleures performances en lecture comparativement aux enfants contrôles (pour des résultats similaires, Hatcher, Hulme et Ellis, 1994).

Ces études ont donc montré le statut causal de la conscience phonémique sur l'apprentissage de la lecture (pour une méta-analyse, voir Ehri, Nunes, Willows, Schuster, Yaghoub-Zadeh & Shanahan, 2001 ; pour une méta-analyse sur les entraînements sur la conscience phonémique, voir Bus et Van Ijzendoorn, 1999)

1.2.2.2 La lecture, source de l'apparition de la conscience phonémique

Les partisans de la seconde hypothèse rejettent l'idée que la conscience phonémique serait un pré requis à l'apprentissage de la lecture, et préfèrent considérer que la conscience phonémique accompagne le processus d'acquisition de la lecture. Pour ces auteurs, c'est l'acquisition de la lecture qui rendrait l'apprenti lecteur attentif aux segments phonologiques de la langue (Mann et Wimmer, 2002 ; Morais et Kolinsky, 1995 ; Ehri, 1989).

Cette position est justifiée par des études ayant permis de constater que des adultes illettrés portugais présentaient de faibles résultats dans les tests de conscience phonémique comparativement à d'anciens illettrés récemment alphabétisés (Morais, Cary, Alegria et Berthelson, 1979). Si la conscience phonémique s'améliorait spontanément au cours du développement, les adultes illettrés devraient faire preuve d'un certain niveau de conscience phonémique. Or les études cherchant à observer ce phénomène n'ont pas permis de corroborer cette hypothèse.

De même, Read, Zhang, Nie et Ding (1986) ont constaté que des lecteurs chinois qui n'avaient pas encore été confrontés au principe alphabétique de leur langue (le pinyin) révélaient des performances faibles aux tests de conscience phonémique, à l'inverse de locuteurs chinois connaissant le pinyin.

Mann et Wimmer (2002) ont comparé le niveau de conscience phonémique d'enfants américains et d'enfants allemands en école maternelle. A l'inverse des enfants allemands, les enfants américains sont initiés aux lettres et aux sons avant l'école primaire. Les auteurs ont constaté que les enfants américains présentaient de meilleurs résultats que les enfants allemands dans ces tâches de conscience phonémique, et ont

estimé que le développement de la conscience phonémique était la conséquence de l'exposition à la lecture.

Toutes ces études indiquent que l'apprentissage de la lecture a une incidence sur les performances des enfants dans les épreuves de conscience phonémique. La conscience phonémique serait donc en grande partie le produit de l'apprentissage de la lecture.

1.2.2.3 Conscience phonémique et lecture : une interdépendance

Les deux hypothèses précédemment décrites ne semblent pas contradictoires : le fait que la conscience phonémique soit un pré requis à l'apprentissage de la lecture n'est pas incompatible avec le fait que cet apprentissage facilite le développement de la conscience phonémique. C'est pourquoi la troisième hypothèse suggère que la conscience phonémique est à la fois la cause et la conséquence de l'acquisition de la lecture : l'enfant doit disposer d'un minimum de conscience phonémique pour acquérir les compétences fondamentales à la lecture, cette acquisition permettant en retour le développement de capacités secondaires, servant de base à la réalisation de traitements métalinguistiques par la suite (Stanovich, 1986).

La confirmation de la nécessité d'une capacité de conscience phonémique minimale pour apprendre à lire est fournie par les données obtenues lors de l'une des recherches de Tunmer et Nesdale (1985). Certains enfants testés dans cette étude pouvaient se révéler efficaces en segmentation phonémique, mais médiocres dans leur capacité à décoder les pseudomots ; en revanche, les enfants réussissant la tâche de décodage de pseudomots n'échouaient jamais dans la tâche de segmentation phonémique. Ces résultats suggèrent donc que la conscience phonémique est une condition nécessaire, mais pas suffisante, à l'acquisition des correspondances graphème – phonème.

Perfetti (1987) a réalisé une étude longitudinale au cours de laquelle les connaissances phonémiques et le niveau de lecture étaient évalués à quatre reprises au cours d'une année. Il est apparu des relations réciproques entre conscience phonémique et apprentissage de la lecture : les progrès en lecture amélioraient les capacités de réussite à une tâche de suppression de phonème, et l'augmentation de cette capacité semblait elle-même entraîner de nouvelles améliorations du niveau de lecture.

Toutes ces études sur la conscience phonémique ont donc mis en exergue l'importance de la dimension phonologique dans l'apprentissage de la lecture. Mais, en plus de s'intéresser aux capacités cognitives fondamentales à l'apprentissage de la lecture, de nombreux chercheurs ont tenté de modéliser le processus d'apprentissage de la lecture et le développement des procédures qui l'accompagnent.

1.2.3 Les modèles d'apprentissage de la lecture

1.2.3.1 Le modèle double voie

L'approche traditionnelle des modèles à double voie stipule que le lecteur dispose de deux procédures pour lire un mot (Coltheart, Curtis, Atkins et Haller, 1993).

La première procédure, appelée voie directe ou d'adressage, utilise la représentation orthographique du mot à lire. Cette représentation orthographique, décrivant sa structure phonologique, est stockée en mémoire dans le lexique orthographique du lecteur, qui ne contient que des mots connus de lui. Par conséquent, cette procédure ne peut être utilisée pour des mots que le lecteur n'a jamais rencontrés.

Dans ce cas, le lecteur fait appel à la voie indirecte, ou d'assemblage. Elle consiste à décoder le mot lettre par lettre pour en reconstruire la représentation phonologique. La procédure par médiation phonologique nécessite donc une parfaite connaissance des relations entre lettres et sons, ces dernières étant représentées sous la forme d'un ensemble restreint de règles de correspondances entre les graphèmes et les phonèmes. Le recours à ce système de régularités facilitera donc la lecture des mots réguliers et nouveaux, ainsi que celle des pseudomots.

1.2.3.2 Le modèle à étapes

Ces modèles suggèrent que l'apprenti lecteur passe par une série d'étapes, chacune marquée par l'adoption de stratégies de traitement différentes (Marsh, Friedman, Welsh et Desberg, 1981 ; Harris et Coltheart, 1986 ; Frith, 1985 et 1986; Morton, 1989).

Selon le modèle de Frith (1985), l'enfant passe par trois étapes successives afin d'accroître ses compétences en lecture, c'est-à-dire développer et automatiser les processus d'identification des mots écrits. Ces trois stades sont dénommés respectivement logographique, alphabétique et orthographique.

Le stade logographique

Le stade logographique se caractérise par un mode d'identification des mots basé sur la reconnaissance d'un patron visuel, dont l'enfant a appris par cœur la signification. Ce processus est utilisé pour reconnaître par exemples de nombreux signes conventionnels (comme la signalisation routière) ou des expressions du type 'j'♥ la lecture'. Ainsi, le lecteur débutant reconnaît la présentation habituelle de 'Coca-Cola', mais il sera incapable de reconnaître ce mot s'il n'est pas présenté avec son contexte visuel. En revanche, si on présente 'Cora-Cota' en conservant le 'patron' visuel, le lecteur débutant ne remarquera pas la différence.

Le stade alphabétique

Dans la phase suivante, dénommée alphabétique ou phonologique, qui se caractérise par la mise en place du processus d'assemblage, l'enfant utilise les associations apprises entre les graphèmes et les phonèmes. Ces associations lui permettent de recourir systématiquement à la conversion phonologique de l'écrit. C'est cette procédure qui va permettre à l'enfant de lire des mots tels que 'école' ou 'musique', ou encore des pseudomots comme 'tokali' et 'puldin'. En revanche, elle ne permet pas de lire les mots contenant des graphèmes à prononciation spécifique ('femme' dans lequel 'e' se prononce [a]). Le processus de médiation phonologique joue donc un rôle extrêmement important dans l'acquisition de la lecture, et la mise en place et le développement de ce processus nécessitent en même temps le développement de la conscience phonémique.

Le stade orthographique

A cette étape, les mots sont supposés être analysés en unités orthographiques, éventuellement morphémiques, sans faire appel à la conversion phonologique, permettant alors à un accès visuel direct aux représentations orthographiques des mots. Ce stade traduit le passage vers la lecture experte.

Les morphèmes jouent un rôle particulièrement important dans la reconnaissance des mots. C'est par une analyse linguistique que le lecteur accède directement au mot stocké en mémoire, puis aux significations qui lui sont associées. Il est nécessaire que l'apprenti lecteur ait été confronté plusieurs fois à ce mot pour l'enregistrer en mémoire. Il pourra ainsi lire les mots comme 'chorale' dans lequel les graphèmes 'c' et 'h' correspondent à un seul et même phonème /k/, ou 'automne' dans lequel le graphème

‘m’ ne se prononce pas. Il existe aussi en français des mots homophones qu’une procédure purement phonologique ne permettrait pas de distinguer du point de vue de la signification, comme ‘compte’, ‘conte’ ou ‘comte’. Mais ce mode de reconnaissance ne permet pas de déchiffrer des mots nouveaux, ou écrits dans une typographie particulière.

Il semble toutefois important d’émettre quelques réserves quant à la notion de stade tel que l’utilise Frith. Une des premières réserves concerne la procédure logographique. Cette procédure est supposée basée sur la mémorisation de caractéristiques visuelles des mots dont certaines sont non spécifiques.

Hormis les intuitions de certains chercheurs, il n’existe pas d’argument empirique démontrant la filiation entre le stade de lecture logographique et le stade de lecture alphabétique. La plupart des mots sont rencontrés par l’enfant au moment où il est en train d’apprendre le code alphabétique et par conséquent, pour ces mots là, le premier mécanisme d’identification utilisé est le déchiffrage ou l’assemblage phonologique. Pour la grande majorité des mots, il n’y aurait donc pas de stade logographique initial suivi d’un stade alphabétique, mais directement ce dernier (Bertelson, 1996). C’est pourquoi la notion de stade semble inadéquate en tant que description du développement de la capacité de lecture, d’autant plus que cette notion suggère l’existence d’un lien entre le stade logographique et les stades suivants, ce qui est loin d’être prouvé (confère la section 1.2.3.3 ci-après).

Une dernière raison qui pousse à écarter la notion de stade vient du fait que la procédure alphabétique et la procédure orthographique, à l’inverse de la procédure logographique, coexistent et fonctionnent en parallèle (confère la section 1.2.3.4 ci-après).

1.2.3.3 La stratégie logographique remise en cause, et la nécessité de représentations phonologiques : Résultats

De nombreux travaux ont été menés dans le but de mieux connaître les relations qu’entretiennent les stratégies logographiques avec les procédures de lecture mises en place ultérieurement lors de l’acquisition de la lecture.

Les études de Masonheimer, Drum et Ehri (1984), ainsi que celle de Ehri et Wilce (1983, pour une synthèse : Ehri, 1992), ont permis de mieux évaluer le rôle de la stratégie logographique dans la dynamique développementale.

Masonheimer et al. (1984) voulaient vérifier si la lecture logographique conduisait progressivement à la lecture, et émettaient l'hypothèse que la lecture logographique conduisait progressivement à une lecture décontextualisée. Ils ont donc soumis des enfants âgés entre 3 et 5 ans à des épreuves de lecture de mots simples et de logos présentés hors contexte. Même les enfants qui n'avaient aucune difficulté à reconnaître des mots tels que « Pepsi » ou « stop » s'ils étaient présentés dans leur contexte. En revanche, ils ont montrés des difficultés à lire ces mêmes mots lorsqu'ils étaient présentés hors contexte (« Xepsi » au lieu de « Pepsi »), ou lorsque ces mots, alors non altérés, étaient présentés sans le logo. De plus, la majeure partie des sujets a présenté des scores faibles dans les épreuves de lecture de mots simples. Ainsi, si cette procédure a pu être utilisée par certains des enfants évalués, elle ne dispose d'aucun pouvoir génératif : une expérience importante en lecture logographique ne permet pas aux enfants d'apprendre à lire par induction.

Ehri et Wilce (1983) ont effectué une étude d'entraînement de la lecture avec deux types d'items : des items phonologiques (dont les lettres écrites représentaient une partie des sons contenus dans le mot : 'giraffe' écrit 'JRF'), et des items visuels (pour lesquels les lettres étaient choisies de façon à maximiser la discrimination visuelle : 'WBC' pour 'giraffe') (Figure 4). Si l'étape logographique revêt une importance considérable dans l'acquisition de la lecture, les prélecteurs devraient bénéficier davantage de l'information visuelle. Les auteurs ont constaté que les enfants qui ne connaissaient que quelques lettres ont appris plus facilement à lire les items basés sur des distinctions visuelles. En revanche, pour les deux groupes de lecteurs qui connaissaient la plupart des lettres, les résultats étaient bien supérieurs pour le groupe entraîné phonologiquement que pour celui entraîné visuellement. Ces résultats suggèrent que les enfants ont pris davantage en considération les informations phonologiques que les informations visuelles, au début de l'apprentissage de la lecture. Ainsi, dès que les enfants connaissent un minimum de lettres, ils utilisent une stratégie alphabétique.

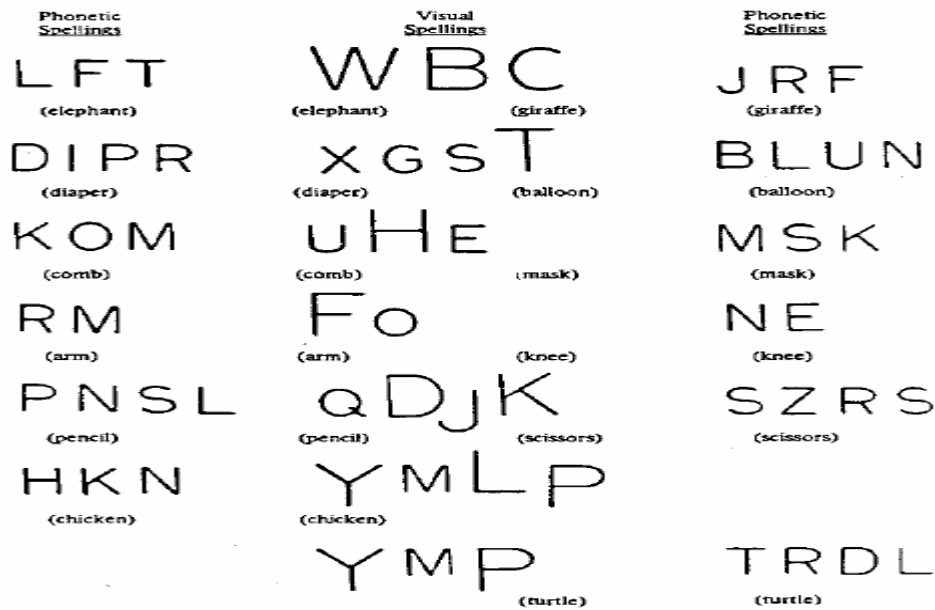


Figure 4 Exemples d'items phonologiques et visuels présentés dans l'étude de Ehri et Wilce (1983) dans une épreuve d'évaluation de la stratégie logographique.

Une autre étude, française cette fois, n'a pas permis d'observer des indicateurs clairs d'un recours à des stratégies logographiques chez des prélecteurs francophones (Sprenger-Charolles et Bonnet, 1996). 37 enfants ont été suivis de manière longitudinale de la grande section de maternelle (GSM) jusqu'à la fin de la première année de primaire. Les épreuves consistaient en une lecture de mots en contexte 'image'². Les évaluations portaient en premier lieu sur la prise en compte de la forme globale des items, puis sur la séquentialité des traitements et enfin sur la nature des indices graphiques prélevés (visuels ou phonologiques).

Le résultat le plus notable est l'absence d'évolution des réponses correctes entre le début et la fin des évaluations en GSM, suggérant que les stratégies logographiques n'ont aucun pouvoir génératif. Toutefois les stratégies de prélecture semblent se modifier entre les sessions : aux termes des évaluations, les auteurs ont constaté que les enfants prenaient progressivement en compte les indices graphiques locaux, signe de la mise en œuvre progressive d'une procédure alphabétique.

² Le sujet devait affirmer ou infirmer si le mot écrit sous l'image correspondait à l'objet présenté dans l'image.

Ainsi, ces différentes études ont fourni des arguments suggérant que, dès les premiers contacts avec l'écrit, les enfants utilisent l'information phonologique contenue dans les mots. De plus, elles ont confirmé le caractère non génératif des stratégies logographiques, qui ne semblent pas disposer de filiation avec la lecture par médiation phonologique. L'étape logographique ne serait donc pas une phase incontournable dans le développement de la lecture. On comprend dès lors difficilement comment ces stratégies pourraient contribuer à l'élaboration du lexique orthographique.

1.2.3.4 La procédure phonologique et son rôle fondamental dans l'apprentissage de la lecture : Résultats

L'étude de Byrne, Freebogy et Gates (1992) a permis de mettre en évidence le rôle fondamental de l'assemblage phonologique. Ces auteurs ont analysé les performances de quatre types de lecteurs : des bons et des mauvais lecteurs, ainsi que des lecteurs 'phéniciens' et 'chinois'. Les 'phéniciens' sont des lecteurs plus performants dans les mécanismes d'assemblage, et les 'chinois' sont plus performants dans les mécanismes d'adressage. Les 4 groupes de lecture, lors d'une étude longitudinale entre la 2^{ème} et 4^{ème} année de primaire, ont été évalués sur leurs performances d'assemblage et d'accès orthographique au lexique. Les scores des bons et mauvais lecteurs sont relativement stables : ils restent soit bons, soit mauvais dans les deux compétences évaluées. Les deux autres groupes de lecture présentaient des performances plus aléatoires : alors que les 'chinois' étaient meilleurs que les 'phéniciens' en 2^{ème} année de primaire, le patron s'est inversé en 3^{ème} et 4^{ème} année. Ces résultats indiquent que les enfants diagnostiqués 'phéniciens' ont un meilleur pronostic à long terme que les 'chinois'. La raison la plus probable est que les 'phéniciens' possèdent un mécanisme génératif d'identification des mots qui va continuer à se développer, leur permettant de créer des représentations orthographiques. En revanche, la non maîtrise de la procédure phonologique semble bloquer le développement lexique des 'chinois'.

Sprenger-Charolles, Siegel et Bonnet (1998b) et Sprenger-Charolles et Colé (2003) ont constaté qu'au début de l'acquisition de la lecture, les enfants francophones avaient essentiellement recours à la procédure phonologique. En effet, dans une étude longitudinale avec 60 enfants testés entre les âges de 6 ans ½ et 10 ans, ont été

examinés, entre autres, les effets de la régularité, de la fréquence et de la lexicalité en lecture à haute voix. Des mots réguliers et irréguliers de différents niveaux de fréquence ont été utilisés. Certains mots réguliers n'étaient composés que de graphèmes simples ('sable'), d'autres contenaient un digraphe ('route'). Les mots réguliers ont été appariés en difficultés orthographiques à des pseudomots, ces derniers étant analogues ou non aux mots de la langue ('table – lople', 'porte – lorte').

Les résultats indiquent qu'en milieu de première année, les performances en lecture étaient fortement affectées par la régularité, mais pas par la fréquence, ni par la lexicalité. En effet, les mots réguliers étaient mieux lus que les mots irréguliers. En revanche, la différence entre mots rares et mots fréquents n'était pas significative. A la même époque, les performances pour les mots réguliers n'étaient jamais supérieures à celles observées pour des pseudomots appariés en orthographe. Des changements quantitatifs mais pas qualitatifs ont été observés en quelques mois. En effet, dès la fin de la première année, les auteurs ont remarqué un recours à la procédure lexicale (effets de la fréquence et de la lexicalité). Néanmoins, à la même époque, les signes de mise en œuvre de la procédure phonologique étaient toujours présents, en particulier l'effet de la régularité, qui était davantage marqué que lors de la session précédente.

Ces résultats indiquent que les enfants utilisent principalement la procédure phonologique au début de l'apprentissage de la lecture, le poids de cette procédure augmentant alors qu'apparaissent progressivement quelques manifestations de traitements lexicaux. Sprenger-Charolles et al. (2003) ont poursuivi leurs observations jusqu'à la 4^{ème} année de primaire, en s'intéressant au temps de latence, en plus de la précision de la réponse, pour les mots réguliers, irréguliers et pseudomots (Figure 5). En ce qui concerne les deux premières sessions, seules les RC ont été examinées et pas les temps de latence³. Le constat le plus notable est la forte amélioration des scores pour les mots réguliers comparativement aux pseudomots et aux mots irréguliers. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition, ce qui n'est pas le cas pour les pseudomots (qui eux, ne bénéficient que de la régularité), ni pour les mots irréguliers (qui bénéficient surtout de la fréquence d'exposition). Ce résultat peut expliquer pour quelle raison les enfants

³ Etant donné que les enfants ont produit moins de 50% de RC lors de la 1^{ère} année, les auteurs n'ont pas pu prendre en compte les temps de latence

espagnols qui apprennent à lire dans une orthographe consistante obtiennent des scores plus élevés en lecture (confère la section 1.2.3.5 ci-après).

Un autre résultat important est que, dès la fin de la 3^{ème} année de primaire, les mots, qu'ils soient réguliers ou irréguliers, sont lus plus rapidement que les pseudomots (Figure 6). Par contre, si on examine la précision de la réponse, les mots réguliers sont mieux lus que les pseudomots, et ces derniers mieux que les mots irréguliers (Figure 5). Selon les auteurs, les différences entre la précision de la réponse et le temps de latence s'expliquent par le fait que le temps de latence saisit des effets liés à la préprogrammation des codes articulatoires, qui serait encapsulés pour les mots mais pas pour les pseudomots. Cette idée nous permet également de comprendre pour quelle raison les mots sont traités plus rapidement que les pseudomots.

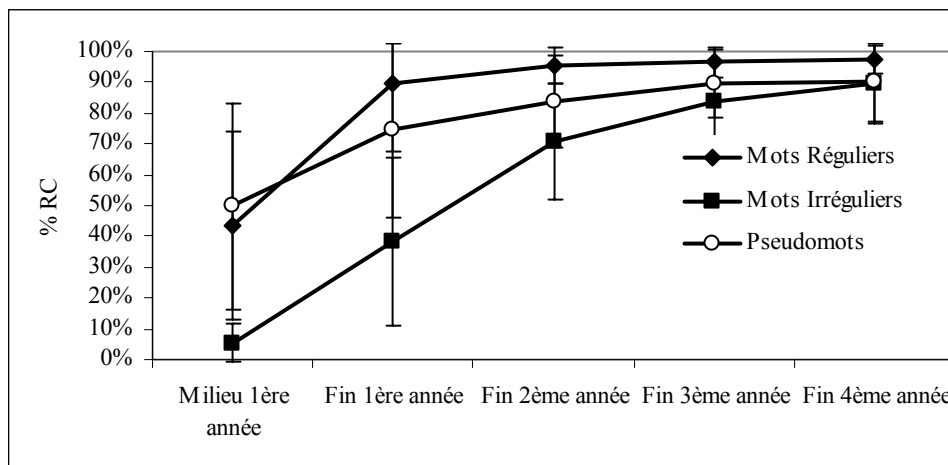


Figure 5 Pourcentage de réponses correctes et écart type en lecture à haute voix de mots réguliers et irréguliers et pseudomots chez des enfants suivis longitudinalement entre la 1^{ère} et 4^{ème} année de primaire (d'après Sprenger-Charolles et al, 2003).

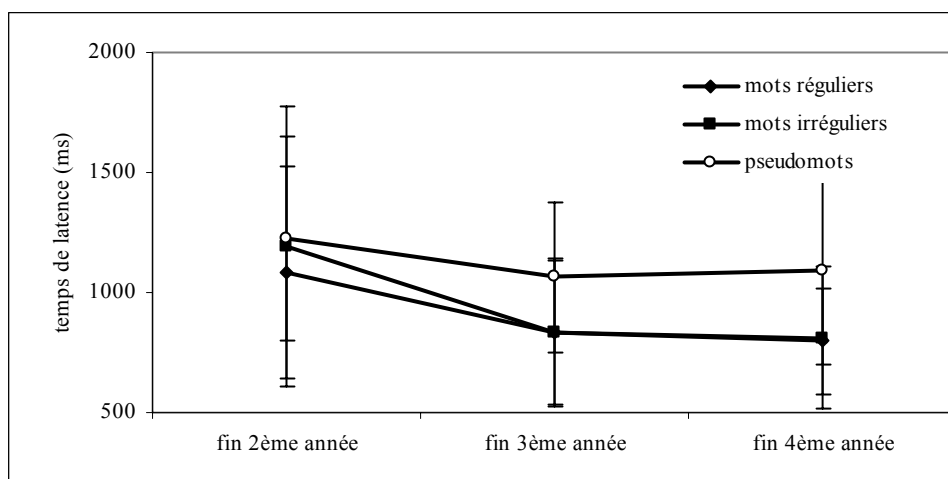


Figure 6 temps de latence et écart type en lecture de mots réguliers, irréguliers et pseudomots (d'après Sprenger-Charolles et al., 2003)

Ainsi cette étude est importante car elle remet fortement en cause la notion de 'stades' comme l'entendait Frith, car selon l'indicateur utilisé (précision de la réponse ou temps de latence), les auteurs ont relevé à la même époque des effets des facteurs sublexicaux (d'où une amélioration de la précision) qui suggèrent le recours à une procédure phonologique, et des effets de facteurs lexicaux (d'où une amélioration du temps) suggérant un recours à la procédure orthographique.

1.2.3.5 La transparence des correspondances graphèmes-phonèmes : un apprentissage de la lecture favorisé ?

Nous avons vu que la stratégie logographique ne semblait pas être une étape indispensable à la lecture. Une hypothèse importante est issue de l'étude de Wimmer (1994) qui a constaté qu'elle n'apparaissait pas dans tous les systèmes alphabétiques et / ou tous les systèmes scolaires. Attestée en anglais, elle n'a pas été observée en allemand. Il semble alors que plus le système orthographique est simple à maîtriser, tel l'allemand ou l'espagnol, moins la procédure logographique aura le temps de se manifester. Les conclusions de Wimmer montrent l'incidence du degré de transparence des CGP sur la lecture.

On définit une écriture comme transparente lorsque un graphème correspond à un seul phonème. Il est donc possible d'obtenir la prononciation d'un mot à partir de la

connaissance des graphèmes. Dans une langue comme l'espagnol, les relations entre les graphèmes et les phonèmes sont transparentes ('dinaro' /dinaro/, 'claro' /klaro/). En revanche, en anglais, ces relations sont plus opaques, différentes prononciations étant possibles pour un seul et même graphème (par exemple, le graphème 'a' se prononce de différentes façon selon les mots : 'safe', 'ball', 'cat'). Dès lors, on peut imaginer toute la difficulté à mettre en place des correspondances graphèmes-phonèmes chez des locuteurs dont la langue est opaque, de nombreux mots ne pouvant se lire correctement. Les systèmes orthographiques de l'allemand et du français occupent une place intermédiaire, celui de l'allemand étant plus proche de l'espagnol que du français.

Une étude importante visant à explorer l'incidence des associations graphie-phonie et de leur transparence est l'étude interlangues de Bruck, Genessee et Caravolas (1997). Des enfants canadiens francophones et anglophones ont été suivis entre 6 et 7 ans, et ont été soumis à des épreuves de lectures de mots et pseudomots. Les apprentis lecteurs francophones présentaient de meilleures performances dans les deux épreuves de lectures (Figure 7), confirmant que la transparence des relations graphème – phonème influence fortement, et de manière positive l'acquisition de la lecture. Ce résultat est très intéressant pour deux raisons. Tout d'abord, les enfants anglophones avaient bénéficié d'une sensibilisation précoce à la lecture pendant toute leur année de grande section de maternelle, pas les francophones. D'autre part, tous les enfants étaient évalués sur leurs capacités métaphonologiques en dernière année de maternelle et ce sont les enfants anglophones qui présentaient les meilleurs niveaux de compétence dans la majorité de ces tâches phonologiques, tâches considérées comme les meilleurs prédicteurs de la réussite en lecture. Ce sont donc les enfants anglophones qui bénéficiaient de tous les 'avantages' pour apprendre à lire qui présentaient les plus mauvais scores de lecture. Dès lors, la différence de transparence des CGP entre les deux langues peut être incriminée dans cet 'échec' des enfants anglophones.

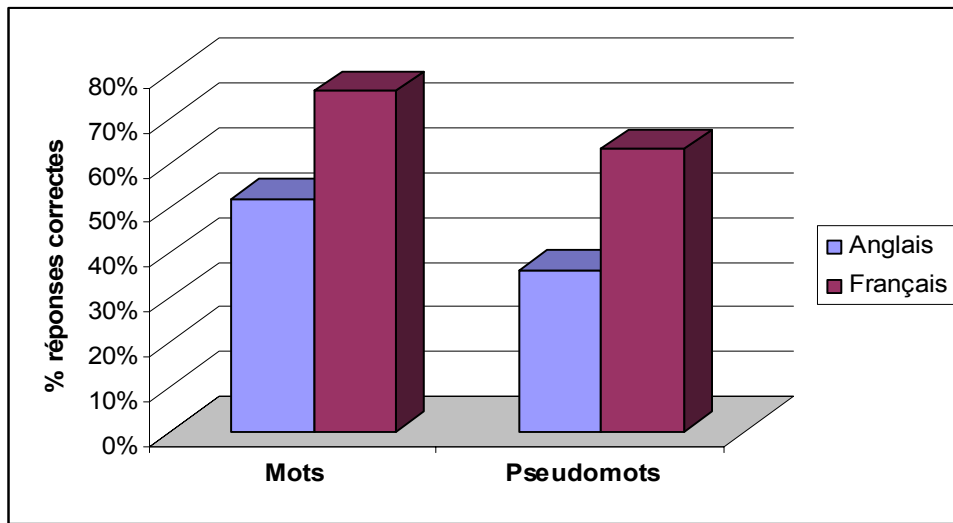


Figure 7 Incidence de la transparence des correspondances graphème – phonème sur la lecture de mots et de pseudomots chez des locuteurs français et anglais (d’après Bruck et al, 1997)

Ainsi cette étude suggère que les capacités d’analyse phonologique, bien qu’elles se révèlent comme d’importants prédicteurs, varient en fonction de la langue. Chaque langue dispose de correspondance graphème – phonèmes plus ou moins opaques, et ce degré d’opacité a un effet massif sur l’apprentissage de la lecture.

L’étude interlangues de Paulesu, Demonet, Fazio, McCrory, Chanoine, Cappa, Cossu, Habib, Frith & Frith (2001) présente également un intérêt particulier : elle montre que l’effet de la transparence se retrouve également chez des lecteurs adultes (Figure 8). En effet, ces auteurs ont pu remarquer que les lecteurs italiens, qui bénéficient de la langue la plus transparente, présentaient les meilleures performances en lecture de mots et de pseudomots (dans cette étude, les performances de lecture ont été évaluées en termes de temps de latence, c’est-à-dire le temps qui s’écoule entre la présentation du mot et la production du locuteur). De même, ils ont constaté que les lecteurs anglophones mettaient davantage de temps à lire les items, les performances des lecteurs francophones se situant entre ces deux groupes.

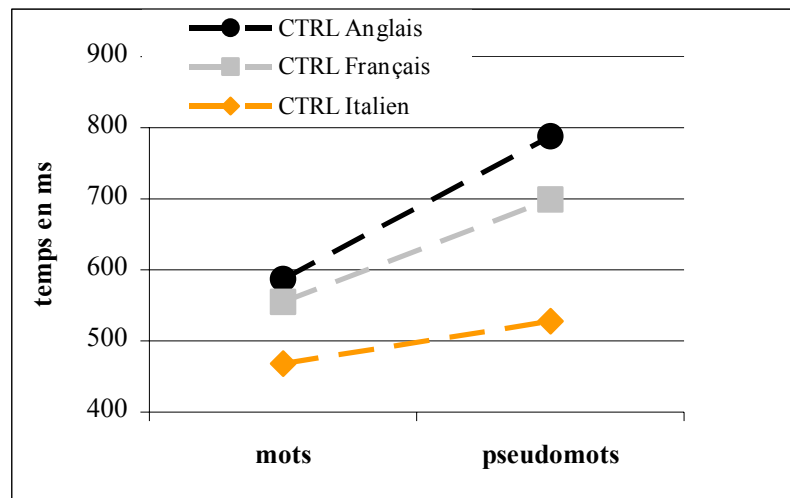


Figure 8 Epreuves de lecture de mots et de pseudomots chez des normolecteurs Anglais, Français et Italiens (d'après Paulesu et al., 2001)

Ces études montrent bien l'importance de la transparence de l'orthographe non seulement dans l'acquisition de la lecture, mais également dans les performances ultérieures en lecture.

Ainsi, un aspect majeur à prendre en considération est que la lecture contribue à développer des habiletés qu'elle nécessite. En effet, on a vu le rôle fondamental de la conscience phonémique dans l'apprentissage de la lecture, cette dernière renforçant elle-même ces capacités. On a pu également constater l'importance de la procédure phonologique de lecture suggérant le rôle fondamental de la phonologie dans l'acquisition de la lecture. Ce point central est particulièrement critique pour les études portant sur la dyslexie développementale. En effet, bien qu'il y ait eu de nombreuses tentatives pour distinguer les sous types de dyslexie (phonologique ou de surface), la présence de troubles phonologiques chez les dyslexiques est largement acceptée aujourd'hui. Le chapitre suivant aura donc pour objectif d'examiner dans quelle mesure ces troubles phonologiques touchent les enfants dyslexiques. Nous évaluerons également les différentes hypothèses concernant l'origine du déficit des dyslexiques.

2 La dyslexie développementale

2.1 La dyslexie développementale : ses manifestations

2.1.1 Définition de la dyslexie

Une définition fréquemment adoptée est celle de la fédération mondiale de neurologie. Selon cette définition, *« la dyslexie est un désordre manifesté par une difficulté sévère dans l'apprentissage de la lecture en dépit d'une intelligence normale, d'un enseignement conventionnel et d'opportunités socioculturelles adéquates. Elle dépend de déficits cognitifs fondamentaux probablement d'origine constitutionnelle »*.

Mais cette définition de la dyslexie étant jugée insatisfaisante, les chercheurs ont élaboré des définitions mettant l'accent sur des facteurs apparemment présents dans ce trouble. Selon le comité de recherche de la Orton Dyslexia Society, la dyslexie résulte *« d'un trouble particulier de langage d'origine constitutionnelle qui se caractérise par des difficultés de décodage consécutif à un trouble du traitement phonologique. Ces difficultés de décodage dépassent largement celles normalement rencontrées à un âge donné, de même que les capacités cognitives et les capacités scolaires de l'enfant ; elles ne sont pas consécutives à un retard global de développement ou à un déficit sensoriel »*. Selon cette définition, la dyslexie se manifesterait par des difficultés variables à différents niveaux de langage, incluant généralement, en plus du problème de lecture, un problème d'écriture et d'épellation.

En ce qui concerne les praticiens, la grande majorité d'entre eux a adopté une définition davantage pragmatique qui prend en considération l'écart observé entre le niveau de lecture atteint par l'enfant et son âge chronologique, retenant le plus souvent le critère de deux ans de retard de lecture. Ce critère a ses limites car si l'on s'en tient à ce critère, un enfant ne pourra pas être dépisté dyslexique avant l'âge de 8 ans. Un autre critère est donc utilisé. Il consiste à calculer l'écart par rapport à la moyenne des performances d'un groupe contrôle : les performances à plus d'1,65 écarts types de la norme, ce qui correspond à 5 % des performances les plus faibles, sont considérées déviantes.

2.1.2 La caractérisation des déficits des dyslexiques

La manifestation la plus probante de la dyslexie réside dans l'échec à développer des capacités de reconnaissance des mots écrits en dehors de tout contexte (Gough & Tunmer, 1986; Perfetti, 1985; Stanovich, 1986 et 2000; Stanovich et Siegel, 1994).

L'étude de la dyslexie acquise⁴ a permis de mettre en évidence le phénomène des doubles dissociations : certains individus ne peuvent lire que les mots réguliers sur le plan des CGP et produisent des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers fréquemment utilisés dans la langue ('sept' lu comme 'septembre'). D'autres sujets présentent le patron inverse : ils ne peuvent lire que les mots qu'ils connaissent et sont incapables de lire des mots nouveaux. Dans le premier cas, on parle de 'dyslexie de surface' (Coltheart, Curtis, Askins et Haller, 1993). Dans le second cas, on parle de 'dyslexie phonologique' (Beauvois et la Derouesné, 1979). Ces dissociations indiquent qu'il existerait deux procédures fonctionnellement distinctes puisqu'on peut observer un dommage sélectif de la fonction syntaxique ou de la fonction phonologique, l'autre restant plus ou moins intacte. Ainsi, chez les dyslexiques développementaux, c'est à dire chez les sujets souffrant d'un déficit ne résultant pas d'une lésion cérébrale et qui se manifeste au cours de l'apprentissage de la lecture, les profils dissociés ne devraient théoriquement pas se retrouver : les procédures de lecture se mettent en place progressivement, en suivant une trajectoire développementale spécifique, la maîtrise de la voie phonologique conditionnant la mise en place du lexique orthographique (Share, 1995).

Il existe différents types d'études, qui ont des objectifs antagonistes : les études de cas uniques qui visent à mettre en évidence des profils extrêmes et représentatifs d'un type particulier de symptôme, et les études de groupes qui recherchent ce qui caractérise le comportement d'un groupe dyslexique, sans tenir compte des individus.

Les études de groupe se fondent sur une comparaison des compétences évaluées entre des dyslexiques et des normolecteurs (pour des méta-analyses, voir Rack, Snowling et Olson, 1992 ; pour une méta analyse voir van Ijzendoorn et Bus, 1994). Il ressort de ces études que par rapport à des enfants de même âge, les dyslexiques ont un double déficit, leur déficit phonologique étant le plus sévère puisque d'une part, il est plus fortement

⁴ La dyslexie acquise se définit comme un trouble acquis à la suite d'une lésion cérébrale, chez des adultes qui ont normalement appris à lire

marqué que le déficit orthographique lors de la comparaison de même âge chronologique, et que lors de la comparaison avec des enfants de même âge lexique, c'est le seul déficit qui apparaît. Mais ces études ont l'inconvénient de masquer la proportion d'enfants dyslexiques qui correspondent au profil moyen. Ces études s'opposent nettement aux études de cas uniques qui ont permis de faire ressortir des profils dissociés de dyslexiques, d'un côté des dyslexiques phonologiques (Snowling et al, 1986 ; Temple et Marshall, 1983 ; Valdois et al., 2003), ou de surface (Castles et Coltheart, 1996 ; Snowling et al, 1986 ; Valdois et al., 2003). Toutefois, ces études n'indiquent rien sur la prévalence de ces profils, ni sur la prévalence des profils mixtes, et montrent l'existence d'un double déficit. Les études de cas multiples semblent donc permettre de répondre à cette notion de prévalence.

Sprenger-Charolles et al. (2003) ont comparé les résultats d'études portant sur des cas multiples, anglophones et francophones, afin d'éclaircir la notion de prévalence des différents profils de dyslexie. Il ressort de cette comparaison que les profils dissociés ne sont pas stables : le nombre de profils varie selon la méthode d'analyse, les mesures prises en compte (réponses correctes ou temps de latence), l'âge des dyslexiques, ou encore la langue des sujets. Toutefois, le déficit de la procédure phonologique ressort massivement, même lors de la comparaison avec des enfants plus jeunes de même âge lexique. A titre d'exemple, dans l'étude de Sprenger-Charolles et al (2000), deux sous groupes de dyslexiques (des dyslexiques phonologiques et des dyslexiques de surface) ont été évalués sur l'efficacité de leur procédure lexicale et sublexicale. Ces deux procédures étaient mesurées par le temps de latence en lecture de pseudomots et de mots irréguliers fréquents. Les résultats des deux groupes de dyslexiques ont été comparés à ceux de normolecteurs de même âge (10 ans), et de même âge lexique (8 ans). Les habiletés orthographiques des deux sous groupes de dyslexiques ne sont jamais ressorties déficientes. En revanche, comparativement aux contrôles, un déficit phonologique a toujours été relevé, soit pour le temps de latence chez les dyslexiques phonologiques, soit pour la précision de la réponse pour les dyslexiques de surface. Ces résultats suggèrent donc que la dyslexie se caractérise par un déficit phonologique sévère. De plus, étant donné que ce déficit apparaît lors de la comparaison avec des enfants de même âge lexique, ils laissent entendre que les dyslexiques ne souffriraient

pas d'un simple retard développemental, mais bien d'un patron développemental déviant. Dans la mesure où l'efficacité de la procédure orthographique dépend de celle de la procédure phonologique, il n'est pas surprenant d'observer un déficit orthographique chez les dyslexiques, toutefois moins sévère que le déficit phonologique.

Un des facteurs de la variabilité observée entre les différentes études à propos des profils de dyslexie semble être la conséquence de la transparence des CGP. Nous avons vu précédemment que le degré d'opacité de l'orthographe avait une incidence sur la réussite de l'apprentissage de la lecture : plus les CGP sont régulières, plus les compétences en lecture s'avèreront rapides et efficaces chez l'apprenti lecteur. Par conséquent, ce facteur devrait également jouer sur les performances en lecture des dyslexiques : dans une orthographe relativement transparente, même les dyslexiques devraient rencontrer moins de difficultés à maîtriser la procédure sublexicale de lecture. Ainsi, comparativement à des anglophones, le déficit de cette procédure devrait donc être moins marqué chez des dyslexiques francophones, et par voie de conséquence, le déficit de la procédure orthographique également.

Ainsi, Paulesu et al. (2001) ont mis en évidence la relation entre le déficit de procédure phonologique en lecture et la transparence de l'orthographe. Dans cette étude interlangues, les performances d'adultes dyslexiques et contrôles anglais, italiens et français ont été comparées. Les sujets ont été soumis à des épreuves de lecture de mots et de pseudomots. Le déficit des procédures de lecture dénotait particulièrement chez les dyslexiques anglais et français, mais les dyslexiques italiens dévoilaient des performances étonnantes : les temps de latence⁵ se situaient au même niveau que ceux des sujets contrôles anglais et français. L'influence de la transparence des CGP est donc manifeste (Figure 9).

⁵ Temps de latence : temps qui s'écoule entre l'apparition d'un stimulus et la production de la réponse.

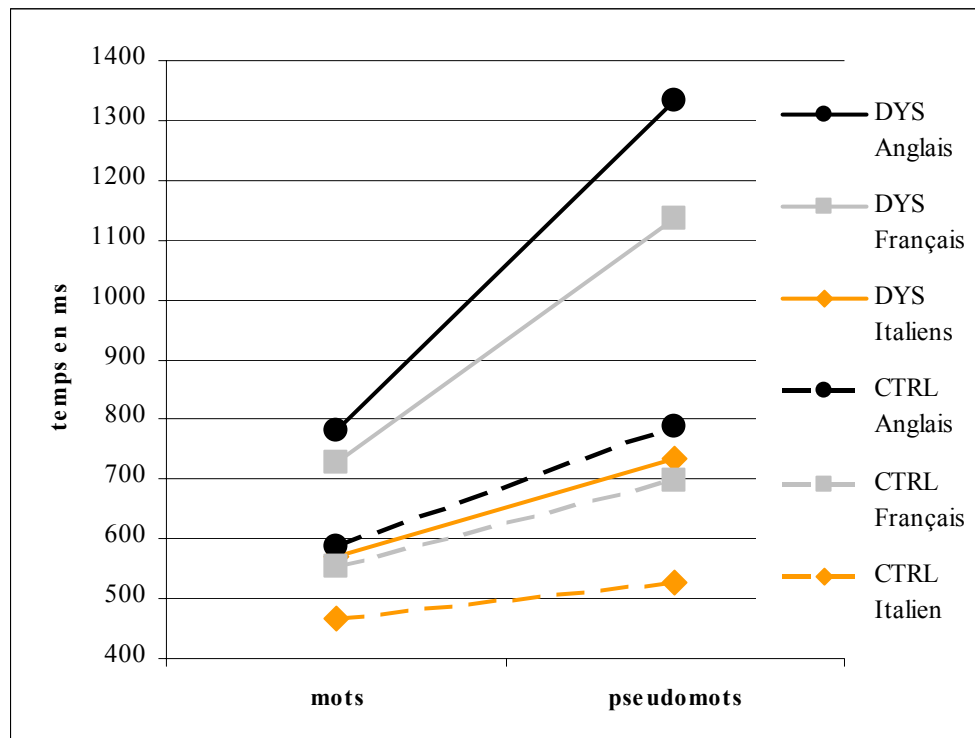


Figure 9 Epreuves de lecture de mots et de pseudomots dans une étude interlangues (d'après Paulesu et al. 2001)

Toutefois, bien que les dyslexiques italiens présentent des performances pratiquement identiques à celles de contrôles anglophones et francophones, leurs performances s'écartent significativement de celles des contrôles italiens. Les dyslexiques italiens sont donc déficitaires en lecture, tout comme les autres sujets dyslexiques, ces derniers dévoilant toujours des performances éloignées de celles de leurs homologues linguistiques. De plus, quelle que soit le degré de transparence de l'orthographe, les dyslexiques présentent toujours davantage de difficultés avec la procédure phonologique de lecture : le déficit de lecture est toujours plus marqué sur les pseudomots.

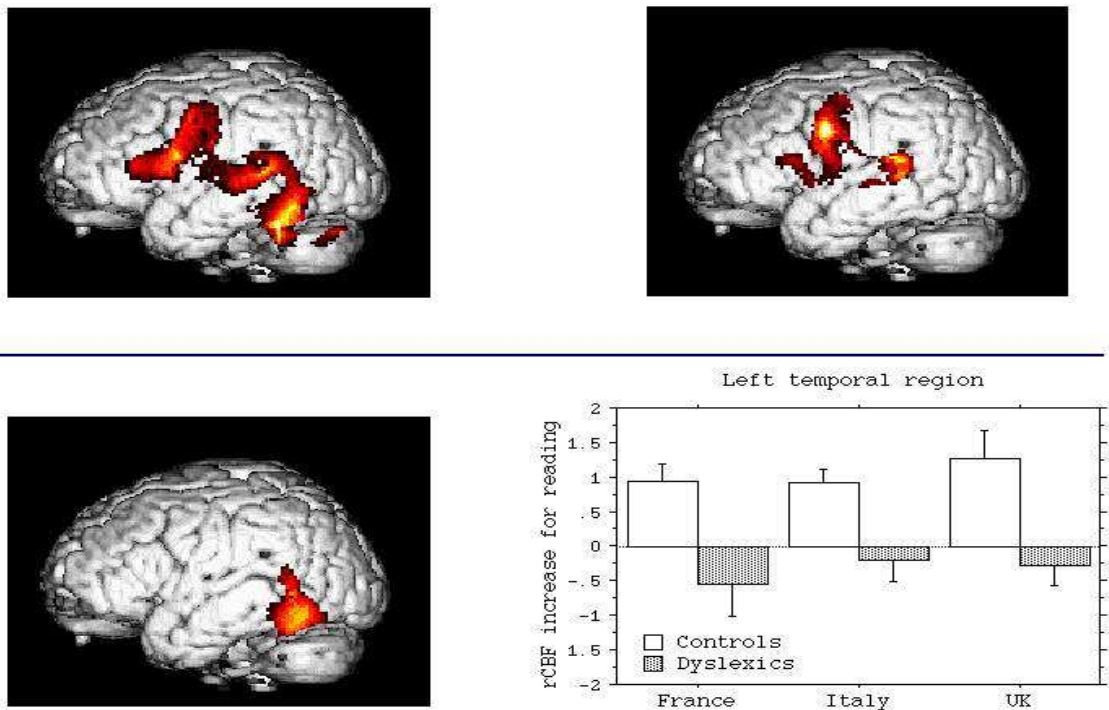


Figure 10 Données de neuro imagerie lors d'une tâche de lecture chez des adultes : activation de l'hémisphère gauche chez les contrôles (haut gauche), chez les dyslexiques (haut droite), différence d'activation entre contrôles et dyslexiques (bas gauche), augmentation du débit sanguin (bas droite) (Paulesu et al, 2001).

De plus, des données de neuroimagerie ont indiqué un dysfonctionnement neural commun aux trois groupes de dyslexiques comparativement aux normolecteurs, ce dysfonctionnement se traduisant par une hypoactivation d'une même zone temporelle gauche. Cela suggère donc un dysfonctionnement neural commun à la dyslexie (Figure 10).

En conclusion, l'explication phonologique semble celle qui permet de rendre compte d'un maximum de cas de façon convergente, et ce au travers de différentes études. En effet, les études de cas uniques et multiples ont montré que le déficit de la procédure phonologique est robuste (il se retrouve dans de nombreuses études), qu'il est sévère (il se retrouve même lors de la comparaison avec des enfants plus jeunes et de même âge lexique) et qu'il est prévalent (il caractérise la plupart des dyslexiques) (confère section 2.2.4 ci-après)

2.2 Origines de la dyslexie développementale : interprétations contemporaines

Si la plupart des chercheurs s'accordent sur le fait qu'un déficit phonologique est au cœur de la dyslexie, certains suggèrent que ce déficit ne serait que la manifestation d'un dysfonctionnement sous-jacent plus général. Néanmoins toutes les explications actuelles, sauf une, prennent en compte la dimension phonologique du trouble. Toutefois, l'origine de ce déficit est toutefois sujette à débat.

2.2.1 Hypothèse Auditive

2.2.1.1 Les traitements auditifs rapides altérés

Selon l'hypothèse de Tallal (1980), un déficit des traitements temporels rapides serait à l'origine du déficit phonologique, qu'il s'agisse de perception de sons du langage ou de sons non langagiers. Ce déficit affecterait le traitement des sons brefs et les transitions temporelles rapides. Le but de ses recherches était de vérifier l'existence d'un déficit de traitement temporel chez les dyslexiques, et, plus spécifiquement d'établir l'incidence potentielle d'une déficience de la perception temporelle auditive sur l'apprentissage de la lecture.

L'étude princeps soutenant cette hypothèse a été effectuée avec des sujets dysphasiques (Tallal et Piercy, 1973, 1976). Les enfants étaient soumis à des tâches de jugement d'ordre temporel (JOT) et de discrimination. Différents stimuli étaient utilisés : des sons non verbaux courts et longs, des voyelles brèves ou longues et des syllabes occlusive + voyelle /ba/ /da/. La durée des ISI (Intervalle Inter Stimuli) divergeait également. Les dysphasiques ont exhibé de faibles performances dans les tâches comportant des tons courts, des voyelles brèves et des transitions consonne - voyelle brève, et lors de l'emploi d'ISI courts.

Lors de son étude avec des enfants dyslexiques (Tallal, 1980), les résultats mettent en exergue la difficulté de ces derniers avec la perception des patrons temporels. Cette difficulté proviendrait d'un déficit perceptif primaire, affectant la vitesse à laquelle ils peuvent traiter l'information perceptive. En effet, lors d'une présentation des stimuli avec un ISI court, les performances des dyslexiques étaient significativement inférieures à celles de normolecteurs. Ce phénomène s'exprimait tout autant dans les tâches

d'identification que de discrimination. En revanche, lors d'une présentation des stimuli avec un ISI long, les dyslexiques et normolecteurs ne montraient aucune différence significative dans leurs erreurs pour ces deux tâches. Ainsi, la performance faible des dyslexiques, que la perception de l'ordre temporel soit requise ou non, suggère une influence significative de la vitesse de présentation des stimuli sur la performance des tâches, en interférant avec la discrimination du stimulus à traiter. Cette difficulté des dyslexiques dans l'analyse acoustique rapide, déficit perceptif primaire, expliquerait leurs problèmes de séquençage, de mémoire sérielle et leurs autres troubles de traitement temporel.

En second lieu, Tallal s'intéressait à la relation qu'entretiennent les aspects de la perception auditive et les compétences spécifiques engagées dans la lecture. Elle constata que la capacité à lire des non mots variait considérablement parmi le groupe des dyslexiques. Si une altération dans le traitement des aspects spécifiques de l'information acoustique se rapporte directement à un handicap en lecture, une corrélation est alors attendue entre le degré de déficience de la perception auditive et le degré de difficulté dans l'utilisation des compétences phoniques en lecture. Les résultats confirmaient cette prédiction : la capacité à répondre correctement aux stimuli auditifs rapides s'est trouvée corrélée à la capacité générale de lecture, surtout avec la lecture de non mots, tâche requérant des correspondances grapho-phonémiques bien établies.

Enfin pour vérifier si ce déficit était lié au déficit lexique, des corrélations entre réponses correctes au test de discrimination présenté en condition rapide et les différents tests de lecture ont été examinées. Toutes les corrélations se sont révélées significatives, la plus élevée étant avec un test de lecture de pseudomots.

Ces résultats ont conduit Tallal à suggérer qu'un dysfonctionnement perceptif auditif primaire affecterait la capacité à utiliser les compétences phoniques indispensables à l'apprentissage de la lecture.

Mais dans cette étude, seuls les résultats globaux pour les intervalles dits brefs étaient présentés. Or ces intervalles variaient fortement dans leur durée⁶.

⁶ Il y avait une grande disparité dans les tons dits 'brefs' : certains intervalles étaient vraiment très courts (entre 8 et 15 ms), alors que d'autres étaient de 308 ms, et donc très proches de la durée dite 'longue' (428 ms).

2.2.1.2 Les données contradictoires

Share, Jorm, Maclean & Matthews (2002) ont évalué dans une étude longitudinale les performances de dyslexiques et contrôles sur une tâche de JOT, avec les mêmes stimuli non verbaux et les mêmes intervalles courts et longs que ceux utilisés par Tallal. Les groupes de lecture ont été constitués en fonction du niveau de lecture de 2^{ème} année de primaire, et le groupe contrôle a été apparié en fonction des facteurs d'âge, de sexe et de QI. Les résultats sont totalement contraires à ceux de Tallal : comparativement aux sujets contrôles, les dyslexiques se caractérisaient par des performances déficientes pour les ISI longs, mais leurs performances étaient similaires pour les ISI courts. Ces résultats peuvent provenir de l'emploi d'une méthodologie différente de celle de Tallal (dans l'étude de Share et al., la tâche de JOT a été passée avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques et normolecteurs), Share et al. ont de nouveau interrogé le groupe des dyslexiques en 3^{ème} année de primaire sur leurs performances de JOT. Cette fois-ci, les performances des dyslexiques ont été comparées à celles de sujets contrôles appariés en âge lexique, QI et sexe. Ainsi, si les déficits phonologiques et de lecture des dyslexiques provenaient d'une déficience dans les traitements temporels, leurs performances devraient être détériorées comparativement à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture. Or aucun déficit n'a été relevé pour l'épreuve du JOT, les scores des dyslexiques étant même légèrement supérieurs à ceux des normolecteurs. En revanche, les performances des dyslexiques en lecture et en écriture de pseudomots étaient déficitaires.

Le même type de résultats a été obtenu dans l'étude de Chiappe, Stringer, Siegel et Stanovich (2002), avec des dyslexiques adultes. Les différences entre contrôles et dyslexiques n'étaient pas significatives quel que soit le type d'ISI, et une nouvelle fois, les dyslexiques se sont révélés déficitaires dans la lecture de pseudomots et dans des épreuves d'analyse phonémique.

Ainsi, ces données indiquent que le déficit de la procédure phonologique de lecture est sévère (les enfants et les adultes étaient déficients par rapport à des sujets de même âge lexique), et qu'il ne peut être la conséquence de déficit dans le traitement temporel.

2.2.1.3 Déficit auditif général ou spécifique aux sons du langage ?

Afin de vérifier l'hypothèse de Tallal, Mody, Studdert-Kennedy et Brady (1997) ont évalué les performances de 20 bons lecteurs et 20 mauvais lecteurs (tous âgés entre 7 et 9 ans) sur des tests de JOT et de discrimination.

La première expérience de cette étude a permis de sélectionner un groupe de mauvais lecteurs ayant des difficultés avec le JOT de syllabes synthétiques /ba/ et /da/ dans un test conçu à partir de celui de Tallal (Tallal & Piercy, 1974), et un groupe de bons lecteurs qui n'éprouvaient pas de telles difficultés. Le but était de sélectionner des groupes se différenciant sur leurs performances de JOT. De plus, cette expérience estimait si le déficit apparent des mauvais lecteurs dans les épreuves de JOT et de discrimination persistait lorsque les syllabes étaient hautement contrastives. Si ce déficit provenait de difficultés d'identification de /ba/ et /da/ à des vitesses rapides de présentation, en raison de leur similarité acoustico-phonétique, plutôt qu'en raison d'un déficit dans le jugement d'ordre temporel, les difficultés devraient disparaître lorsque les syllabes présentées étaient des paires aisément discriminables, telles que /ba/ - /sa/ ou /da/ - /ʃa/.

Les performances des deux groupes se sont révélées significativement différentes, autant dans les tâches de JOT que de discrimination des syllabes /ba/ et /da/ (Figure 11). En effet, quelle que soit la durée de l'ISI et le type de tâche, la perception était identique chez les bons lecteurs. En revanche, chez les mauvais lecteurs, pour les ISI de 10 et 100 ms, le nombre d'erreurs augmentait dans les deux tâches, surtout dans celle de jugement d'ordre temporel. Lorsque les deux paires de syllabe présentées étaient hautement contrastives, aucune différence significative n'est apparue dans les performances des deux groupes. Les bons lecteurs n'avaient pas fait d'erreur quel que soit l'ISI, et les performances des mauvais lecteurs étaient équivalentes à celles des bons lecteurs. Ces résultats confirment que les difficultés des mauvais lecteurs dans le jugement d'ordre temporel de /ba/ et /da/ ne relèvent pas d'un problème d'analyse de l'ordre temporel.

Les auteurs ont évoqué une source phonologique. En effet, si les catégories phonologiques des mauvais lecteurs étaient moins bien définies que celles des bons lecteurs, les syllabes /ba/ et /da/ auraient été plus difficiles à discriminer et à identifier sous une contrainte temporelle, dans la mesure où un seul trait phonétique les différencierait. Cependant leur similarité aurait pu être plus acoustique que phonétique.

Les auteurs ont ainsi mis en œuvre une seconde expérience pour évaluer cette hypothèse.

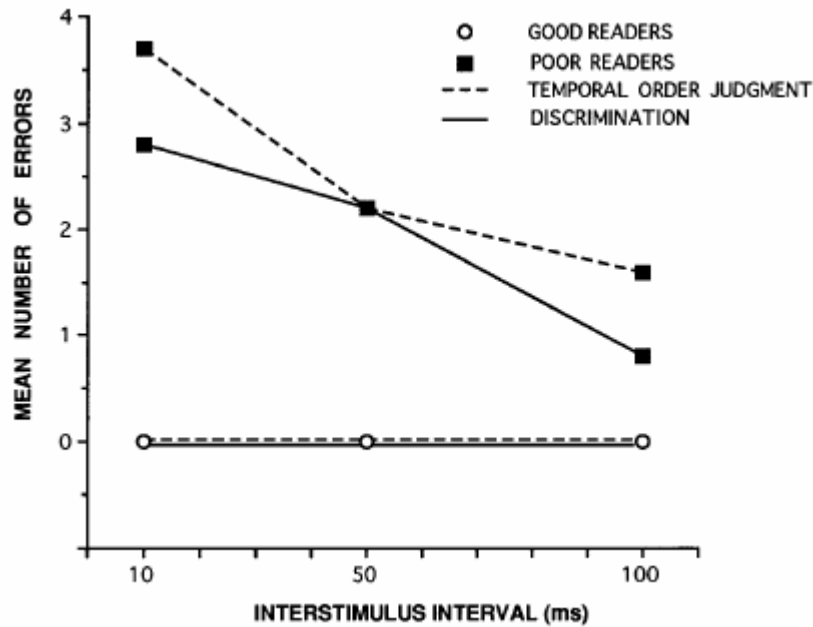


Figure 11 Nombre d'erreurs dans les tâches perceptives sur le continuum /ba/ /da/ en fonction des groupes de lecture (Mody et al., 1997)

Ainsi, afin de déterminer si les problèmes des mauvais lecteurs avaient une origine auditive, Mody a examiné les performances des enfants dans une tâche de JOT avec des signaux de non parole. Si le déficit des mauvais lecteurs se révélait auditif et non phonétique, les auteurs s'attendaient aux mêmes effets d'ISI pour /ba/ et /da/ en condition non parole, et les performances des mauvais lecteurs devraient être significativement inférieures à celles des bons lecteurs. Si le déficit était spécifique à la parole, ni un effet de l'ISI, ni une différence de groupe ne devrait apparaître dans cette expérience. Les stimuli utilisés étaient des sinusoïdes /ba/ et /da/, différentes dans leur valeur de F2 et F3, et n'étaient pas perçus comme de la parole. Ces stimuli étaient des sons contrôles de non parole acoustiquement appariés, mais perceptivement distincts.

Aucune différence de groupe n'a été constatée dans l'apprentissage de l'identification et de la discrimination des signaux, révélant ainsi que les difficultés des mauvais lecteurs avec /ba/ et /da/ n'étaient pas la conséquence d'un déficit auditif général (Figure 12). Sur la tâche de discrimination en condition non parole, les bons et mauvais lecteurs ont

montré des performances similaires, sans aucun effet de l'ISI pour les valeurs les plus élevées (50 et 100 ms). En revanche, une forte augmentation des erreurs est apparue avec l'ISI de 10 ms chez les bons lecteurs. Malgré ce dernier constat, les valeurs d'ISI n'avaient pas d'effet significatif sur la tâche de discrimination en condition non parole pour les deux groupes.

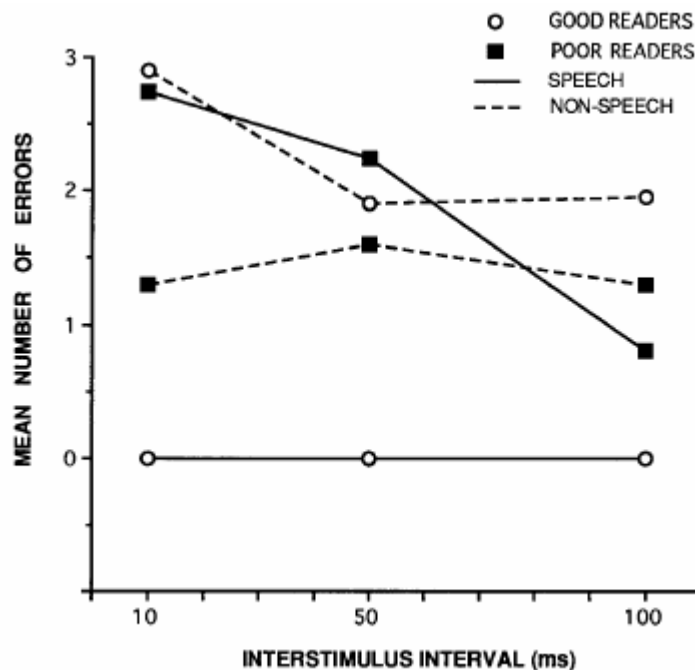


Figure 12 Nombre d'erreurs dans la tâche de discrimination lors de la présentation du continuum /ba/ /da/ en condition parole et non parole (Mody et al., 1997)

Lors de la comparaison des réponses entre la condition parole et la condition non parole, les résultats ont mis en exergue des différences inter-groupes. En effet, la condition influençait fortement les réponses des bons lecteurs, mais l'ISI ne présentait pas d'effet particulier, quelle que soit la condition de présentation des syllabes. Quant aux groupes des mauvais lecteurs, l'influence de la condition se révélait faible, tandis qu'un fort effet de l'ISI s'exprimait uniquement en condition parole.

Ces résultats tendent à montrer que le déficit des mauvais lecteurs est spécifique à la perception de la parole et donc de nature phonologique, et non d'origine auditive.

Ces résultats ont été répliqués dans plusieurs études, qui ont permis de mettre en relief un déficit de perception en condition parole, mais pas en non parole chez des dyslexiques comparativement à des normolecteurs de même âge (Schulte-Körne,

Deimel, Bartling et Remschmidt, 1998 et 1999 ; Rosen et Manganari, 2001 ; Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Démonet, 2001).

Il convient de noter que l'expérience de Serniclaes et al. (2001) rapporte des résultats similaires, en usant d'une méthodologie améliorée : ce sont les mêmes stimuli qui ont été utilisés pour tester les conditions parole et non parole, seule l'information donnée aux sujets était différente (cette étude sera plus amplement traitée dans le chapitre 3 portant sur la perception catégorielle). En revanche, Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, Ahite et Frith (2003b) n'ont pas constaté cette différence entre les deux conditions dans son étude portant sur une comparaison entre adultes dyslexiques et normolecteurs.

Il convient alors de s'interroger sur les relations qu'entretiennent le déficit auditif avec le déficit phonologique et les difficultés de lecture. De nombreuses études ont infirmé l'idée de l'origine auditive du déficit phonologique. Ramus et al. (2003b) rappelle que, alors que les capacités phonologiques expliquent la majeure partie de la variance en lecture, la contribution des capacités auditives est faible. Cette constatation est également confirmée par les études de Chiappe, Chiappe et Siegel (2002), Rosen et Manganari (2001) et Marshall, Snowling et Bailey (2001).

En résumé, les troubles auditifs ne semblent concerner qu'un sous-groupe de dyslexiques : la proportion des dyslexiques présentant des troubles auditifs varie fortement selon les études, et même dans l'étude princeps de Tallal (1980), cette proportion ne dépasse pas les 50%, et ne permettent pas d'expliquer leur problème phonologique et leur problème de lecture.

2.2.2 Hypothèse Visuelle : un déficit magnocellulaire ?

2.2.2.1 Quelques caractéristiques de la perception visuelle

L'information visuelle prélevée pendant l'activité de lecture est captée par la rétine, celle-ci ne disposant pas d'un pouvoir de discrimination identique dans toutes ses parties. De la fovéa (centre de la rétine) à la périphérie, l'acuité visuelle diminue fortement. La zone fovéale, de très petite taille, est en fait la seule à avoir un fort pouvoir de résolution visuelle. Il n'est donc possible d'identifier qu'une dizaine de caractères au cours d'une fixation oculaire et ce qui est alors perçu en dehors de cette

zone (la forme globale des mots) sert à guider les saccades oculaires qui permettent à l'oeil de se positionner pour une nouvelle fixation. Ces phénomènes sont liés à la nature des cellules qui dominent dans la fovéa (les cônes) qui possèdent un fort pouvoir de résolution. Ces données permettent de comprendre pourquoi l'oeil se positionne sur pratiquement tous les mots du texte : il n'est en effet possible d'identifier que ce qui est clairement visible.

Les informations rétinienne transmises par le nerf optique passent par un relais synaptique (le corps géniculé latéral) et se projettent sur les aires visuelles du cortex occipital. Ce circuit implique les voies magnocellulaire et parvocellulaire.

2.2.2.2 La théorie magnocellulaire

La théorie magnocellulaire est la version la plus récente de la théorie visuelle liée à la dyslexie. Le traitement visuel, au-delà du cortex occipital, se divise en deux voies. La voie dorsale, alimentée par le système magnocellulaire, est spécialisée dans la détection de mouvements et tient un rôle particulièrement important dans le contrôle des mouvements oculaires ; le système magnocellulaire est également spécialisé dans le traitement des basses fréquences spatiales. La voie ventrale, dominée par le système parvocellulaire, est spécialisée dans l'identification des formes visuelles, et spécialisé dans le traitement des hautes fréquences. Durant la perception visuelle, les deux systèmes interagissent.

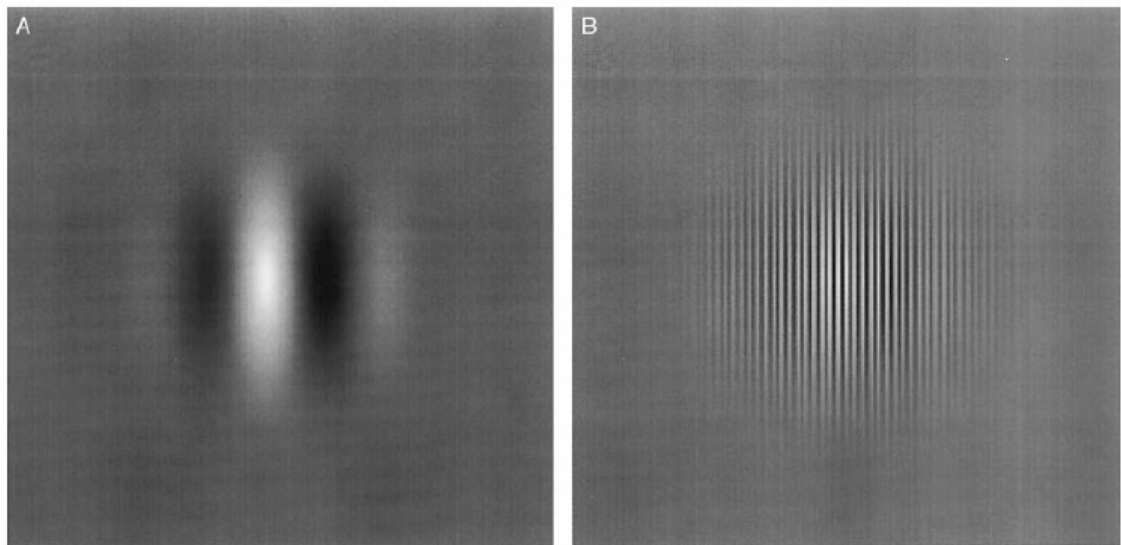


Figure 13 Stimuli utilisés dans des tâches visuelles : sensibilité aux contrastes (A), stimulus spécifique au magnocellulaire ; cohérence des mouvements (B), stimulus spécifique au parvocellulaire (tirés de Ramus, 2003b).

Pour quelle raison une déficience du système magnocellulaire affecterait-elle la lecture ? Lovegrove et Breitmeyer (1993) ont été les premiers à constater que le système magnocellulaire était affaibli chez les dyslexiques. Ils suggèrent que l'activité magnocellulaire, lors d'une saccade oculaire, permettrait de supprimer l'activité parvocellulaire relative à la fixation précédente, et ainsi d'éviter que l'activité soutenue de ce système se poursuive dans la fixation suivante, engendrant une situation analogue à la double exposition en photographie. Si l'activité magnocellulaire est déficiente, cette inhibition ne serait pas suffisante et des troubles du traitement visuel apparaîtraient au cours de la lecture. Mais cette hypothèse est totalement spéculative et certaines études ont démontré le contraire (Skottun et Park, 1999). Par exemple, Stein et Fowler (1981) pensent que le système magnocellulaire est responsable de l'organisation temporelle des événements visuels pendant la lecture. Ce système signale tout mouvement visuel, et, lorsque les yeux font des mouvements inappropriés, les signaux qu'il envoie permettent de corriger ces mouvements. Les dyslexiques, connaissant un développement insuffisant du système magnocellulaire, développeraient une sensibilité réduite au mouvement visuel. Leur fixation binoculaire serait instable, et la localisation visuelle nécessaire à l'enregistrement correct de la position relative des lettres serait appauvrie. Stein, Talcott et Walsh (2000) admettent que le déficit magnocellulaire des dyslexiques est léger et qu'il n'est pas observé chez tous les dyslexiques. Selon eux, un tiers des dyslexiques

souffriraient d'un trouble visuel, un tiers souffrirait de troubles phonologiques, et un autre tiers connaîtrait ces deux problèmes. Cependant cette théorie dite magnocellulaire a fait l'objet de critiques sévères.

2.2.2.3 Evaluation des déficits magnocellulaires chez les dyslexiques

Stein et Walsh (1997), dans une de leurs études soulignent qu'une déficience des traitements phonologiques est une des causes majeures de la dyslexie. Toutefois, ce type de difficultés ne permet pas de rendre compte du nombre important des autres problèmes rencontrés par ces sujets, en particulier de leurs nombreuses erreurs visuelles en lecture. Mais si les dyslexiques, comme les lecteurs débutants, font des erreurs de substitution et d'inversion de lettres, ces erreurs peuvent s'expliquer aussi bien par les caractéristiques phonologiques des items que par leurs caractéristiques visuelles. Des études ont montré que ce type d'erreur se retrouve aussi bien chez les dyslexiques (Fischer, Liberman et Shankweiler, 1978 ; Vellutino, 1979), que chez les lecteurs débutants (Cossu, Shankweiler, Liberman et Gugliotta, 1995 ; Sprenger-Charolles et Siegel, 1997). De plus, la plupart de ces confusions entre lettres peuvent aussi bien s'expliquer par leurs caractéristiques visuelles que par leurs caractéristiques phonologiques, 'p' et 'b', comme 'b' et 'd', ne se différenciant que par un trait phonologique (le voisement dans un cas, le lieu d'articulation dans l'autre). Pour montrer que les confusions entre 'p' et 'b' sont visuelles, il faudrait que ce type d'erreur ne se rencontre que sur ces 2 lettres, et non sur 'd' et 't', qui comme 'b' et 'd', ne diffèrent que par le voisement. Ce qui n'est pas le cas.

S'il y a un déficit visuel chez les dyslexiques, ce n'est donc pas à ce niveau qu'il faut le chercher. Dans les études les plus récentes, les tâches les plus souvent utilisées pour évaluer les déficits visuels de type magnocellulaire n'impliquaient pas la lecture. Les preuves comportementales proviennent de deux sources, telles que l'évaluation de la sensibilité aux mouvements, mais également dans l'examen des déficiences dans le traitement des hautes et basses fréquences spatiales. Sur ce dernier point, Skottun (2000) a établi une importante synthèse de la littérature traitant de l'hypothèse magnocellulaire. Sur les 22 études examinées, seules 4 de celles-ci se sont révélées conformes aux attentes. Les autres se montrent contradictoires avec la théorie magnocellulaire, ou bien ne permettent pas de confirmer une telle hypothèse : aucune

perte de sensibilité, quelle que soit la gamme de fréquence évaluée, n'ayant été relevée chez les dyslexiques.

Par contre les études portant sur la sensibilité aux mouvements concordent davantage avec la théorie magnocellulaire. Une tâche couramment utilisée est la détection de cohérence des mouvements. Deux cadres sont affichés sur l'écran de l'ordinateur, des points bougeant de façon aléatoire dans l'un, et de façon plus ou moins cohérente dans l'autre. Les sujets doivent indiquer dans quel cadre les points bougent de façon cohérente, la valeur prise en compte étant le seuil auquel ils continuent à percevoir cette cohérence (c'est à dire le pourcentage des points qui varient dans le même sens). Si les dyslexiques souffrent d'un déficit magnocellulaire, leur seuil devrait être plus élevé que celui des normolecteurs.

Avec ce type de tâche, un déficit a été relevé chez les dyslexiques dans certaines études (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler et Stein, 1995 ; Hansen, Stein, Orde, Winter et Talcott, 2001 ; Talcott, Hansen, Assoku et Stein, 2000). Cependant, de nombreux résultats négatifs, voire contradictoires ont été rapportés dans la littérature (Ramus, 2003b ; Amitay, Ben, Banai et Ahissar, 2002).

Enfin, lorsque des données individuelles ont été examinées, la proportion des dyslexiques présentant des troubles visuels, qu'ils soient imputables ou non à une déficience magnocellulaire était faible, aux alentours de 25% (Amitay et al., 2002 ; Cornelissen et al., 1995; Ramus, 2003b). La prépondérance de ces troubles s'est donc révélée nettement inférieure à celle des troubles phonologiques.

Ainsi, les études cherchant à démontrer le lien entre les déficits visuels et le handicap en lecture n'y sont pas parvenues, ce dernier ne semblant pas être la conséquence de déficits visuels.

Nous pouvons retenir de toutes ces études qu'il existe sans doute des dyslexiques dont le trouble est prioritairement d'ordre visuel, sans que l'on puisse avoir une idée claire de l'incidence de ce trouble sur les compétences et le déficit lexique.

2.2.3 Hypothèse Cérébelleuse : les troubles moteurs

Selon cette hypothèse, les dyslexiques ne souffriraient pas d'un déficit spécifique mais d'un déficit général, affectant toute habileté qui devrait devenir automatique grâce à un

exercice prolongé. L'anomalie sous jacente concernerait les structures du cervelet impliquées dans les apprentissages moteurs, y compris dans la production de la parole. Une activation plus faible du cervelet pendant un apprentissage moteur a été démontrée chez les dyslexiques comparativement à des sujets témoins (Nicolson, Fawcett, Berry, Jenkins, Dean & Brooks, 1999).

Cette hypothèse s'avère séduisante pour deux raisons : en premier lieu, elle permettrait de rendre compte du fait que ce sont les automatismes de la lecture qui ne se mettraient pas en place correctement chez les dyslexiques ; d'autre part, il serait possible d'expliquer que le déficit phonologique proviendrait d'une déficience motrice affectant les codes articulatoires.

Or deux problèmes se posent. Tout d'abord, il est difficile de concevoir de quelle manière un déficit général des processus d'automatisation peut influencer fortement sur un domaine spécifique comme celui de la lecture, sauf à penser que l'implication des codes articulatoires est particulièrement cruciale pour l'acquisition de cette compétence. L'autre problème est lié au fait que cette théorie intègre tout un ensemble de phénomènes, dont certains sont probablement au cœur de la dyslexie, d'autres n'étant que des symptômes associés dans des cas particuliers.

De plus, on peut relever des résultats contradictoires dans la littérature, aucun déficit n'ayant été observé dans certaines études, (Wimmer, Mayringer et Linderl, 1998 ; Van Daal et van der Leij, 1999 ; Kronbichler, Utzler & Wimmer, 2002), alors que d'autres ont mis en relief un déficit d'automatisme mais seulement dans un sous groupe de dyslexiques (Yap et van der Leij, 1994 ; Ramus, Pidgeon et Frith, 2003a). Ramus et al. ont également observé que les troubles moteurs n'étaient pas aussi prépondérants que le suggère cette théorie : une faible prévalence de ce type de trouble apparaît chez les enfants (59% des enfants dyslexiques testés ; Ramus et al., 2003a), et elle encore plus faible chez les adultes (25% des adultes dyslexiques testés ; Ramus et al., 2003b), et que, chez les enfants, ce type de dysfonctionnement concernait surtout les cas de 'comorbidité', c'est-à-dire les enfants dyslexiques qui souffrent également de troubles d'attention et / ou d'hyperactivité (Ramus et al., 2003a).

Enfin, à la différence des déficits phonologiques, ces troubles ne permettent pas d'expliquer les difficultés de lecture des dyslexiques (Ramus et al., 2003a). Ces résultats relativisent nettement l'hypothèse cérébelleuse.

2.2.4 Hypothèse Phonologique

La théorie phonologique permet de rendre compte d'un maximum de cas de façon convergente.

Dans les études comportementales, des déficits phonologiques ont été mis en évidence chez les dyslexiques, déficits relevés dans divers domaines de compétences tels que la lecture, l'analyse phonémique et la mémoire à court terme phonologique.

2.2.4.1 Les données comportementales

Le déficit de mémoire à court terme phonologique

Tant que le lexique orthographique n'est pas en place, les enfants lisent à l'aide des correspondances grapho - phonémiques. A partir de l'assemblage des unités qu'ils viennent de coder, ils doivent garder en mémoire les résultats de leurs opérations pour accéder aux mots. La charge en mémoire est fonction de la longueur des mots. Par conséquent, la mémoire à court terme phonologique doit avoir une incidence sur l'apprentissage de la lecture (Brady, Shankweiler & Mann, 1983 ; Mann et Liberman, 1984 ; Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000).

Cette hypothèse doit cependant être nuancée car, même si les résultats de plusieurs études longitudinales ont constaté l'existence d'un lien entre la mémoire à court terme et la lecture (ou les difficultés de lecture) (Lecoq, 1991), la capacité de mémoire à court terme phonologique ne semble pas posséder de pouvoir prédictif aussi fort que la capacité d'analyse phonémique concernant la future capacité de lecture.

Le déficit de conscience phonologique : la difficulté à segmenter

Comme nous l'avons vu, des compétences en analyse phonémique permettent d'accéder aisément à la lecture, facilitant la mise en œuvre des CGP, et, en retour, l'acquisition de la lecture améliore de façon notable les capacités d'analyse phonémique (Liberman, Shankweiler, Fisher & Carter, 1974).

De nombreuses études ont également mis en évidence un déficit en analyse phonémique chez les sujets dyslexiques. Lundberg et Høien (1989) ont constaté des performances en analyse phonémique inférieures chez des dyslexiques comparativement à des enfants

plus jeunes de même niveau de lecture. Ce constat ne peut être interprété en termes d'influence de l'exposition à la lecture : à l'inverse des sujets normolecteurs, la consistance de la conscience phonémique des sujets pathologiques ne dépend pas de la durée d'exposition à la lecture. En effet, les sujets dyslexiques de cette étude, qui présentaient le même niveau de lecture que les sujets contrôles, étaient plus vieux et donc exposés depuis plus longtemps à la lecture.

Abondant dans ce sens, des études longitudinales ont observé qu'un déficit en analyse phonémique s'observait avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques (Wimmer, 1996 ; Sprenger-Charolles et al., 2000). Dans une étude longitudinale, Sprenger-Charolles et al. (2000) ont constaté que les capacités en manipulation de phonèmes de futurs dyslexiques étaient inférieures à celles des futurs normolecteurs.

Selon certains auteurs (Bruck, 1992 ; Fawcett et Nicolson, 1994), les relations entre les capacités d'analyse phonémique et la lecture sont bi-directionnelles ; c'est pourquoi le déficit en analyse phonémique des dyslexiques ne se compenserait jamais totalement.

Il convient de rappeler que seules les capacités d'analyse des sons propres au langage sont déficientes chez les dyslexiques, et non l'analyse sonore en général. Dans une tâche de soustraction phonémique (/ku/ : /u/), des dyslexiques présentaient des scores inférieurs comparativement à des contrôles de première année de primaire, mais pas dans les épreuves d'analyse musicale (les enfants devaient omettre la première note de musique d'une séquence de notes) (Morais, Cluytens et Alegria 1984 ; voir également Sprenger-Charolles et al, 2000).

L'ensemble de ces données indique que le développement de la lecture et le développement de la conscience phonémique entretiennent une relation de facilitation mutuelle au cours des premières années de scolarité.

De la difficulté à segmenter au déficit de catégorisation phonémique

La mise en correspondance des graphèmes avec les phonèmes implique des capacités de segmentation phonémique, mais également des représentations phonémiques bien spécifiées. Les dyslexiques, ne disposant pas de représentations phonologiques précises, souffriraient d'un déficit de catégorisation phonémique,

En effet, on peut supposer qu'une déficience de conscience phonémique touche les axes syntagmatique et paradigmatisque, dans le sens où cette déficience empêchera une segmentation correcte (axe syntagmatique), mais également une discrimination correcte (axe paradigmatisque), c'est-à-dire distinguer deux catégories phonémiques, par exemple les phonèmes [d] et [t] (ce point sera traité ultérieurement dans les sections 2.2.5 et IV).

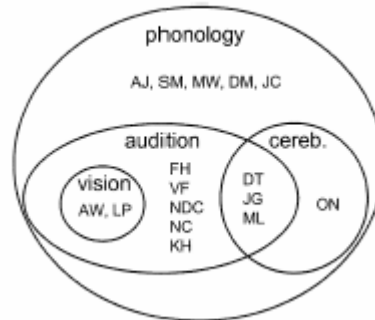


Figure 14 Distribution des déficits phonologiques, visuels, auditifs et cérébelleux chez 16 sujets dyslexiques adultes. La prévalence des troubles phonologiques est manifeste (Ramus et al., 2003b).

Ramus et al. (2003b) ont évalué l'incidence des causes potentielles de la dyslexie (phonologique, auditive, visuelle et cérébelleuse ; Figure 14) chez des dyslexiques adultes anglophones. Lorsqu'il a examiné les résultats individuels, la majorité des dyslexiques présentaient un déficit phonologique, ce qui a également été retrouvé dans de nombreuses études (Chiappe et al., 2002 ; Kronbichler et al., 2002 ; Ramus et al., 2003a ; Schulte-Körne et al., 1998 et 1999). De plus, dans ces études, les capacités phonologiques étaient les seules qui étaient reliées au niveau de lecture (Chiappe et al., 2002 ; Ramus et al., 2003 a & b ; Kronbichler et al., 2002 ; Share et al., 2002), ou qui permettaient d'expliquer la majeure partie de la variance en lecture (Chiappe et al., 2002).

2.2.4.2 Apport de la neuroimagerie dans la connaissance des troubles phonologiques et de lecture

La neuroimagerie fonctionnelle aide à la mise en relief des zones activées durant une tâche quelconque, en usant de diverses comparaisons (examen des sujets pendant une tâche contrôle vs au repos, dyslexiques vs normolecteurs).

Les principales zones cérébrales impliquées dans l'activité de lecture sont des zones périsylviennes de l'hémisphère gauche, qui sont également impliquées dans la

perception et la production du langage. Elles se situent de part et d'autre de la scissure de Sylvius, le vaste sillon qui sépare le lobe frontal, qui contient l'aire de Broca, du lobe temporal, contenant l'aire de Wernicke.

En dehors des aires classiquement répertoriées (Broca et Wernicke), il apparaît également :

- le gyrus supramarginal (GSM), candidat probable pour le stockage et le traitement des représentations phonologiques
- le gyrus angulaire (GA), supposé avoir des liens fonctionnels avec les aires du langage et qui serait plus spécifiquement impliqué dans le processus de mise en relation des informations présentées visuellement avec leurs représentations linguistiques.
- une zone occipito-temporale, située dans la portion médiane du gyrus fusiforme de l'hémisphère gauche, qui traiterait la forme visuelle des mots.

La majorité des études de neuroimagerie ont justement mis en évidence des déficiences spécifiques dans ces zones périsylviennes de l'hémisphère gauche.

Des études se sont également intéressées à l'activation cérébrale dans des tâches phonologiques hors lecture. Un déficit neural a une nouvelle fois été constaté chez des dyslexiques dans une tâche impliquant la discrimination de phonèmes (Ruff, 2002).

2.2.5 Un déficit de perception catégorielle à l'origine de la dyslexie

La mise en correspondance des graphèmes et des phonèmes nécessite des capacités de segmentation phonémique, mais également des représentations phonémiques bien spécifiées. On a vu que de nombreuses études ont constaté un déficit de conscience phonémique chez les sujets dyslexiques, mais diverses études ont également constaté la difficulté des dyslexiques à acquérir les percepts phonémiques : les dyslexiques se sont révélés inférieurs dans des tâches de discrimination de paires de syllabes qui se distinguaient par un seul trait phonétique (par exemple /ba/ /da/ ; Reed, 1989 ; Adlard et Hazan, 1998). Les différences entre ces deux groupes ne résulteraient pas de difficultés d'acuité perceptive de la part des dyslexiques, mais plutôt d'une capacité dégradée à catégoriser les sons en classes phonologiques. Dès lors, plusieurs auteurs ont fait

l'hypothèse qu'un déficit de perception catégorielle des sons de la parole était à l'origine de la dyslexie.

Le déficit de perception catégorielle se caractérise par une difficulté à percevoir des différences entre stimuli appartenant à des catégories phonémiques distinctes, et une discriminabilité accrue des différences intra catégorie (Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Démonet, 2001). Ainsi, cette discrimination accrue à l'intérieur d'une même catégorie de phonème révélerait une incohérence des percepts phonémiques chez les dyslexiques.

Comme le suggèrent des études récentes, cette sensibilité accrue des dyslexiques aux composants phonétiques des oppositions phonologiques pourrait être la conséquence d'un mode de perception 'allophonique' (Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré & Sprenger-Charolles, 2004 a & b; Bogliotti, 2003). La perception allophonique se caractériserait par une meilleure perception des traits phonétiques non pertinents sur le plan phonologique dans la langue. Cette perception allophonique résulterait de l'absence de couplage entre prédispositions perceptives, et ce déficit de couplages constitue un obstacle à l'établissement des associations entre les graphèmes et les phonèmes, plusieurs phonèmes s'associant à un même graphème, entravant la mise en œuvre de la procédure sublexicale de lecture. Ainsi, un enfant qui perçoit les allophones de la catégorie phonémique /p/, par exemple /p/ et /p^h/ aura des difficultés à associer le même symbole graphique « p » aux phonèmes /p/ et /p^h/, étant donné que ces deux unités appartiennent à des catégories phonémiques distinctes dans son répertoire phonique (voir Figure 15 avec les phonèmes /g-k-k^h/ perçus de manière allophonique).

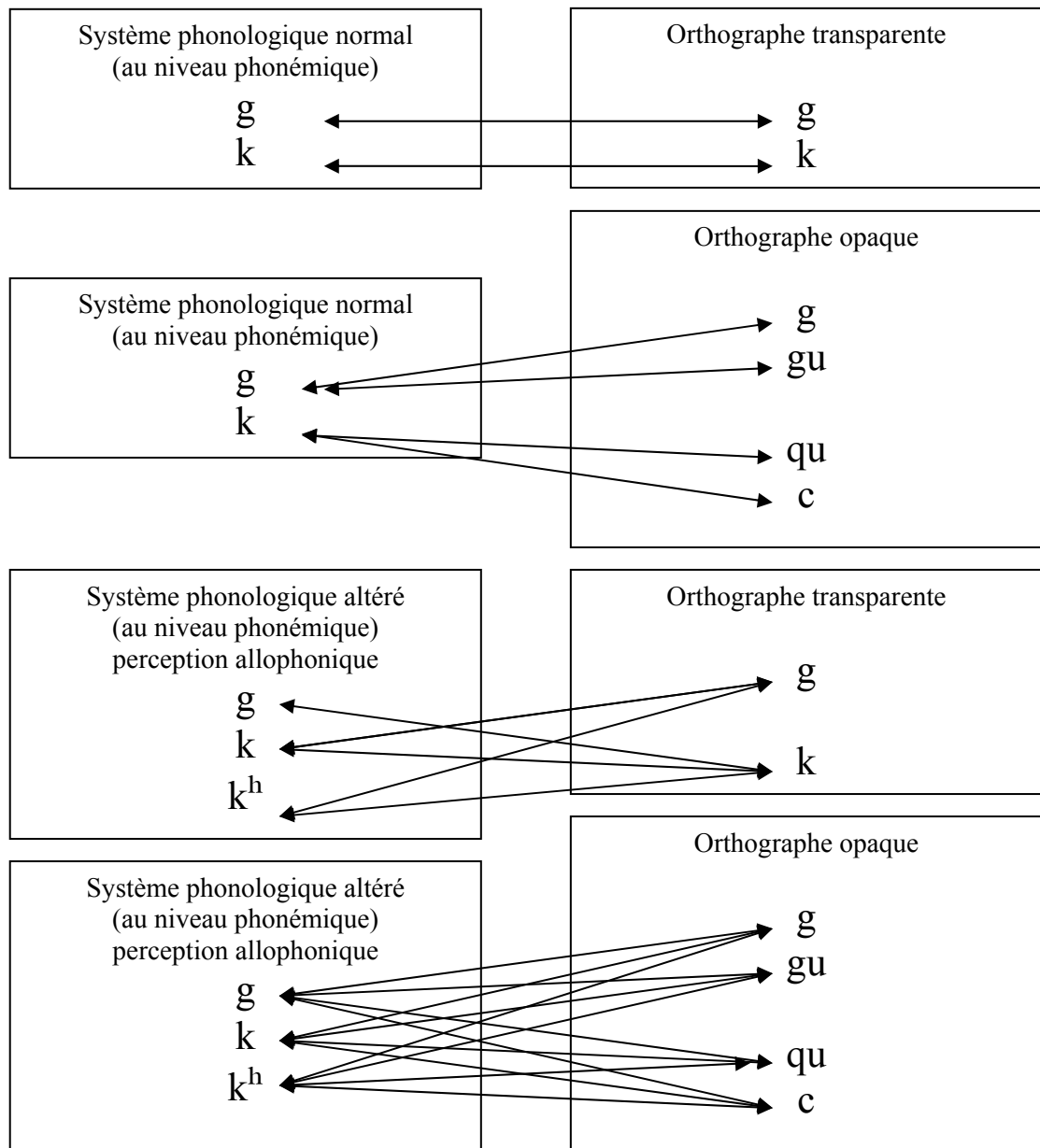


Figure 15 Explication plausible de la mise en place des correspondances graphème - phonème au premier stade de l'apprentissage de la lecture, et perception allophonique (d'après Sprenger-Charolles).

D'autre part, l'hypothèse d'une perception allophonique permettrait de rendre compte, en plus du déficit de perception de la parole, de nombreux déficits rencontrés chez les dyslexiques comme celui de la conscience phonologique ou de la mémoire à court terme phonologique. En effet, s'il perçoit des allophones, un dyslexique disposera d'une conscience phonologique fortement altérée car il ne pourra pas accéder à des unités qui n'existent pas dans son module de décodage phonologique, en l'occurrence les

phonèmes. La relation entre perception allophonique et déficit de mémoire à court terme phonologique est tout aussi évidente : le nombre d'unités de décodage est beaucoup plus élevé avec un système perceptif qui se fonde sur les allophones au lieu de phonèmes, et la charge en mémoire à court terme phonologique est donc plus lourde.

En résumé, on peut souligner que les dyslexiques ont des performances inférieures à des sujets normolecteurs (de même âge chronologique ou de même âge lexicale) sur tout un ensemble d'épreuves mettant en jeu la dimension phonologique. Par contre, les évaluations expérimentales des théories auditive, visuelle ou encore magnocellulaire n'ont pas fourni d'arguments convaincants permettant d'expliquer la dyslexie (voir la section 2.2). Les travaux portant sur les relations entre la perception de la parole et la dyslexie sont les plus prometteurs, étant donné qu'ils permettent d'expliquer les déficits relevés dans différentes capacités impliquant un traitement phonologique (conscience phonémique, MCT phonologique, procédure phonologique de lecture, voir la section 2.2.4). C'est sur ce point précis que se focalisent les recherches entreprises dans notre thèse. Avant d'étudier l'hypothèse d'un déficit de perception de la parole en relation avec la dyslexie, nous allons examiner les différentes études qui portent sur la perception catégorielle de la parole. La perception catégorielle est définie comme la capacité à classer des sons en fonction de la catégorie phonémique à laquelle ils appartiennent, même si ces sons diffèrent acoustiquement. Tout d'abord, nous examinerons les différents arguments des théories motrice, auditive et des catégories apprises, ces trois théories attribuant une origine différente au phénomène de perception catégorielle. D'autre part, de nombreuses recherches ont mis en évidence la capacité des nourrissons à percevoir la majorité des oppositions phonétiques disponibles dans les langues du monde, pour ensuite s'affiner au cours du développement linguistique. De cette constatation émane de nombreuses modélisations du développement perceptif, cherchant mieux connaître les processus de catégorisation des sons natifs et non natifs, la fonctionnalité de la perte de sensibilité des contrastes non natifs, son influence dans la perception d'un auditeur mature.

3 La perception catégorielle

3.1 La perception catégorielle : définition

Les phonèmes sont définis comme les segments perceptifs les plus étroits (Jakobson, 1963). Tous les phonèmes des langues du monde sont répertoriés dans une base de données l'UPSID (UCLA Phonological Segment Inventory Database ; Maddieson, 1984) : on y trouve 652 consonnes et 180 voyelles, et 89 diphtongues. Cet inventaire est basé sur 451 langues, chaque langue n'utilisant qu'environ 40 phonèmes. Chaque phonème regroupe des segments phonétiques différents, appelés allophones ou phones, et qui ont une utilité fonctionnelle dans chaque langue (par exemple, alors qu'en français le /r/ et le /l/ sont deux phonèmes bien distincts, permettant de distinguer le mot 'lire' du mot 'rire', ils font partie de la même catégorie phonémique /r/ en japonais).

Ainsi, la tâche d'un 'néo locuteur' tel un nourrisson sera d'élaborer les catégories phonémiques spécifiques de sa langue maternelle, permettant d'acquérir des mots composés de ces unités élémentaires. L'étude de la perception catégorielle (PC) permet de mieux comprendre la nature des compétences innées et des mécanismes d'acquisition du langage chez le jeune enfant.

Lors de leurs premières études sur la perception de la parole, Liberman, Harris, Hoffman & Griffiths (1957) ont établi que les différences acoustiques entre variants d'une même catégorie phonémique ne sont généralement pas perceptibles (deux variants de /ba/ par exemple), tandis que des différences de même amplitude acoustique entre des sons appartenant à des catégories différentes le sont (/ba/ et /da/). Ce phénomène est connu sous le nom de perception catégorielle (Liberman, Cooper, Shankweiler & Studdert-Kennedy, 1967). Dès les premières expériences étudiant le phénomène de perception catégorielle, des tâches d'identification et de discrimination ont été utilisées. Les résultats de ces deux types de tests permettent d'apprécier divers phénomènes, tels que la relation entre la discrimination et la catégorisation (la perception catégorielle relative, PCR), l'ampleur du pic de discrimination à la frontière phonémique⁷ (l'effet de frontière phonémique, EFP) et la pente de la fonction d'identification (la précision catégorielle PrC). La capacité de catégorisation d'un

⁷ Point du continuum où est donnée une identité propre à chaque catégorie

individu dépend de l'EFP (discrimination intercatégorielle versus intracatégorielle), qui se décompose en deux facteurs : la PrC (basée sur l'identification) et la PCR.

La capacité à catégoriser des sons et à les percevoir de manière catégorielle est une condition essentielle pour le locuteur. La PC reflète d'importants aspects du traitement des sons. Les catégories de sons de la parole sont en nombre limité, mais leur variabilité acoustique intrinsèque, telle qu'elle se manifeste dans le signal de parole, est très large. Cette variation ne semble pas empêcher la communication normale, les individus ayant développé un mécanisme de catégorisation qui gère cette grande variabilité.

Trois théories principales ont été proposées quant à l'origine du phénomène de perception catégorielle. La théorie motrice et la théorie de la perception directe (Fowler, 1996) partagent l'idée que la perception catégorielle est spécifique à la parole. En revanche, la théorie quantale affirme que les propriétés auditives des stimuli sont les facteurs critiques de la manifestation de la perception catégorielle. Cette théorie s'apparente à un ensemble d'explications de la PC basées sur des propriétés auditives innées (Stevens, 1981).

3.2 La perception catégorielle : une origine controversée

3.2.1 La théorie motrice

La théorie motrice (Liberman, Cooper, Shankweiler & Studdert-Kennedy, 1967; Liberman & Mattingly, 1985) explique la perception catégorielle par le fait que des sons acoustiquement différents sont le produit de la même articulation lorsqu'ils appartiennent à la même catégorie.

Cette hypothèse explique la constance perceptive de l'occlusive [d] dans différents contextes vocaliques (/di/ et /du/ par exemple) de la manière suivante. Avant la production de ces syllabes, la langue est pressée contre les alvéoles, obstruant alors le conduit vocal. Lors du relâchement de l'occlusive (et du déplacement approprié de la langue pour la voyelle suivante), les propriétés de résonance du conduit vocal sont similaires. Cependant, les reflets acoustiques de ces propriétés sont fort complexes car ils comportent divers indices contextuellement variables et dispersés sur différents segments. La perception d'une même catégorie articulaire s'opère par intégration de divers indices qui lui correspondent. La variabilité acoustique est plus évidente pour

certaines classes de sons (les occlusives) que pour d'autres (les voyelles). Bien que les occlusives montrent une forte variabilité acoustique, elles diffèrent moins dans la manière dont elles sont produites.

Les phénomènes de perception catégorielle présentent donc un grand intérêt pour la théorie motrice : ils suggèrent que la catégorisation des sons de la parole est basée sur des invariants articulatoires.

L'expérience princeps de Liberman et al. (1957), qui utilisait un continuum /bə-də-gə/, a permis de mettre en évidence une fonction d'identification abrupte lors du passage d'une catégorie de son à une autre, une discrimination faible lors de la présentation de deux stimuli appartenant à la même catégorie, et une discrimination accrue lorsqu'il s'agissait de distinguer deux stimuli chevauchant la frontière phonémique. Il a également constaté une correspondance entre la courbe de discrimination observée et la courbe prédite à partir des données d'identification. Liberman et al. (1967) expliquent ces résultats en supposant que, lors de la comparaison de stimuli issus de catégories phonémiques différentes, l'auditeur parviendrait à les distinguer en se référant à des gestes discrets de production, qualitativement différents pour les deux types de stimuli. En revanche, dans l'expérience de Fry, Abramson, Eimas et Liberman (1962) portant sur la perception d'un continuum vocalique /ɪ, ε, æ/, les voyelles n'ont pas été perçues de manière catégorielle, étant donné qu'elles ne sont pas produites à l'aide de gestes discrets.

De plus, les partisans de la théorie motrice ont toujours soutenu que des stimuli de non parole ne pouvaient être perçus de manière catégorielle, et souligné le statut spécial de la perception de la parole. Selon eux, la perception catégorielle ne pouvait apparaître qu'avec des sons de parole en raison de la référence faite aux catégories phonémiques.

Afin de confirmer cette hypothèse, Mattingly, Liberman, Syrdal & Halwes (1971) ont créé un continuum /bæ/-/dæ/-/gæ/, dans lequel les différents lieux d'articulation étaient indicés par un changement dans la direction et dans la vitesse du second formant. La perception de ces stimuli s'est révélée catégorielle. En revanche, un autre continuum de Mattingly avec des portions transitionnelles isolées n'a pas été entendu comme de la parole, et les stimuli ont été décrits comme des "gazouillements" par les auditeurs. Les pics de discrimination étaient moins nets et ne se situaient pas au même endroit. Les auteurs en ont conclu que la perception catégorielle survenait uniquement dans les

continua de parole, et non avec des sons de non parole de structure acoustique similaire. La perception catégorielle semble donc être spécifique à la parole. Toutefois d'autres études ont montré que la perception pourrait être catégorielle en dehors de la parole (Remez, Cutting & Studdert-Kennedy, 1980), une possibilité qui n'est pas permise par la théorie motrice.

D'autres théories en référence à l'articulation ont été proposées, mais elles ne s'appuient pas sur la connaissance des mécanismes de production comme dans la théorie motrice. La théorie de la perception directe (Fowler, 1996) s'inspire de la théorie de la perception de l'objet (Gibson, 1966), qui considère que les objets sont perçus 'directement' plutôt qu'au travers d'une analyse de leurs composants (c'est-à-dire une analyse des traits). Le pattern de stimulation visuelle, produit par le mouvement d'un objet dans l'espace, permettrait de lui attribuer des propriétés invariantes de haut niveau, ce qui permettrait une perception directe de celui-ci. Les sons sont supposés disposer d'un pattern acoustique systématique car les articulateurs qui produisent les patterns sont contraints dans les mouvements qu'ils peuvent réaliser. Selon la théorie de la perception directe, un auditeur perçoit la parole en utilisant l'information tirée des changements des patterns auditifs, pour accéder ensuite à l'information donnée par les mouvements articulatoires.

La théorie de la perception directe évite certains problèmes rencontrés par la théorie motrice. Les théories motrice et gibsonienne se rejoignent en ce sens qu'elles lient la perception des patterns de sons aux mouvements articulatoires.

3.2.2 La PC est-elle spécifique à la parole et à l'homme : les théories auditives

Plusieurs expériences ont permis de démontrer que la perception catégorielle proviendrait de variations dans la sensibilité auditive le long de continua acoustiques de non parole.

Selon Stevens (1981), la perception catégorielle résulterait de sensibilités innées du système auditif. Le traitement étant imposé par le système auditif, il est supposé que la discriminabilité dans certaines régions d'un continuum acoustique est meilleure que dans d'autres régions. Les sons provenant des régions du continuum où la

discriminabilité est faible paraîtront identiques, contrairement aux sons provenant de régions où la discriminabilité est forte. Les propriétés auditives des stimuli, plutôt que les catégories phonémiques auxquelles ils appartiennent, seraient les facteurs critiques de l'apparition de la perception catégorielle.

Trois types d'arguments permettent de soutenir l'hypothèse de l'importance fondamentale des sensibilités auditives naturelles dans l'apparition de la perception catégorielle.

Tout d'abord, Cutting et Rosner (1974) ont constaté que la perception catégorielle pouvait apparaître avec des continua de sons de non parole qui incorporaient le même trait acoustique responsable de la catégorisation de continua de parole. Ainsi, dans leur étude sur la perception du 'rise time'⁸, ils ont démontré qu'un continuum de non parole variant en 'rise time' était perçu de manière catégorielle⁹, c'est-à-dire de la même façon qu'un continuum de parole qui variait également en 'rise time'¹⁰. De plus, la frontière catégorielle apparaissait aux environs de la même valeur de 'rise time' (40 ms) pour les deux continua. Cette étude a ainsi permis de démontrer que la perception catégorielle n'était pas spécifique aux sons de la parole. C'est la raison pour laquelle Stevens a considéré ces résultats comme une preuve du rôle des prédispositions du système auditif dans la différenciation des sons dont le 'rise time' était rapide de ceux dont le 'rise time' était plus progressif (Stevens et Blumstein, 1981).

De plus, il a été démontré que certains mammifères percevaient des continua de VOT¹¹ de façon catégorielle. Kuhl et Miller (1975) ont entraîné des chinchillas à reconnaître deux stimuli extrêmes de [da] et [ta]¹². Après plusieurs mois d'entraînement, les chinchillas sont parvenus à identifier ces stimuli à plus de 95 %. Ils ont alors été testés

8 Rise time : temps que met un son pour atteindre son amplitude maximale

9 Les stimuli à attaque rapide sonnaient comme des pincements sur un instrument à cordes, les stimuli à attaque lente sonnaient comme si l'on glissait un archet sur une corde

10 Continuum composé de stimuli entendus comme l'affriquée [tʃ] dans « cherry » et de stimuli perçus comme [ʃ] dans « sherry ».

11 VOT : Voice Onset Time. Il existe 3 catégories de voisement dans les langues, et ces catégories s'appuient sur le VOT, ce dernier se référant à la relation temporelle entre le début du voisement (les vibrations laryngées) et le relâchement de l'occlusion (Lisker et Abramson, 1964). La première catégorie se caractérise par le début du voisement avant le relâchement de l'occlusion (VOT négatif, /ba/), la seconde catégorie se caractérise par une quasi-synchronisation du début du voisement avec le relâchement de l'occlusion (VOT positif court, /pa/), et la troisième catégorie se caractérise par un retard du voisement après le relâchement de l'occlusion (VOT positif long, /p^ha/.)

12 Respectivement 0 et 80 ms VOT.

sur tous les stimuli intermédiaires composant le continuum, et, phénomène surprenant, leurs performances d'identification sur ce continuum étaient semblables à celles de sujets humains adultes. Non seulement les chinchillas se sont révélés catégoriels, mais ils ont situé la frontière phonémique au même endroit que les humains. Ces résultats ont été généralisés dans une autre étude de Kuhl et Miller (1978) avec un continuum [ga] [ka] (Figure 16).

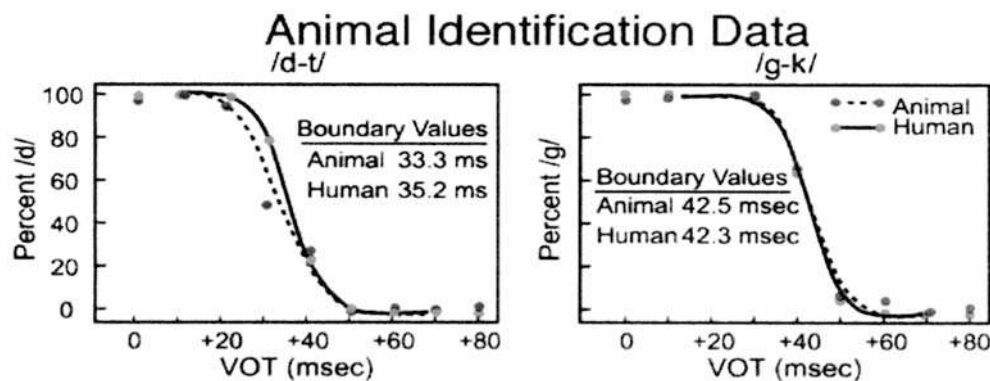


Figure 16 Comparaison entre les scores d'identification sur deux continua de parole chez des « auditeurs chinchillas » et des adultes anglophones (Kuhl et Miller, 1978)

Enfin, les nourrissons ont manifesté des capacités à percevoir de manière catégorielle des continua de parole, mais également de non parole. Après les études d'Eimas, Siqueland, Jusczyk & Vigorito (1971) qui ont mis en évidence la perception catégorielle de sons de parole chez des nourrissons confrontés à un continuum de VOT, Jusczyk, Rosner, Cutting, Foard & Smith (1977) ont obtenu le même type de résultats pour un continuum de non parole de 'rise time', et d'un continuum de 'relative tone onset time' (Jusczyk, Pisoni, Walley & Murray, 1980).

Toutes ces données suggèrent que la perception catégorielle aurait pour origine des prédispositions auditives plutôt que linguistiques.

3.2.3 La théorie d'apprentissage de la catégorisation

Lane (1965) affirme que les catégories ne sont nullement prédéfinies par des patterns moteurs ou des fonctions sensorielles, mais qu'elles se mettent en place au cours de l'apprentissage. Les frontières catégorielles seraient totalement arbitraires, et la perception catégorielle s'expliquerait par l'existence de catégories que les sujets ont

appris à identifier. Des fonctions d'identification devraient donc se créer naturellement au cours de l'apprentissage, les stimuli d'une même classe ne devraient pas être discriminés, alors que les stimuli de classes différentes devraient l'être. Lane a été le premier à avoir une telle vision de la perception catégorielle : il a démontré qu'elle pouvait se manifester si les sujets étaient entraînés à appliquer des catégorisations discrètes à un ensemble d'objets.

Les études sur la perception du 'pitch musical'¹³ ont fourni de nombreuses preuves quant à l'apparition de la perception catégorielle grâce aux catégories acquises. Burns et Ward (1978) se sont intéressés à la perception d'intervalles mélodiques entre des tons présentés séquentiellement par des musiciens entraînés, et ont mis en évidence que les fonctions d'identification des intervalles étaient raides, et que la discrimination était meilleure aux frontières représentant les demi tons. Ces résultats peuvent être entièrement attribués à l'apprentissage, et non pas aux propriétés des stimuli. En effet, les auditeurs non entraînés musicalement présentaient des fonctions de discrimination totalement plates le long du continuum.

De même, les résultats des études de Siegel & Siegel (1977) suggèrent que les musiciens percevaient des intervalles musicaux de manière catégorielle, à l'inverse des non musiciens.

3.3 Les critères d'évaluation de la perception catégorielle

Il n'existe au moins de trois méthodes d'évaluation et deux échelles de réponses pour mettre en évidence la perception catégorielle.

3.3.1 Les critères d'évaluation

La précision catégorielle, PrC (Simon et Fourcin, 1978) : La première fois que la précision de la frontière a été utilisée comme critère d'évaluation de la perception catégorielle semble être dans l'étude portant sur le développement perceptif de Simon et Fourcin (1978). Dans leur expérience, ces auteurs préfèrent parler « d'identification catégorielle » plutôt que de perception catégorielle. Plus la frontière est précise, et

¹³ La caractéristique du pitch musical est d'être testé à l'aide de continua ne présentant pas de discontinuités dans la discriminabilité

moins les différences entre stimuli sur le même versant de la frontière sont discriminables, plus la perception est catégorielle.

La perception catégorielle relative, PCR (Liberman et al., 1957) : La précision de la frontière n'est pas le seul déterminant de la perception catégorielle. En effet, la perception catégorielle dépend également de facteurs non phonémiques, comme la perceptibilité des différences acoustiques entre stimuli. Deux stimuli qui reçoivent exactement le même score d'identification ne sont généralement pas totalement indiscriminables. La procédure consiste à comparer les réponses de discrimination observée à des valeurs prédites à partir des réponses d'identification et à mesurer la perception catégorielle en fonction inverse de l'écart entre les scores de discrimination observés et ceux prédits.

L'effet de Frontière Phonémique, EFP (Wood, 1976) : Il est possible d'obtenir une mesure globale de la perception catégorielle, incluant à la fois les effets de précision de frontière phonémique et de discriminabilité intra phonémique, en se basant sur les scores bruts de discrimination, sans tenir compte des réponses d'identification. La perception catégorielle est alors définie par 'l'Effet de Frontière Phonémique' (EFP ; Wood, 1976), c'est-à-dire l'écart entre la moyenne des scores de discrimination intercatégorielle (correspondant à la paire de stimuli qui chevauche la frontière phonémique) et à la moyenne des scores de discrimination intracatégorielle (les paires à l'intérieur d'une même catégorie phonémique).

3.3.2 Les échelles de quantification

Deux échelles de quantification des réponses peuvent être utilisées pour les données de discrimination.

Scores 'différent' : La première échelle consiste à ne tenir compte que des réponses aux paires 'différent'. L'intérêt de cette échelle vient du fait que, en raison d'un biais de réponse, les réponses 'différent' augmentent à la frontière phonémique non seulement pour les paires 'différent', mais également pour les paires 'même' (Wood, 1976). Par conséquent, le pic de discrimination tend à être plus élevé avec les seules réponses 'différent'. Dans des situations où les performances sont faibles, caractérisées par des scores 'même – différent' proches du hasard, des effets minimes peuvent être amplifiés lors de l'utilisation de l'échelle 'différent'. L'inconvénient de cette échelle réside dans

le fait que seuls les pics de discrimination sont interprétables en termes de discriminabilité accrue, le niveau moyen de discrimination pouvant provenir indifféremment d'une meilleure perceptibilité ou d'un biais de réponse plus important vers 'différent'.

Scores 'même-différent' : La seconde échelle consiste à prendre la moyenne des réponses correctes aux paires comprenant deux stimuli différents et à celles comprenant deux fois le même stimulus (score 'même – différent'). L'inclusion des réponses aux paires 'même' permet de contrôler le biais de réponses : un sujet qui répondrait toujours différent, qu'il s'agisse de paires 'même' ou 'différent' obtiendrait 50 % de réponses correctes avec ce score, soit le niveau de hasard avec deux choix de réponses (format AX).

3.4 Les changements développementaux des capacités de perception de la parole

De nombreuses recherches relatives à la perception de la parole ont cherché à identifier le type de capacités dont disposait un nourrisson pour traiter la parole, et de quelle manière ces capacités étaient modifiées en fonction de l'expérience d'une langue particulière. Connaître les capacités des nourrissons permet également de fournir un aperçu des mécanismes fondamentaux à la perception de la parole chez les adultes. Ainsi, les études développementales de la perception de la parole sont idéales pour observer et étudier ces prédispositions.

L'une des hypothèses de la théorie développementale suggère que les nourrissons naissent avec des capacités perceptives qui facilitent la discrimination des contrastes phonétiques, et que cette capacité s'étend aux contrastes phonétiques qui ne sont pas utilisés dans l'environnement linguistique de l'enfant. Cette théorie énonce également que les adultes ont perdu cette capacité, du fait que l'expérience de la langue maternelle annihilerait la perception des contrastes non natifs des jeunes enfants, et renforcerait la perception des contrastes appartenant à leur langue. Ce mécanisme de perception des contrastes non natifs s'achèverait à la fin de la première année de la vie en raison de l'exposition à la langue maternelle.

Différentes études se sont intéressés au phénomène de PC chez les jeunes enfants, et on sait encore peu de choses sur les processus ou les mécanismes qui accompagnent cette réorganisation sélective et adaptative dans la discrimination phonétique non native, ou à quelle époque se déroule ce changement perceptif dans la perception de la parole. Il semble que les contrastes non natifs ne soient pas égaux face à leur maintien ou disparition dans les capacités perceptives d'un individu. Des modèles ont été développés afin de rendre compte des différences dans le déclin de la perception non native.

3.4.1 La variété des contrastes qu'un nourrisson peut discriminer

La majorité des recherches se sont donc centrées sur la variété des contrastes de parole qu'un nourrisson pouvait discriminer. En effet, le jeune enfant serait capable de discriminer la plupart, voire la totalité, des contrastes phonétiques utilisés dans toutes les langues du monde. Cette assertion a été vérifiée dans des études mettant en évidence la perception catégorielle d'enfants de moins de 10 mois autant pour des contrastes natifs que non natifs (Eimas, Siqueland, Jusczyk & Vigorito, 1971 ; Aslin, Pisoni, Hennessy & Perey 1981 ; Werker & Tees, 1984). Ces études ont porté sur différents traits de parole, tels que le voisement, le lieu d'articulation, le mode d'articulation pour les consonnes et sur les traits vocaliques (pour une revue, voir Hallé, 2000). Le VOT (Voice Onset Time : indice se rapportant à la discrimination des distinctions de voisement) est une des oppositions qui a fait l'objet du plus grand nombre de recherches pour plusieurs raisons.

De nombreux facteurs ont joué dans cet intérêt particulier au VOT. Tout d'abord, des recherches portant sur la perception d'adultes (Liberman, Harris, Kinney & Lane, 1961) ont permis de constater que la perception des sons de la parole qui différaient en VOT était catégorielle. Surtout ce sont les observations de Lisker et Abramson (1964) sur 11 langues différentes qui ont révélé que les productions des locuteurs se situaient toujours aux environs des trois mêmes valeurs de VOT, avec de légères variations toutefois. Ce constat suggère l'existence de contraintes fondamentales pour percevoir et produire du VOT. Des questions sur la nature et l'origine de telles contraintes ont été posées, mais il est apparu difficile d'y répondre avec des sujets adultes étant donné l'importance de leur expérience linguistique, ce qui n'est pas le cas chez les nourrissons, population

linguistiquement 'naïve'. De nouvelles méthodes d'évaluation ont été élaborées permettant l'étude de la perception chez de jeunes enfants, telles que la mesure de succion ou du rythme cardiaque¹⁴ (Graham & Clifton, 1966 ; Siqueland & DeLucia, 1969).

Enfin, il faut rappeler que les catégories de voisement se distribuent différemment selon les langues, mais également selon l'âge de l'auditeur (Figure 17). En effet, si l'on sait que les nourrissons peuvent discriminer toutes les oppositions phonétiques, qu'elles soient natives ou non natives, il en est différemment des auditeurs adultes : les frontières entre catégories sont différentes selon la langue de l'auditeur.

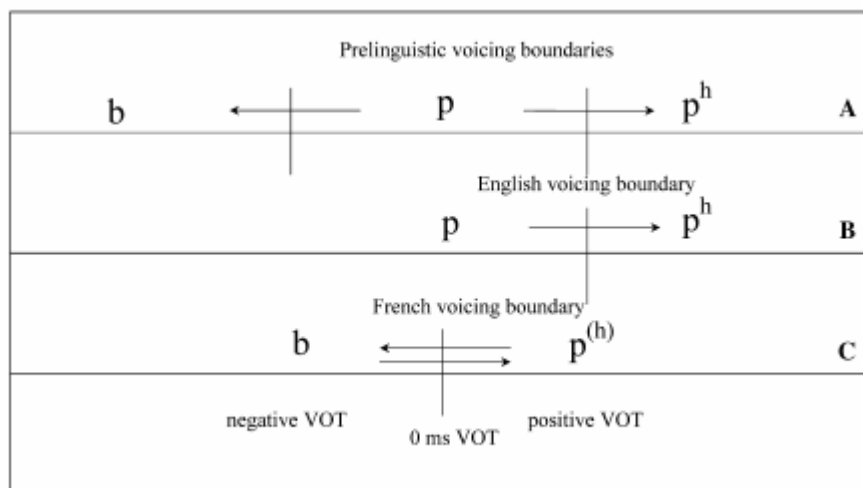


Figure 17 Les frontières perceptives entre les catégories de voisement : chez le nourrisson et chez l'adulte en thaï (A), chez l'adulte en anglais (B) et chez l'adulte en français (C). Les frontières prélinguistiques correspondent aux prédispositions à percevoir toutes les catégories de sons chez les nourrissons (indiqué par les flèches). En anglais, une frontière naturelle est activée et correspond parfaitement à une frontière phonologiquement pertinente entre la catégorie non voisée non aspirée et la catégorie non voisée aspirée. En français, on observe le couplage de deux prédispositions générant une opposition entre les occlusives voisées et les occlusives voisées légèrement aspirées (tiré de Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré & Sprenger-Charolles, 2004a)

Par exemple, les auditeurs thaïlandais disposent de 3 catégories de voisement avec 2 frontières phonémiques (catégories prévuee / voisée / non voisée, avec des frontières phonémiques se situant aux alentours de -30 ms et 30 ms VOT ; Figure 17a). Les anglophones disposent de 2 catégories de voisement (catégories voisée / non voisée, la frontière phonémique se situant aux alentours de 30 ms VOT ; Figure 17b). Il faut noter que la frontière phonémique des anglophones se trouve au même endroit que la frontière

¹⁴ Les méthodes de HAS, CRM ou HT (respectivement High Amplitude Sucking, Cardiac Rate Measurement et Head Turning) seront expliquées au cours de ce chapitre.

phonétique. En revanche, chez des locuteurs francophones ou hispanophones, alors qu'ils disposent également de 2 catégories de voisement avec 1 seule frontière phonémique, cette dernière est la résultante d'un couplage entre les traits phonétiques de voisement et d'aspiration, et elle ne se situe pas au même endroit que la frontière phonétique (la frontière entre la catégorie voisée et non voisée se situe aux alentours de 0 ms ; Figure 17c ; cette notion de réorganisation de l'espace perceptif pour le voisement sera abordé plus précisément dans la section 3.4.3.5)

3.4.1.1 L'innéité du phénomène de PC

L'expérience princeps de Eimas, Siqueland, Jusczyk & Vigorito (1971) est le point de départ des études s'interrogeant sur la manière dont se mettait en place la perception catégorielle chez l'enfant. Ils avançaient deux hypothèses : soit la perception catégorielle du VOT résultait de contraintes innées du système perceptif, soit elle se développait progressivement en fonction de l'expérience de l'enfant dans l'audition et la production des sons de la parole divergeant en VOT. Cette dernière notion suppose que les jeunes enfants, bien qu'étant capables de différencier des sons sur un continuum de VOT de façon précoce, apprennent progressivement à ignorer les différences subtiles entre les différents représentants des phonèmes, et focalisent leur attention sur les différences pertinentes permettant de distinguer les mots de leur langue maternelle.

Cette étude a permis d'examiner la discrimination du VOT chez des nourrissons de 1 et 4 mois, en utilisant une version modifiée de la procédure de succion non nutritive¹⁵ (HAS). Différentes paires de VOT ont été utilisées : les paires étaient choisies de manière à ce que chaque stimulus de la paire représente des catégories phonémiques différentes en anglais (+20 ms VOT vs +40 ms VOT : [ba] vs [p^ha]), ou qu'ils représentent des sons appartenant à la même catégorie de VOT (-20 ms VOT vs 0 ms VOT [ba] vs [ba] ; +60 ms VOT vs +80 ms VOT [p^ha] vs [p^ha]).

Les nourrissons s'avèrent capables de discriminer des paires appartenant à deux catégories phonémiques (Figure 18), alors qu'ils semblent totalement sourds aux

¹⁵ High Amplitude Sucking : L'expérimentateur présente un des sons de la paire de stimuli dès que l'enfant suce sa tétine. Le taux de succion du nourrisson augmente pendant quelques minutes lorsqu'il perçoit un nouveau stimulus, puis revient progressivement à son rythme de base, à mesure que le stimulus devient familier. Le nourrisson entend donc le premier stimulus de la paire, et dès que son taux de succion diminue jusqu'à un niveau déterminé, le deuxième stimulus lui est présenté. S'il perçoit une différence avec le premier stimulus, son taux de succion devrait à nouveau augmenter.

oppositions qui appartenait à la même catégorie phonémique (Figure 18b). Eimas et al. en ont conclu que les nourrissons percevaient la parole de façon catégorielle et que les mécanismes fondamentaux à la discrimination du VOT chez les nourrissons pourraient faire partie intégrante de la structure biologique de l'organisme, ou, en d'autres termes, qu'ils seraient innés. En effet, il semble difficile d'imaginer un quelconque apprentissage, étant donné la maigre expérience linguistique dont pourraient disposer ces jeunes enfants.

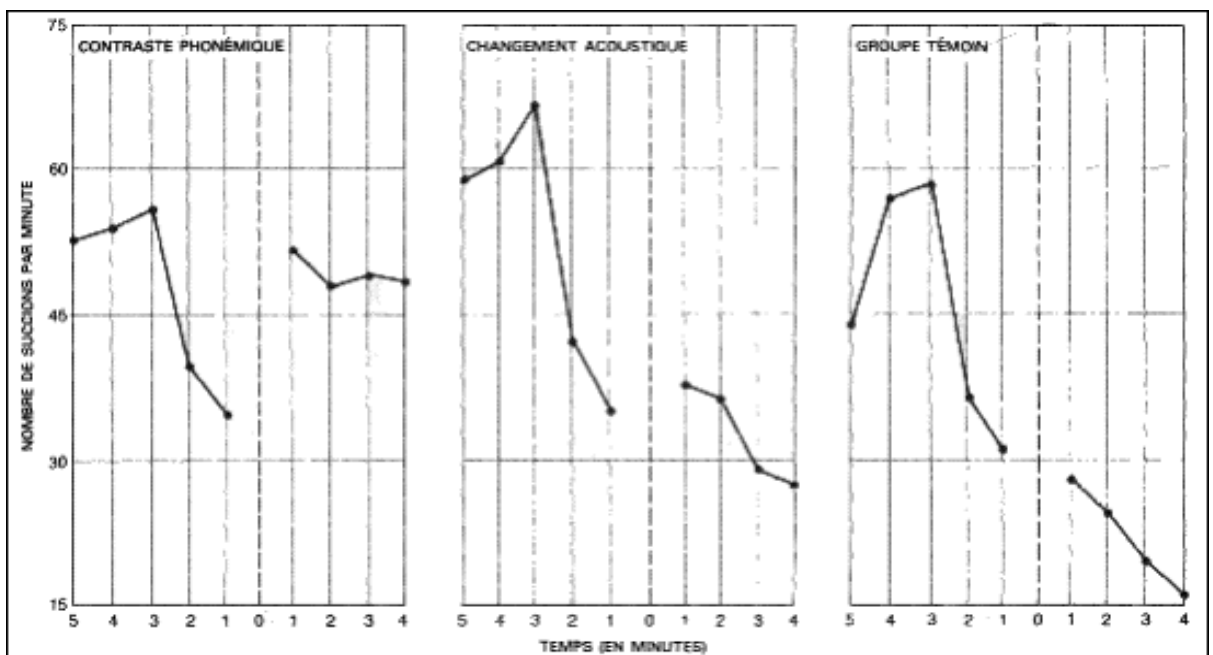


Figure 18 Résultats de la variation des taux de succion de plusieurs groupes d'enfants à qui on fait entendre des stimuli différents : A, un contraste phonémique ; B, un contraste acoustique ; C, pas de changement de stimulus. Lorsqu'une syllabe commençant par la même consonne est répétée, le taux de succion augmente puis décroît à mesure que le bébé s'habitue à ce son. A partir du moment où l'on fait entendre un nouveau stimulus au bébé (le trait en pointillé sur le graphique marque la présentation d'un nouveau stimulus), son taux de succion augmente : le bébé perçoit une différence (graphique à gauche). Quand ce sont des variations acoustiques de la même consonne qui sont présentées, le bébé ne perçoit pas de différence et le taux de succion varie peu (graphique du milieu). Le graphique de droite représente les performances d'un groupe témoins à qui on a toujours fait entendre le même stimulus.

Cependant, cette étude présente des limites. D'une part, la conclusion sur le phénomène de perception catégorielle rencontré chez les nourrissons est à nuancer étant donné que les tâches perceptives utilisées ne permettent pas d'aboutir à une telle conclusion¹⁶. Néanmoins, le fait que les nourrissons, comme les adultes, soient parvenus à discriminer les paires provenant de catégories différentes, mais pas celles de la même catégorie, suggère que l'effet de frontière phonémique ne dépend pas de l'âge du sujet. D'autre part, les nourrissons n'ont été testés que sur la distinction de voisement prévalente en anglais, c'est-à-dire celle entre une consonne non aspirée vs une consonne aspirée. Or, Lisker et Abramson (1964) ont constaté qu'il existait trois catégories de voisement, et la troisième catégorie, (pré)voisée, n'est pas phonémique en anglais, mais bien dans certaines langues comme le thaï. Étant donné les résultats initiaux qui impliquaient une forte base innée à la distinction aspirée / non aspirée, il était naturel d'attendre que les nouveaux-nés discriminent également des oppositions de voisement. Eimas (1975b) a tenté de déterminer si les jeunes enfants étaient sensibles aux oppositions de voisement. Les résultats de cette étude se sont trouvés équivoques pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les différences de VOT qu'il a utilisées étaient plus larges (80 ms de différence de VOT entre les stimuli composant une paire) que celles utilisées pour la distinction voisée / non voisée (20 ms de différence de VOT). De plus, bien qu'un groupe de nourrissons ait distingué une opposition de voisement (-70 ms vs +10 ms), la performance de ce groupe n'était pas différente de celle du groupe qui a reçu la paire de VOT intracatégorielle (-150 ms vs -70 ms VOT). Dès lors, ces résultats suggéraient que les nouveaux-nés étaient sensibles à l'opposition de voisement, mais ils n'apportaient pas la preuve quant à sa perception catégorielle. Pour expliquer le décalage observé entre les deux études de Eimas sur la perception des régions non voisée / aspirée (Eimas et al., 1971) et voisée / non voisée (Eimas, 1975), Eimas suggère que même une exposition limitée au langage de 2 mois serait suffisante pour exercer un changement dans la sensibilité aux contrastes des sons de la parole. Les nourrissons d'un environnement linguistique anglais n'étant que rarement exposés à des informations

16 La PC est en principe définie en termes de correspondance entre les données d'identification et de discrimination (le Critère Relatif selon Liberman et al, 1967), une région de haute discriminabilité coïncidant avec une frontière catégorielle déterminée à partir des données d'identification. Or Eimas n'a pas usé de ces critères pour évaluer la PC chez les nourrissons.

provenant de la région prévoisée / voisée d'un continuum de VOT verraient donc leur sensibilité à une telle information s'atténuer précocement.

3.4.1.2 La perception des sons non natifs chez les nourrissons : phénomène commun à tous les environnements linguistiques

Bien que les résultats de Eimas soient équivoques quant à la discrimination des sons non natifs, plusieurs études ont confirmé que les nourrissons étaient sensibles aux différences de VOT natives et non natives (Aslin et Pisoni, 1980; Lasky, Syrdal-Lasky & Klein, 1975 ; Streeter, 1976 ; pour une vue contradictoire, Eilers, Gavin et Wilson, 1979).

Lasky, Syrdal-Lasky & Klein (1975) ont étudié la discrimination de contrastes VOT par des enfants guatémaltèques avec une procédure de décélération du rythme cardiaque¹⁷. Les 30 nourrissons, âgés entre 4 et 6 mois, de parents hispanophones, ont dû discriminer les 4 stimuli d'une valeur VOT de -60 ms, -20 ms, +20 ms et +60 ms qui composaient le continuum /ba-pa/. Les auteurs ont constitué 3 groupes, et chaque groupe passait une des trois épreuves de discrimination : l'épreuve 'prévoisée' dans laquelle les stimuli à -60 et -20 ms VOT étaient en opposition, l'épreuve 'mix-voisée' dans laquelle les stimuli à -20 et +20 ms VOT étaient opposés, et enfin l'épreuve 'non voisée' dans laquelle les bébés devaient discriminer la paire +20 ms vs +60 ms VOT. Les résultats ont montré que les groupes de nourrissons confrontés à l'opposition 'voisée' ou 'non voisée' ont été capables de la discriminer. En revanche, les nourrissons du groupe confronté à l'opposition 'mix-voisée' n'ont pas été capables de la percevoir. Ces résultats sont très intéressants car ils impliquent que les bébés d'un environnement linguistique hispanophone perçoivent 3 catégories phonétiques de voisement, avec une frontière entre -60 et -20 ms VOT, et une autre frontière entre +20 et +60 ms VOT.

¹⁷ CRM : Cardiac Rate Measurement. Ce paradigme est basé sur l'idée que la décélération cardiaque est indicatrice de la réponse de l'enfant à un nouveau stimulus. Bien qu'une décélération cardiaque marquée puisse être observée au cours des premières présentations du stimulus, la diminution de la fréquence cardiaque est souvent obtenue après une exposition répétée aux stimuli (la fréquence cardiaque s'habitue à la réponse). Suivant cette habituation de la fréquence cardiaque à un stimulus particulier, si un second stimulus est introduit et reconnu comme nouvel item, alors un ralentissement marqué de la fréquence cardiaque pourrait survenir (déshabitué de la fréquence cardiaque). C'est cette décélération au second stimulus, selon l'habituation au premier, qui sert d'indicateur de la capacité de discrimination du nourrisson.

Les auteurs ont ensuite comparé les données obtenues dans leur étude avec celles de Lisker et Abramson, qui avaient obtenu des données de catégorisation d'un continuum de VOT chez des auditeurs adultes de divers environnements linguistiques. Lisker et Abramson (1970) ont constaté que des adultes anglophones percevaient les stimuli à -60, -20 et 20 ms VOT comme la syllabe /ba/ et les stimuli à +60 ms VOT comme un /pa/. En revanche, des auditeurs hispanophones percevaient ces mêmes stimuli à -60 et -20 ms VOT comme un /ba/ et les stimuli à +20 et +60 ms VOT comme un /pa/ (Abramson et Lisker, 1972). La comparaison de leurs résultats à ceux d'auditeurs adultes les a non seulement conforté dans leur conclusion que les bébés pouvaient percevoir une frontière phonétique, mais ils ont constaté que la perception de bébés hispanophones n'était pas identique à celle d'auditeurs adultes également hispanophones, ces derniers posant une frontière phonémique entre -20 et +20 ms VOT (Abramson et Lisker, 1972). Cette conclusion est soutenue par les conclusions d'une étude de Streeter (1976) avec des enfants kikuyu¹⁸, qui se sont avérés capables de discriminer deux types d'oppositions voisée / non voisée et non voisée / aspirée, alors que ce dernier contraste n'est pas pertinent dans leur langue.

Eilers, Gavin & Wilson (1979) ont émis l'hypothèse qu'une large expérience avec la langue pouvait être un pré requis pour la discrimination des contrastes de VOT. Les auteurs ont basé leurs arguments sur des résultats de discrimination de VOT ([ba] [pa]) obtenus avec des enfants de 6 mois d'un milieu anglophone, grâce à une procédure de Head Turning¹⁹ (HT) visuellement renforcée. Ils n'ont pas été en mesure de confirmer la discrimination de l'opposition voisée / non voisée chez les nourrissons anglophones, mais ont constaté que des enfants d'un environnement linguistique hispanophone discriminaient ces deux types de contrastes. Il faut rappeler que les locuteurs adultes hispanophones ne disposent pas de 2 frontières de voisement entre les catégories voisée / non voisée / aspirée. A partir de ces constatations, Eilers et al. ont conclu que la distinction voisée / aspirée disposait de propriétés acoustiques spéciales qui la rendraient facilement discriminable pour des nourrissons en dépit de leur

¹⁸ Langue kenyane

¹⁹ HT : Head Turning. Les enfants sont encouragés à tourner leur tête quand ils détectent un changement dans la stimulation auditive. Elle requiert un conditionnement préalable de l'enfant qui doit apprendre à tourner la tête dans une direction précise lorsqu'il perçoit un stimulus donné. A l'inverse des procédures HAS et CRM, cette technique permet de tester la capacité d'un enfant à discriminer des stimuli, mais également sa capacité à les identifier.

environnement linguistique, alors que la perception de l'opposition voisée / non voisée ne se développerait que si les nourrissons disposent de celui-ci dans leur environnement linguistique.

Mais les conclusions de Eilers et al. ne concordent pas avec les résultats déjà obtenus sur les mécanismes fondamentaux à la discrimination des différences de VOT par des nourrissons. Aslin, Pisoni, Hennessy et Perey (1981) ont suggéré que l'étude de Eilers et al. (1979) posait de nombreux problèmes méthodologiques, comme un trop faible nombre d'épreuves, menant à une sous-estimation des capacités des bébés anglais à discriminer l'opposition voisée / non voisée. Pour appuyer leur affirmation, une expérience leur a permis de constater que les deux oppositions étaient discriminées chez des bébés de milieu anglophone de 6 mois (Aslin et al., 1981). Ils ont employé une variante du paradigme de 'Head Turning'. Aslin et al. ont d'abord entraîné les enfants à répondre à une opposition entre les deux extrêmes du continuum : un des extrêmes servait de son de référence et l'autre était le stimulus de changement. Dès que le nourrisson détectait correctement une différence dans deux épreuves successives, la différence de VOT entre les deux stimuli était diminuée de 20 ms. En revanche, lorsque l'enfant échouait, la différence était augmentée de 20 ms. En procédant de cette façon, Aslin et al. pouvaient ainsi obtenir une estimation de l'endroit où les bébés échouaient dans leur discrimination. Ces résultats ont permis de suggérer l'existence de deux frontières sur le continuum de VOT, et plus précisément que les bébés de 6 mois d'un milieu linguistique anglophone étaient sensibles aux trois catégories de voisement.

Les études avec des nourrissons de trois environnements linguistiques différents (anglais, espagnol et kikuyu), en mettant en évidence des régions à haute sensibilité pour les différences de VOT, suggère par là que les distinctions de voisement et d'aspiration ont une composante innée et que le pattern de perception dans la prime enfance est universel. Des preuves de prédispositions phonétiques n'ont pas seulement été retrouvées pour le voisement, mais également pour des traits phonétiques variés tel que le lieu d'articulation (Williams et Bush, 1978), le mode d'articulation (Eimas et Miller, 1980), ou les voyelles (Werker et Polka, 1993). Cependant, ces études renseignent peu sur les processus qui modifient cette perception non native, sur l'incidence potentielle de la perception des sons non natifs dans la perception adulte, ou

sur le rôle que joue l'expérience linguistique spécifique sur la perception de ces contrastes. Ainsi différentes études ont tenté de répondre à la question cruciale de l'agencement entre les traits universels mis en évidence chez les nouveaux-nés, et les traits phonologiques propres à la langue maternelle d'un individu.

3.4.2 Epoque de la perte de la capacité perceptive des sons non natifs

L'étude de Werker et Tees (1984a) est une étude clé dans la connaissance de l'époque à laquelle la perception de la parole non maternelle est affectée par les influences spécifiques de la langue maternelle. Afin de déterminer précisément à quel moment les capacités de perception de la parole du nourrisson commençaient à ressembler à celles d'un adulte de la même communauté linguistique, des enfants anglophones entre 6 et 8 mois et entre 10 et 12 mois ont été comparés sur leur performance de discrimination de contrastes de langues étrangères. Werker et Tees ont mis en évidence des changements dans la perception de contrastes non natifs aux alentours de 10 / 12 mois dans une étude transversale et une étude longitudinale (Werker et Tees, 1984a). Leur étude longitudinale a révélé que des nourrissons anglophones entre 10 et 12 mois ne parvenaient plus à distinguer les phonèmes Hindi /ṭa/ /ta/²⁰ et Thompson²¹ /kɪ/ vs /qɪ/²², tout comme des adultes anglophones, alors que ces mêmes enfants parvenaient à les différencier sans difficultés entre 6 et 8 mois. La performance des enfants entre 8 et 10 mois était intermédiaire : la moitié des enfants était capable de discriminer les contrastes phonétiques non natifs (Figure 19). Ces résultats suggèrent que les enfants entre 6 et 8 mois discriminaient les sons en fonction de frontières naturelles, tandis que les enfants entre 10 et 12 mois se tenaient aux frontières pertinentes dans leur langue. Werker et Lalonde (1988) ont montré que ces effets persistaient lors de l'utilisation de stimuli synthétiques plutôt que naturels.

²⁰ Opposition d'occlusives non aspirées rétroflexe vs dentale

²¹ Langue Indienne parlée dans le sud de la Colombie Britannique

²² Opposition de l'occlusive vélaire glottalisée vs l'occlusive uvulaire glottalisée

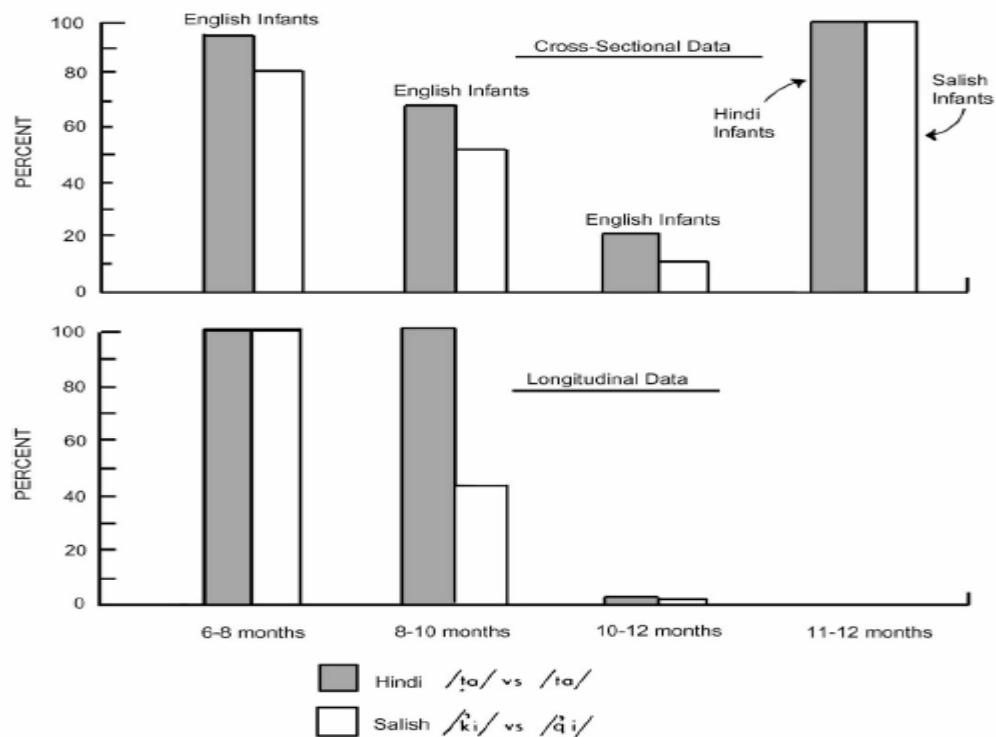


Figure 19 Discrimination de contrastes hindi et salish chez des enfants de différents environnements linguistiques (anglais, hindi et salish). A l'inverse des nourrissons Salish et Hindi, les nourrissons anglophones, pour qui les oppositions n'ont pas de pertinence phonologique dans leur langue maternelle, ne les discriminent plus à partir de l'âge de 10 mois alors qu'ils les percevaient à un âge précoce (Werker et Tees, 2002).

Les capacités initiales à percevoir l'ensemble des distinctions phonétiques déclinent donc en l'absence d'expérience linguistique appropriée au cours de la première année de la vie. Il semble que ce soit davantage un changement dans les stratégies de traitement, plutôt qu'une perte neurale. En effet, Werker et Tees (1984b) ont constaté la perception d'oppositions non natives dans certaines conditions chez des adultes (voir également Williams, 1977). Werker et Tees concluent qu'il existerait 2 niveaux de traitement : un niveau phonétique se rapportant aux frontières perceptives naturelles, et un niveau phonémique correspondant aux frontières présentes dans la langue maternelle (Werker et Tees, 1984b).

On comprend aisément qu'une capacité à percevoir les sons de la parole en catégories phonétiques facilite le processus d'acquisition du langage. En effet, cette capacité prédisposerait les nourrissons à segmenter les sons selon les catégories disposant d'une potentialité fonctionnelle dans différentes langues, surtout la perte sélective des oppositions non pertinentes en accord avec la phonologie spécifique à la langue du nourrisson apprenant facilite l'acquisition du lexique. Ce n'est certainement pas par

hasard que le déclin, ou ‘l’harmonisation’, survienne juste avant la période à laquelle l’enfant commence à comprendre et à produire les premiers mots de sa langue maternelle.

Mais Best, Mc Roberts & Sithole (1988) ont mis en évidence une perception particulière de certains contrastes non natifs. Ils ont montré que des nourrissons anglophones de 14 mois, comme des adultes anglophones, étaient capables de discriminer un contraste de click apical / latéral [!] [II] utilisé en zoulou. Ces résultats suggèrent que cette paire particulière de phonèmes peut ne pas avoir été affectée par une réorganisation imposée par le système phonologique de la langue maternelle, étant donné que ces phonèmes ne ressemblent à aucun autre utilisé en anglais²³. De tels contrastes peuvent être traités par des mécanismes différents, voire par des indices acoustiques généraux. De même, une étude ultérieure de Best (1995) a démontré que de jeunes enfants entre 10 et 12 mois étaient capables de discriminer des clicks, alors que ces mêmes enfants échouaient dans la discrimination du contraste Nthlakampx /k̤/ vs /q̤/, pour lequel Werker avait constaté un déclin perceptif aux alentours de 10 mois.

Les résultats de Werker et de Best, pour ne citer qu’eux, sont complémentaires. En effet, les résultats obtenus suggèrent que les bébés sont capables de percevoir des sons non natifs et cette capacité perceptive semble donc dépendre de la nature des oppositions : les oppositions ‘éloignées’ du système phonologique du bébé (par exemple, les clicks) seront facilement discriminables, à l’inverse d’oppositions assimilables à des catégories existantes dans la langue maternelle du bébé. De ces résultats ressort une diversité de points de vue sur la manière dont se façonne la perception de la parole au cours de la première année de la vie, ou sur l’implication de la perception du nourrisson dans la perception adulte. Ainsi, nous pouvons observer différentes théories et modélisations selon les résultats obtenus. Néanmoins toutes les recherches s’accordent sur le fait que le jeune enfant perçoit une grande variété d’oppositions de parole, et que cette perception est contrainte par l’environnement

²³ Les clicks, du fait de leur production très particulière, ne peuvent pas être considérés comme des allophones d’une catégorie. C’est pour cela que, même si une distinction apicale-latérale ([d-l]) apparaît en anglais, les clicks tombent complètement en dehors de toute expérience allophonique.

linguistique dans lequel évolue l'enfant. C'est dans la manière et la nature de la perte de perception de ces oppositions que ces théories s'affrontent.

3.4.3 Nature du changement de la capacité perceptive au cours du développement : Modèles et Résultats

3.4.3.1 Le rôle de l'expérience linguistique dans le développement de la perception des sons natifs et non natifs

Jusqu'à l'étude de Burnham, Earnshaw et Clark (1991), il était difficile d'obtenir des résultats d'identification avec des nourrissons. Un des intérêts de l'étude de Burnham et al. (1991) est qu'elle a consisté à analyser la perception catégorielle de sons natifs et non natifs avec une procédure équivalente pour toutes les populations étudiées. Burnham introduit ici la procédure ISI²⁴ (Infant Speech Identification).

La première expérience de cette étude portait sur l'évolution de la perception catégorielle en fonction du développement du sujet. Il disposait de quatre groupes de sujets (des bébés entre 9 et 11 mois, des enfants de 2 et 6 ans, et des adultes) auxquels étaient présentés les mêmes contrastes natifs et non natifs dans une procédure d'identification, mais chaque sujet n'était confronté qu'à un des deux contrastes.

Le continuum utilisé contenait une occlusive bilabiale accompagnée de la voyelle [a:] et différait en VOT. Les points extrêmes du continuum natif étaient représentés par les stimuli [pa:] et [p^ha:] (respectivement 0 et +70 ms VOT) ; quant à [ba:] et [pa:] (- 70 et 0 ms respectivement) évoquaient les extrêmes du continuum non natif. Il convient de rappeler que les deux types de contraste présents dans l'étude de Burnham se situaient sur les frontières perceptives naturelles (pour un rappel de la localisation des frontières, voir Figure 17). L'opposition [pa:] et [p^ha:] coïncide avec l'opposition /b/ vs /p/ phonologiquement pertinente en anglais, alors que l'opposition voisée / non voisée n'a pas de pertinence phonologique dans cette langue. Les auditeurs anglophones perçoivent [b] et [p] comme un seul et même phonème [b], à l'inverse des auditeurs de

²⁴ ISI : les nourrissons étaient entraînés à tourner la tête vers la gauche ou vers la droite pour chacun des extrêmes du continuum, avec un renforcement par l'illumination et l'activation de jouets. Puis les nourrissons étaient confrontés à des épreuves non renforcées avec des sons du continuum. La procédure a été adaptée pour les enfants et les adultes en remplaçant la technique du Head Turning par un ordinateur sur lequel les sujets devaient appuyer sur un des deux boutons de couleurs pour donner leur réponse.

certaines langues (par exemple, le thaï ou le hindi) qui perçoivent soit l'opposition [ba:] vs [pa:] et [pa:] vs [p^ha:], ou les auditeurs hispanophones ou francophones qui perçoivent l'opposition [ba:] vs [pa:] de manière catégorielle. Si l'expérience linguistique spécifique influence la perception catégorielle, celle-ci devrait se refléter en des évolutions développementales différentes selon le type de contraste, natif et non natif. Deux types de mesure ont été prises : la frontière catégorielle et le degré de précision de la fonction d'identification (le score catégoriel).

Les résultats de la première expérience, en ce qui concerne la comparaison de la localisation de la frontière chez les 4 groupes de sujets (bébés, 2 et 6 ans, adultes), suggèrent qu'il n'y a pas de réalignement de la frontière non voisée / aspirée : quel que soit l'âge des sujets, la localisation de la frontière est identique (la frontière se situe aux alentours de 30 ms VOT). Cette absence de variation développementale de la localisation de la frontière pourrait être la conséquence de la naturalité de cette opposition, l'expérience linguistique ne l'ayant pas modifiée en raison de la proche correspondance que la frontière phonologique et la frontière naturelle entretiennent. Mais cette coïncidence entre la frontière naturelle et la frontière phonologique n'apparaît pas toujours de manière aussi cohérente pour d'autres oppositions (Lasky et al, 1975 ; Pisoni, 1977 ; Kulh, 1978). En ce qui concerne la frontière voisée / non voisée, cette frontière n'ayant pas de pertinence phonologique en anglais, les sujets ont posé leur frontière à l'endroit même où se situe la frontière naturelle. Ces résultats suggèrent que la frontière naturelle est restée discriminable et que les sujets ont été sensibles à cette frontière non native.

Lorsque Burnham s'est intéressé au degré de précision de la frontière (le score catégoriel), il a remarqué que l'identification devenait de plus en plus catégorielle en fonction de l'âge des sujets, mais également en fonction du type d'opposition. L'opposition native²⁵ était mieux identifiée que le contraste non natif²⁶ pour tous les groupes de sujets. A l'inverse du contraste natif, pour lequel il est apparu une forte amélioration développementale, le contraste non natif était catégorisé de manière très différente selon les âges : les nourrissons présentaient une courbe d'identification aléatoire (mais ils ont fait preuve des mêmes performances pour

²⁵ L'opposition native se situe dans la région positive du continuum VOT

²⁶ L'opposition non native se situe dans la région négative du continuum VOT

l'opposition native), les scores catégoriels s'améliorant entre la petite enfance et l'enfance pré linguistique (2 ans), pour tomber au niveau du hasard à l'âge où le langage est largement acquis (6 ans). A l'âge adulte, les scores ont regagné le niveau qu'ils avaient à 2 ans. Il est important de noter que la principale atténuation des scores catégoriels non natifs est survenue à l'époque où les scores catégoriels natifs s'amélioreraient nettement (Figure 20 a et b).

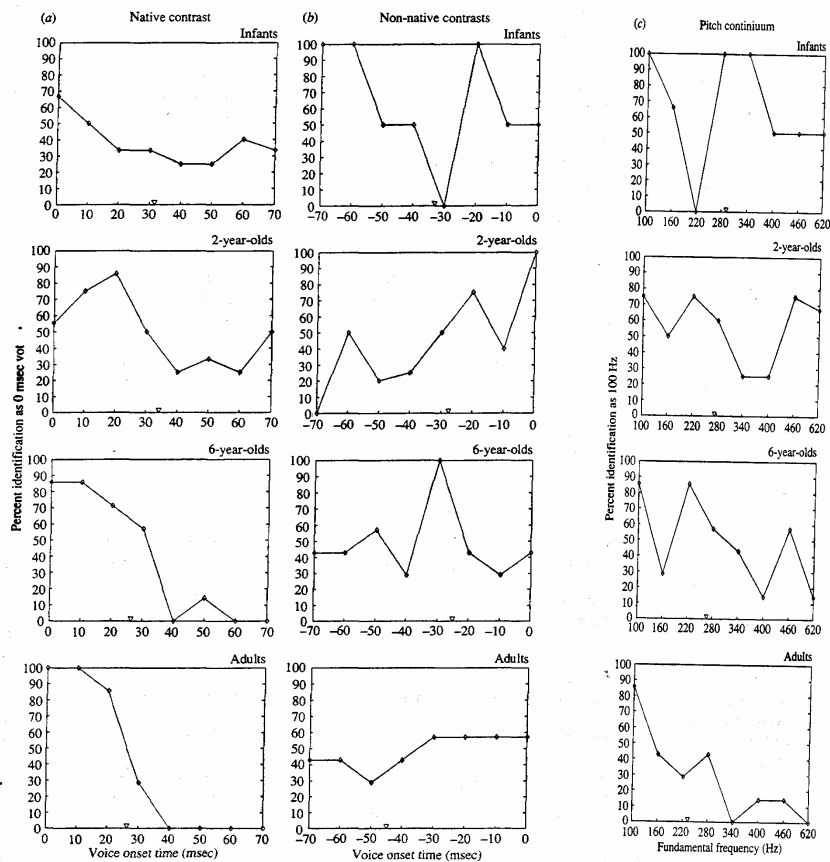


Figure 20 Fonctions d'identification et moyenne des frontières (indiquée par les flèches sur l'axe des abscisses) chez les nourrissons, les enfants de 2 et 6 ans, et les adultes sur les contrastes de VOT phonémique (gauche) et non phonémique (milieu), et de pitch (droite) (tirés de Burnham et al, 1991)

Mais les résultats obtenus sur la perception des oppositions natives et non natives ont soulevé deux problèmes d'interprétation particuliers. Le premier concernait l'évolution développementale similaire des scores catégoriels pour les oppositions natives et non natives (c'est-à-dire une meilleure perception des deux types d'opposition, Figure 21) entre la petite enfance et l'âge de 2 ans. Cette évolution pourrait être le résultat d'une amélioration de l'acuité auditive générale, ou bien d'une amélioration spécifique aux

sons de la parole. En effet, il est peu probable que l'expérience linguistique soit la seule cause de la meilleure catégorisation du contraste natif, étant donné que les nourrissons, qui ne disposent pas d'une grande expérience linguistique, étaient meilleurs dans la perception de l'opposition native que de l'opposition non native. Par conséquent, cette capacité accrue à identifier l'opposition native obtenue ici pourrait être basée sur un phénomène psychoacoustique plutôt que linguistique. Néanmoins, selon Burnham, l'évolution des scores catégoriels pour les oppositions natives et non natives était due à des changements développementaux.

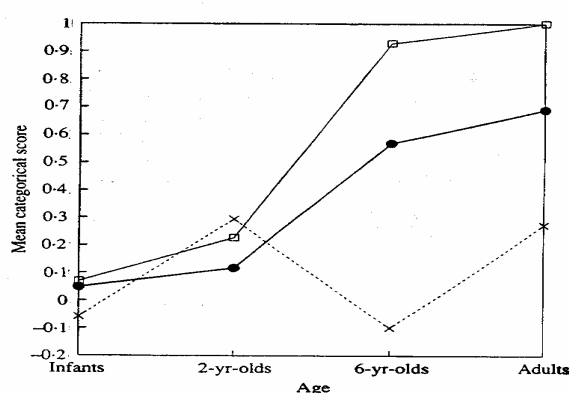


Figure 21 Scores catégoriels à chaque âge pour les oppositions natives (ligne continue, carré blanc) et non natives (ligne continue, carré noir), ainsi que pour le pitch (ligne pointillée) (Burnham et al., 1991)

Le second problème résidait dans l'incapacité à savoir si la différence de capacité avec les contrastes natifs et non natifs entre 2 et 6 ans était due à la facilitation des contrastes natifs grâce à une expérience linguistique spécifique, ou à l'inhibition des contrastes non natifs en raison d'un manque d'expérience linguistique pertinente, ou enfin en raison de ces deux facteurs. Aussi, afin de mieux comprendre ces premiers résultats, Burnham a conduit une seconde expérience avec un continuum acoustique de non parole. L'utilisation d'un continuum de non parole (en l'occurrence d'un continuum de pitch) avait pour but de fournir une mesure de base de la perception de sons que des sujets ne peuvent pas catégoriser, mais qu'ils peuvent néanmoins classer de façon dichotomique. Les populations et la procédure étaient identiques à la première expérience.

Les résultats ont dévoilé une capacité à identifier les sons du continuum de pitch (Figure 20c), suggérant une évolution linéaire de la capacité auditive d'identification en

fonction de l'âge. Les capacités d'identification de l'opposition native et du pitch se sont avérées similaires : ces deux continua étaient mieux catégorisés par les sujets les plus âgés. Dès lors, il semble que l'identification d'une opposition native peut également être influencée par des améliorations dans les capacités d'identification auditives. Néanmoins, en dépit de ces similarités dans la maturation linguistique, l'opposition native était tout de même mieux identifiée que le continuum de pitch. En revanche, la tendance développementale du continuum de pitch et de l'opposition native était réellement différente de celle l'opposition non native. Cet avantage à percevoir l'opposition native, comparativement au continuum de pitch et surtout à l'opposition non native, et ce, à tous les âges, suggère que la perception de cette opposition est facilitée au-delà du développement auditif normal, soulignant le rôle crucial de l'expérience linguistique.

Ces résultats peuvent être expliqués en termes d'influences développementales distinctes :

- une amélioration de la capacité d'identification auditive en fonction de l'âge. L'amélioration générale de la capacité auditive peut également expliquer la similarité de l'évolution de la capacité d'identification des trois continua entre la petite enfance et l'âge de 2 ans.

- la facilitation de la capacité d'identification de la parole en fonction d'une expérience linguistique générale. Dans la mesure où il apparaît un léger avantage vers l'âge de 2 ans pour les contrastes de parole, autant natifs que non natifs, il est possible que l'expérience linguistique générale joue un rôle au-delà de l'amélioration auditive générale.

- et une modulation sélective de la capacité d'identification en fonction d'une expérience linguistique spécifique, facilitant la prise en compte du contraste natif et inhibant celle du contraste non natif. C'est entre 2 et 6 ans que cette expérience linguistique spécifique semble connaître son effet majeur: à cette époque, les capacités de catégorisation des contrastes natifs et celles des tons s'améliorent, alors que la perception des oppositions non natives se détériore. Ce constat semble soutenir l'hypothèse d'une facilitation de la perception des oppositions natives et d'une inhibition sélective de la perception des oppositions non natives.

Malgré des résultats incohérents avec les conclusions d'études antérieures portant sur la discrimination (Eimas, 1971 ; Aslin et al., 1981), les résultats de Burnham fournissent des éclaircissements sur le développement de la perception de la parole. En accord avec les conclusions de Eimas, les mécanismes fondamentaux à la perception catégorielle sont présents à la naissance, et en accord avec ses propres résultats, ces capacités initiales sont structurées par l'expérience linguistique spécifique. Les nourrissons naîtraient avec une capacité de discriminabilité accrue aux alentours de la frontière aspirée / non aspirée (Eimas) et voisée / non voisée (Aslin), et ces frontières perceptives naturelles se renforceraient ou s'atténueraient selon l'environnement linguistique de l'individu.

L'époque à laquelle se déroule la réorganisation développementale est particulièrement intéressante, et les résultats de Burnham indiquent des réorganisations plus claires que celles observées par Werker et Tees (1984a). Dans l'étude de Burnham, c'est entre la petite enfance et l'âge de 2 ans que l'identification des oppositions natives et non natives s'est améliorée, alors que c'est entre 2 ans et 6 ans que la perception de l'opposition native s'est améliorée alors que la perception de l'opposition non native s'est fortement dégradée. De plus, la résurgence partielle de la capacité à percevoir l'opposition non native par des adultes suggère que l'incapacité à l'identifier à l'âge de 6 ans résulte au moins en partie d'une cause attentionnelle (Werker, Gilbert, Humphrey et Tees, 1981). Il est alors possible que le développement des compétences lexicales détourne l'attention des enfants de la perception d'oppositions non natives perçues précédemment. Cette hypothèse est cohérente avec l'idée que l'expérience linguistique est efficace uniquement lorsque les enfants commencent à attacher du sens aux mots (Jusczyk, 1980). Enfin, autour de 6 ans, l'apprentissage de la lecture doit probablement contribuer à des modifications du système phonologique.

Cependant, il semble que cette assertion n'est pas vraie pour toutes les oppositions : si la perception de certains contrastes est modifiée par la langue environnante entre 6 mois et 1 an, comme c'est le cas par exemple pour l'opposition /f/-/θ/, dont la perception est facilitée par l'exposition (Eilers et al, 1977), la perception des oppositions /t̥/ vs /t̄/ et

/k/ vs /ç/ est atténuée par le manque d'exposition (Werker et al., 1981). Dès lors, il semble qu'il faille considérer l'exposition linguistique dans la petite enfance et l'expérience linguistique aux alentours de 6 ans comme des phénomènes de nature différente. Ainsi, Burnham fait le postulat du continuum fragile / robuste (modèle RAF) afin de réconcilier cette apparente contradiction entre l'effet d'exposition précoce et expérience tardive.

3.4.3.2 Modèle RAF 'Fragile-Robuste' : Hypothèse et Résultats (Burnham, 1986)

Cette théorie stipule que les contrastes non natifs varient selon une dimension perceptive « fragile - robuste » (RAF ; Burnham, 1986). Cette dichotomie s'articule autour des notions d'universalité des sons et de saillance acoustique. Les travaux de Stevens et Keyser (1989) ont permis de théoriser la saillance relative des sons de la parole dans un cadre phonétique : une combinaison particulière de traits articulatoires dans un son de parole détermine sa saillance perceptive. Certaines combinaisons légalles de traits résultent en une plus grande saillance perceptive. Sur la base de ces lois, Stevens et Keyser ont prédit la saillance perceptive relative des sons de la parole, et ce avec succès, dans la mesure où la saillance perceptive est évaluée par l'universalité des sons de la parole grâce au répertoire de Maddieson (UPSID, 1984).

Selon Burnham, les oppositions dites robustes sont présentes dans de nombreuses langues du monde, ou tendent à devenir des allophones dans les langues où elles ne sont pas phonologiquement pertinentes. Ces oppositions disposent également d'une base psychoacoustique forte et se trouvent être résistantes aux effets d'exposition linguistique précoce. On peut par exemple citer les oppositions de voisement, ces dernières étant fortement représentées dans les langues du monde (Lisker et Abramson, 1964), et fournissant un indice psychoacoustique temporel fort pour leur discrimination. Du fait que prévoisement n'est pas phonologiquement pertinent en anglais, il est disponible phonétiquement. Bien que les auditeurs anglais ne puissent pas faire la différence entre /d^h-t^h/, Burnham fait l'hypothèse que l'exposition au voisement dans d'autres contextes maintient cette capacité à percevoir n'importe quelle opposition de voisement.

Quant aux oppositions fragiles, elles sont peu représentées dans les langues, et interviennent rarement comme allophones dans les langues où elles ne sont pas phonologiquement pertinentes. De plus, elles disposent d'une base acoustique moins claire, et sont plus susceptibles d'être modifiées ou perdues en fonction d'une expérience linguistique précoce.

Burnham stipule qu'il y a deux époques principales auxquelles se déroule la perte perceptive : la première se situerait entre 6 et 12 mois, et la seconde entre 4 et 8 ans (Burnham, 1986). Le moment de la perte perceptive semble se définir en termes de saillance psychoacoustique (c'est-à-dire en termes de fragilité ou robustesse de l'opposition). Par exemple, l'opposition /r/-/r/, qui est très peu représentée dans les langues du monde (seulement 2 langues selon l'UPSID), n'est certainement pas psychoacoustiquement saillante, et, si l'exposition ne se fait pas dans les premiers mois de la vie, la perception de cette opposition sera perdue très précocement. Eilers et al. (1982) avaient constaté que cette opposition était perdue avant l'âge de 6 mois si elle n'était pas phonologiquement pertinente dans la langue du nourrisson (Eilers et al., 1982). Pour les oppositions perdues dans la seconde période, entre 4 et 8 ans, il semble que la perte soit due à 'l'expérience' avec certaines oppositions et le manque d'expérience avec d'autres. Cette expérience dirigerait leur attention vers les sons de parole et les différences pertinentes pour leur langue, et la capacité à traiter phonétiquement les oppositions de parole non pertinentes s'atténuerait. Ces oppositions 'atténuées' peuvent d'ailleurs être perçues de nouveau après de brefs périodes d'entraînements par des adultes (Werker et Tees, 1984b), les sujets abandonnant le traitement phonémique pour accéder à un niveau de codage phonétique.

Le problème avec les prédictions issues du modèle fragile - robuste réside dans la difficulté à déterminer le niveau de saillance acoustique d'une opposition donnée (Best et al., 1988 ; Polka, 2001). Définir les concepts de fragilité et de robustesse en termes de rareté et de saillance psychoacoustique peut se révéler problématique, et certaines conclusions sont incohérentes avec les prédictions de ce modèle.

Ainsi, les contrastes consonantiques de click, par exemple, sont non seulement peu représentés dans les langues, mais ils ont également une saillance diverse : alors que les propriétés acoustiques de certains clicks sont considérées comme assez saillantes (clicks

palataux, alvéolaires et latéraux), d'autres le sont moins (click dental) ou même très faibles (click bilabial). D'une manière plus critique encore, les contrastes de lieu d'articulation semblent posséder une très faible saillance acoustique, comparativement aux contrastes de voisement ou de mode (Miller et Nicely, 1995). Dès lors, les oppositions de click de lieu d'articulation devraient être fragiles. Malgré tout, dans l'expérience de Best (1988), les enfants anglophones ont su discriminer les clicks isiZulu dental vs latéral, opposé par le lieu d'articulation, et ce avec une certaine aisance et au-delà de la première année, comme l'ont fait des adultes anglophones. Force est de constater qu'aucun affaiblissement développemental pour la perception de ce contraste n'a eu lieu.

L'étude de Polka (2001) rapporte des résultats identiques. Le contraste [ð] vs [d]²⁷ est rare. Mais alors que [ð] dispose d'une faible saillance acoustique, [d] est robuste, et le contraste de mode occlusif vs fricatif est fortement saillant. Qui plus est, ce contraste engage une différence de lieu, ce qui semble améliorer la saillance perceptive. Aussi l'opposition [ð] / [d] semble relativement robuste en termes psychoacoustiques, mais fragile en termes de rareté. Dans l'expérience de Polka, des nourrissons anglophones (pour qui est l'opposition est pertinente) et francophones (pour qui l'opposition n'est pas pertinente) se sont révélés de faibles discriminateurs de ce contraste, et la performance perceptive es bébés de 6-8 mois et de 10-12 mois était semblable à celle d'adultes francophones (ces derniers présentaient de faibles scores de discrimination). En revanche, la performance de discrimination d'adultes anglophones atteignait des scores plafonds. Il est apparu que la discrimination s'améliorait avec l'âge si l'opposition [ð] / [d] était contrastive dans la langue maternelle (en anglais en l'occurrence), et même parfois après 12 mois. Ce contraste qui semblait robuste sur le plan acoustique ([ð] / [d]) s'est donc avéré difficile à discriminer pour les bébés, et aucun des groupes linguistiques n'a été affecté par une dégradation de la capacité perceptive de discrimination durant la première année, comme le prédit le modèle de Burnham.

²⁷ Opposition d'une fricative interdentale vs une occlusive alvéolaire

3.4.3.3 Modèle PAM 'Perceptual Assimilation Model' : Hypothèse et Résultats (Best, 2003)

Le modèle d'assimilation perceptive (PAM 'Perceptual Assimilation Model') prédit les variations dans la perception d'oppositions appartenant ou pas à la langue native (Best, 1994 a et b, 1995 ; Best et al., 1988). C'est d'après les résultats de l'étude sur la perception des clicks isiZulu, dans laquelle elle a constaté une grande variété de performances pour la perception de différentes oppositions non natives, que Best a développé ce modèle d'assimilation perceptive.

Le principe central de ce modèle consiste à analyser la tendance qu'ont les auditeurs matures à assimiler les phonèmes non natifs aux phonèmes natifs. S'il y a peu de différence entre un phonème natif et un phonème non natif, le phonème non natif peut alors être perçu comme un élément pouvant se situer entre deux catégories phonémiques natives. Plus rarement, un phonème non natif peut être si différent de tous les autres éléments du système natif, qu'il ne sera alors pas entendu comme un élément phonologique, et sera perçu comme un son totalement étranger (contraste non assimilable).

Le PAM suppose donc que la discriminabilité d'une distinction non native dépendra de la manière dont l'auditeur assimilera les phonèmes en opposition. Ce modèle propose 3 types d'assimilation :

- L'assimilation SC, « single category » : les consonnes non natives qui sont assimilées et considérées comme représentantes d'une seule consonne native seront faiblement discriminées.
- L'assimilation TC, « two category » : chacune des consonnes (ou voyelles) de la distinction non native seront assimilées à une consonne (ou voyelle) différente dans la langue native, et connaîtront une discrimination plafond.
- L'assimilation CG, « category goodness in assimilation » : les phonèmes non natifs en opposition seront partiellement assimilés à un même phonème de la langue native. Cependant ils afficheront un degré de similarité différent du phonème natif, ce qui les rendra discriminables.

Les performances de discrimination devraient alors suivre ce patron : TC > CG > SC.

Cette prédiction s'est révélée confirmée dans une étude portant sur la perception de trois contrastes consonantiques isiZulu chez des adultes américains anglophones (Best et al., 2001).

Après avoir constaté l'inégalité de la perception face à différentes oppositions non natives chez des locuteurs adultes, Best a voulu examiner si le développement perceptif des nourrissons variait selon les contrastes non natifs, et a adapté son modèle au développement perceptif précoce, en faisant l'hypothèse qu'il existerait différentes étapes dans le développement perceptif précoce. Best a également combiné ses prédictions avec l'hypothèse de la similarité perceptive, hypothèse se basant sur la manière dont les gestes articulatoires composent le signal de parole. Ainsi, les nourrissons, dans les 6 premiers mois, détecteraient les oppositions articulatoires simples de la parole native et non native (comme la différence d'articulation labiale). Par la suite, aux environs de 10-12 mois, les jeunes enfants commenceraient à reconnaître les patterns articulatoires propres à leur langue, en raison d'un apprentissage perceptif, qualifié 'd'harmonisation' ('attunement'). Cependant, ce changement n'engagerait pas réellement une reconnaissance de l'information phonologique. Ainsi les distinctions non natives impliquant un même organe devrait être plus difficiles à discriminer que des distinctions non natives impliquant deux articulateurs, et leur perception déclinerait plus rapidement.

Ces hypothèses ont été testées dans une étude avec des nourrissons entre 6 et 8 mois et entre 10 et 12 mois (Best & McRoberts, 2003). Lors de la première expérience, les enfants étaient confrontés aux contrastes de stimuli isiZulu²⁸ [ɬ]-[ɮ]²⁹, [k^ha]-[ka]³⁰, et [pu]-[βu]³¹. Les nourrissons entre 6 et 8 mois ont discriminé tous les contrastes, à l'inverse des 10-12 mois qui ont échoué dans la discrimination de toutes les oppositions. Il faut rappeler que, lors de l'utilisation de ces stimuli avec des adultes (Best, 2001), l'opposition bilabiale [pu]-[βu] avait été faiblement discriminée (assimilation SC), l'opposition vélaire vs éjective [k^ha]-[ka] bien discriminée (assimilation CG), et

²⁸ Langue Kenyane

²⁹ Opposition de fricatives latérales voisée vs non voisée

³⁰ Opposition d'occlusives vélaire aspirée non voisée vs éjective

³¹ Opposition d'occlusives bilabiales plosive vs non plosive

l'opposition fricative [ɬ]-[ɮ]³² très bien discriminée (assimilation TC). Les adultes ont, semble-t-il, traité les contrastes en s'appuyant sur la phonologie propre à leur langue. Ainsi, au vu des résultats obtenus avec des adultes, les données recueillies avec les nourrissons sont cohérentes avec les hypothèses du PAM et de la théorie de la similarité perceptive : les nourrissons les plus âgés se sont habitués aux gestes articulatoires de leur langue maternelle, sans pour autant s'attacher aux principes phonologiques de leur langue. C'est pourquoi ils n'ont pas été capables de discriminer les oppositions non natives. En revanche, les nourrissons de 6-8 mois ont basé leur discrimination sur des distinctions articulatoires simples et ont pu ainsi distinguer toutes les oppositions non natives présentées. La perception d'oppositions non natives produites par le même articulateur ayant échoué chez les enfants de 10-12 mois, Best et al. ont voulu une nouvelle fois vérifier la perception des non natifs chez ces enfants. Cette fois-ci, Best a intégré une opposition de lieu d'articulation du Triginya³³ [p']-[t']³⁴, opposition caractérisée par l'utilisation d'un articulateur différent pour chaque phonème, et que des adultes anglophones avaient assimilé dans le schéma TC. En plus des contrastes déjà présentés, les nourrissons devaient également discriminer la distinction [s]-[z], produite par un même articulateur mais disponible dans leur langue maternelle. Les nourrissons entre 6 et 8 mois ont, une nouvelle fois, discriminé sans difficulté toutes les oppositions présentées. En revanche, les nourrissons entre 10 et 12 mois, qui ont discriminé l'opposition [p']-[t'] aussi bien que les nourrissons plus jeunes, ont exhibé des performances bien inférieures dans la discrimination des oppositions [ɬ]-[ɮ] et [s]-[z], alors que cette dernière opposition est native. Conformément aux hypothèses du modèle PAM, il semble que l'opposition [p']-[t'] du Triginya dispose d'une forte probabilité de discrimination chez les nourrissons les plus âgés en raison de l'utilisation de deux articulateurs différents.

Il semble donc qu'il faille penser en termes de gestes articulatoires, et non pas seulement en termes de traitement de l'information acoustique et de pertinence phonologique pour comprendre le développement précoce de la perception de la parole.

³² Ce contraste se retrouve en anglais, se transcrivant en une opposition [s] [z] phonologiquement pertinente.

³³ Langue éthiopienne

³⁴ Opposition d'occlusives non voisées bilabiale vs alvéolaire, mettant en jeu l'articulation des lèvres ou des alvéoles

3.4.3.4 Le modèle d'aimant perceptif NLM 'Native Language Magnet' : Hypothèse et Résultats (Kuhl, 1991)

La notion de prototype est au centre de la théorie des aimants perceptifs (NLM 'Native Language Magnet') proposée par Kuhl, et défend l'hypothèse selon laquelle tous les membres d'une catégorie ne sont pas perçus par l'auditeur comme étant équivalents. Selon Kuhl, les 'bons exemplaires', ou prototypes, jouent un rôle central dans la structuration perceptive de l'espace phonétique, dans la mesure où c'est à partir de ces prototypes, qui exercent un effet d'attraction perceptive sur les sons qui les entourent, que s'opère la catégorisation des sons de la parole (Figure 22).

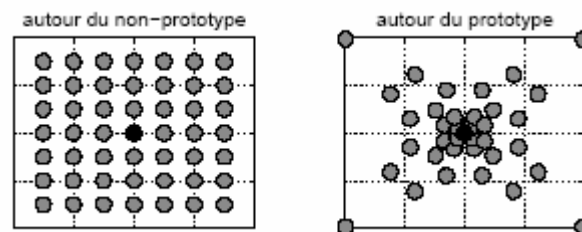


Figure 22 Représentation schématique des distances perçues autour d'une voyelle non prototype ou prototype (le prototype est en noir)

Pour une voyelle placée dans le voisinage du prototype associé à / i / dans l'espace vocalique, Kuhl a montré que l'auditeur a tendance à l'assimiler perceptivement au prototype. En d'autres termes, l'auditeur perçoit plus difficilement les différences entre voyelles dans le voisinage du prototype, qu'à la périphérie de la catégorie. Dans l'effet d'aimant perceptif, ce n'est pas tant la mise en relief des différences de part et d'autre d'une frontière catégorielle qui détermine la discriminabilité perceptive, mais plutôt la réduction des différences au centre de la catégorie. La perception d'une frontière entre catégories est alors attribuée au simple fait que les sons situés à mi chemin entre deux prototypes échappent à l'attraction des prototypes.

Ainsi, les prototypes agissent comme des aimants perceptifs pour les éléments acoustiquement similaires de la même catégorie phonétique, ce qui rend ces éléments plus difficiles à distinguer des prototypes. En revanche, les membres non prototypiques de la catégorie (c'est-à-dire les mauvais exemplaires, mais également les phonèmes non natifs) ne peuvent se réaliser en aimant perceptif. De plus, la discrimination des

éléments acoustiquement similaires est meilleure autour des non prototypes et des phonèmes non natifs (étant donné que la généralisation perceptive est faible) qu'autour des prototypes.

Les études développementales, en usant de mesures comportementales, ont démontré que les nourrissons entre 6 et 12 mois exhibaient des sensibilités perceptives spécifiques à la langue pour des unités phonétiques, avant que les mots ne soient acquis. Ainsi, dans une étude portant sur des voyelles anglaises et suédoises présentées à des nourrissons âgés de 6 mois de ces deux environnements linguistiques, Kuhl (1992) avait démontré que la localisation des prototypes était déterminée par l'expérience linguistique précoce. Lors de cette étude, les nourrissons ont été entraînés soit à la voyelle anglaise prototypique / i /, soit à la voyelle suédoise prototypique / y /, et ces voyelles ont été présentées avec des voyelles environnantes lors de la phase de déshabituement. Les anglophones ne disposent pas de la voyelle / y / dans leur inventaire phonémique, et réciproquement les suédois placent la voyelle / i / différemment dans l'espace vocalique. Les résultats étaient différents selon l'environnement linguistique des nourrissons : les nourrissons anglophones ont eu plus de difficultés à discriminer les voyelles aux alentours de / i / que celles autour de / y /, alors que les nourrissons suédois ont montré le patron de performances inverse (Figure 23).

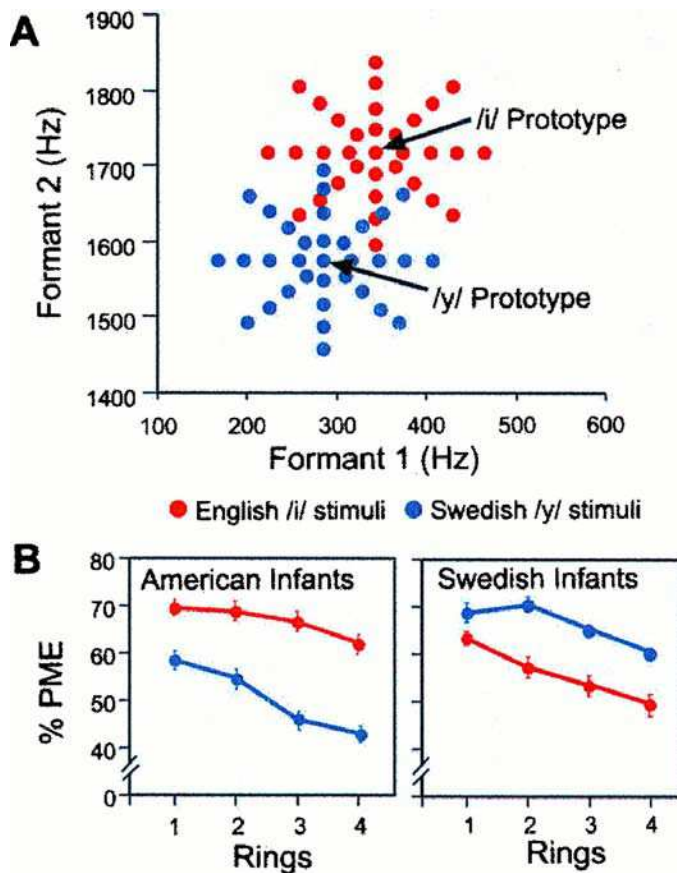


Figure 23 Un prototype de chaque voyelle était inclus, ainsi que 32 variants de chaque voyelle. Figure droite : Effet de l'expérience linguistique sur la perception de la parole chez de jeunes enfants américains anglophones et suédois. Kuhl constate un fort effet d'aimant perceptif par la voyelle prototypique de la langue native des sujets, pas pour la voyelle prototypique de la langue étrangère (Kuhl, 1992).

Ces résultats apportent donc des preuves quant à l'effet de la langue maternelle sur la perception des voyelles, phénomène qui n'avait été jusqu'alors constaté que pour des consonnes. Les changements dans le traitement perceptif, causés par l'expérience linguistique, peuvent se renforcer car l'exposition à la langue maternelle pourrait altérer la manière dont les sons de la parole seront perçus ultérieurement. Ainsi, une perte de la sensibilité perceptive pour les oppositions phonémiques non natives peut être difficile à contrecarrer à l'âge adulte, les capacités de résolution perceptive pouvant se réduire.

Iverson, Kuhl, Akahane, Diesch, Tohkura, Kettermann, & Siebert (2003) ont cherché à comprendre de quelle manière l'expérience linguistique pouvait altérer les bas niveaux de traitement tout en empêchant de façon permanente l'acquisition des phonèmes non natifs à l'âge adulte. L'expérience consistait en la présentation de l'opposition anglaise /r/ vs /l/ à des auditeurs appartenant à trois communautés linguistiques distinctes : des auditeurs japonais, dont on connaît la difficulté d'acquisition de ces consonnes ; des

auditeurs germanophones, qui n'éprouvent aucune difficulté avec ce contraste phonétique, mais ne disposent pas du phonème ressemblant au /r/ anglais dans leur langue ; enfin, des auditeurs américains anglophones, pour lesquels ces phonèmes sont disponibles dans leur langue maternelle. Ces stimuli, qui variaient dans leur valeur de fréquence des deuxième et troisième formants, ont été présentés dans différentes tâches perceptives : discrimination AX, identification, jugement de bonne qualité³⁵ et de similarité³⁶. Une échelle multidimensionnelle a été utilisée pour cartographier l'espace perceptif de ces phonèmes. Les résultats ont été analysés afin d'évaluer la manière dont les espaces perceptifs du /r/ et /l/ anglais étaient modifiés par l'exposition à la langue native, et permettaient ainsi d'émettre des hypothèses quant à la façon dont ces espaces perceptifs pouvaient affecter l'acquisition de l'opposition anglaise.

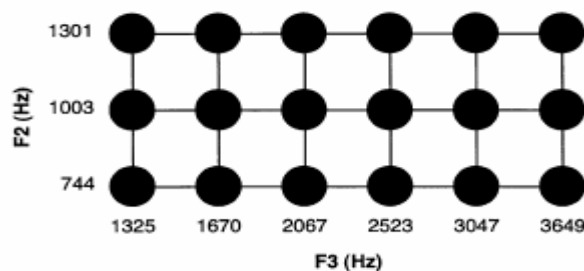
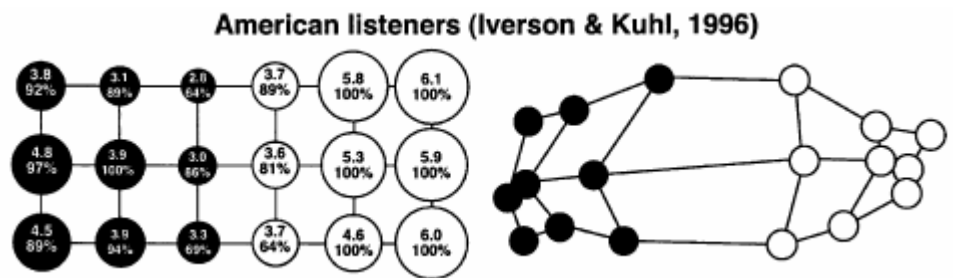


Figure 24 Fréquences des formants des stimuli anglais /ra/ et /la/, utilisés dans l'étude de Iverson et Kuhl (1996). Les stimuli variaient dans les F2 et F3 de la consonne initiale.

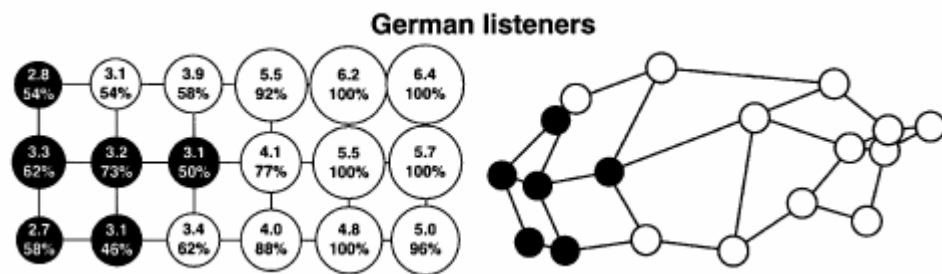
(1 a & b)

³⁵ La tâche consiste à attribuer au stimuli une valeur sur une échelle de quantité : est ce que le stimulus est un bon ou un mauvais exemplaire de la catégorie phonémique présentée ? Les sujets disposent d'une échelle de valeurs en 7 points, allant de « mauvais » à « bon ».

³⁶ Les participants ont pour but d'évaluer le degré de similarité des stimuli à l'intérieur d'une même paire. Ils disposent également d'une échelle de valeur en 7 points, allant de « similaire » à « dissimilaire »



(2 a & b)



(3 a & b)

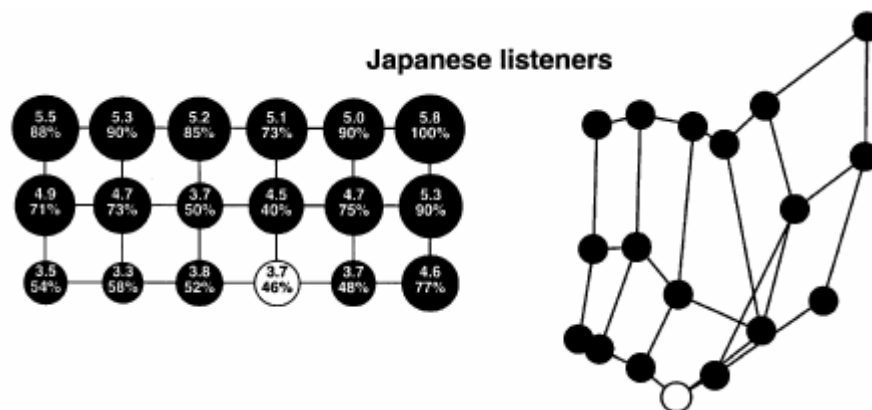


Figure 25 Performances d'identification des auditeurs adultes Américains (1), Allemands (2) et Japonais (3) sur le continuum /r-/l/. Les résultats sont présentés sous la forme d'un graphique représentant la qualité de l'identification (a) : la taille des cercles indique l'estimation de la qualité du stimulus (plus le cercle est large plus le stimulus est considéré comme représentatif de sa catégorie) et la couleur (noir ou blanc) indique quelle catégorie phonétique a été le plus fréquemment choisie selon la langue native de l'auditeur (noir pour le /r/ en japonais, allemand et anglais ; blanc pour le /l/ en allemand et anglais, /w/ pour le japonais). Les nombres à l'intérieur des cercles indiquent les taux de qualité moyens et le pourcentage d'identification de la catégorie phonétique prédominante. Les résultats sont également sous la forme d'une échelle multidimensionnelle (b), représentation géométrique de la proportion moyenne de jugement de similarité pour les stimuli : les lignes entre les stimuli reflètent la proximité de la définition acoustique des stimuli, et la longueur des lignes reflète les sensibilités perceptives face à ces différences (les stimuli perceptivement similaires sont voisins, les stimuli ne se ressemblant pas au niveau perceptif sont éloignés) (Iverson, Kuhl et al., 2003)

Les auteurs ont remarqué que l'expérience linguistique affectait les espaces perceptifs de ces stimuli. Les tâches d'identification et de jugement de qualité ont fourni des

indices sur l'origine de ces différences perceptives. En effet, les auditeurs américains (Figure 25.1) ont été plus sensibles aux différences de F3 (Figure 24 pour les valeurs des F2 et F3), leur permettant de distinguer le / r / du / l / (avec un déploiement de l'espace perceptif au milieu de la dimension du F3), et étaient moins sensibles aux différences acoustiques parmi les meilleurs exemplaires de ces catégories phonétiques. Au contraire, les auditeurs japonais (Figure 25.3) montraient une plus grande sensibilité à la variation de F2, cette sensibilité se transcrivant en une absence d'extension de l'espace perceptif au niveau de la dimension du F3. Les adultes japonais ont donc assimilé ces stimuli comme le / r / disponible dans leur langue, mais l'ampleur de cette assimilation variait en fonction de la fréquence du F2. Il est possible que cette grande sensibilité au F2 puisse être causée par un phénomène d'assimilation perceptive (Best, 1995), et non par un effet d'aimant perceptif, aucun des phonèmes présentés dans la présente expérience ne se définissant comme bon exemplaire de la catégorie phonémique japonaise. Enfin, les auditeurs allemands (Figure 25.2) présentent un patron d'espace perceptif relativement similaire à celui des anglophones, avec un élargissement de l'espace perceptif dans le milieu de la zone de F3, et une contraction de cet espace aux alentours des valeurs les plus hautes et les plus basses de F3. Les allemands ont donc entendu ces stimuli comme de bons exemplaires de leur catégorie / l /, et comme de mauvais exemplaires de leur catégorie fricative uvulaire. Leur frontière catégorielle est moins précise que celle des américains, accompagnée d'un même élargissement de l'espace perceptif dans la dimension de F3, mettant en évidence un effet d'aimant perceptif pour le / l / allemand.

Les résultats de la tâche de discrimination (Figure 26) étaient cohérents avec les résultats précédents. Les américains ont un pic de discrimination à la frontière phonémique. Les japonais ont dévoilé une discriminabilité accrue lors de l'augmentation de F3, mais n'ont montré aucune sensibilité à la frontière phonémique. Enfin, les allemands présentaient le même type de performance que les américains, avec toutefois une sensibilité accrue à l'intérieur de la catégorie phonémique / r /.

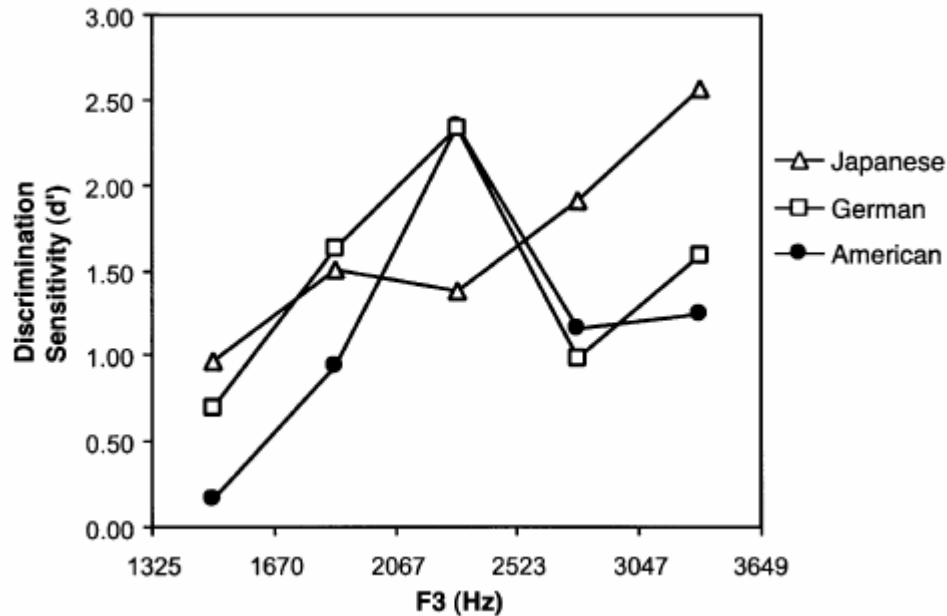


Figure 26 Performances de discrimination du continuum /r/ /l/ chez les auditeurs adultes Japonais, Américains et Allemands (Iverson, Kuhl et al., 2003)

Les espaces perceptifs semblent donc interférer avec l'acquisition de la langue native. Les adultes japonais semblent enclins à avoir des représentations de catégorie erronées pour /r/ et /l/ en se basant sur des indices acoustiques comme le F2, qui est saillant au niveau perceptif, mais peu solide pour la catégorisation. De plus, les résultats des allemands sont compatibles avec l'interprétation des résultats des japonais. Les allemands ne présentaient pas de difficultés avec les stimuli anglophones étant donné que leurs sensibilités perceptives, bien que légèrement différentes de celles des américains, n'interfèrent pas avec l'apprentissage de cette catégorisation. Ces auditeurs considèrent ces différences acoustiques critiques pour la catégorisation de cette opposition /r/ /l/ plus saillantes que non pertinentes, ce qui facilite l'apprentissage de la catégorie.

3.4.3.5 Les couplages entre prédispositions phonétiques (Serniclaes et al., 2004)

Les études cherchant à modéliser le développement de la perception catégorielle font souvent référence à un processus de sélection à la fin de la première année de la vie. Or il semble que ce soit davantage une restructuration de l'espace perceptif qui se déroule plutôt qu'une sélection des sons phonologiquement pertinents dans la langue de

l'auditeur. En témoignent les résultats par exemple de Lasky et al. (1975) sur la perception de sujets hispanophones. En effet, les nourrissons hispanophones percevaient les frontières perceptives naturelles, et les adultes présentaient une frontière phonémique aux alentours de 0 ms VOT. Ainsi, Serniclaes a émis l'hypothèse que les frontières phonémiques d'un auditeur résulteraient d'un couplage des prédispositions phonétiques (Serniclaes et al, 1987). Les couplages ont l'intérêt fonctionnel évident de générer des traits plus invariants, mais ces traits étant irréductibles à ceux mis en évidence au niveau phonétique. Les traits issus du couplage sont donc spécifiques à la langue, et donc de nature phonologique.

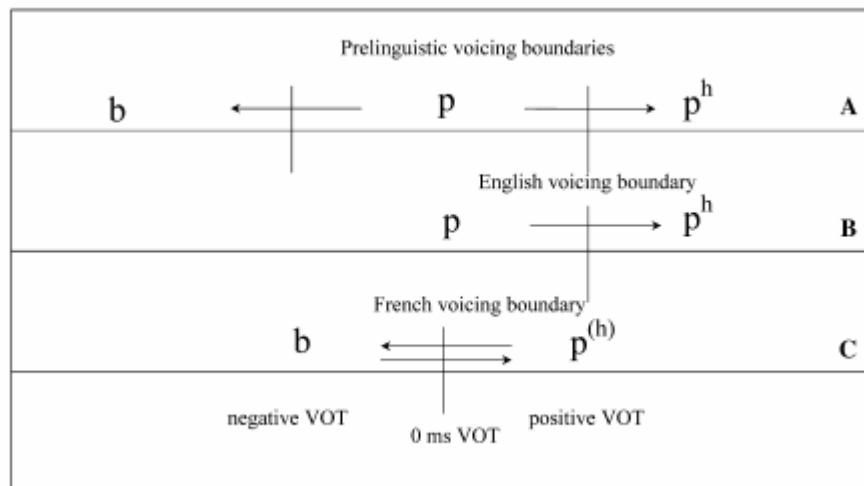


Figure 27 Les frontières perceptives entre les catégories de voisement : chez le nourrisson (A), chez l'adulte en anglais (B), et chez l'adulte en français (C). Les frontières prélinguistiques correspondent aux prédispositions à percevoir toutes les catégories de sons chez les nourrissons (indiqué par les flèches). En anglais, une frontière naturelle est activée et correspond parfaitement à une frontière phonologiquement pertinente entre la catégorie non voisée non aspirée et la catégorie non voisée aspirée. En français, on observe le couplage de deux prédispositions générant une opposition entre les occlusives voisées et les occlusives voisées légèrement aspirées (tiré de Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré & Sprenger-Charolles, 2004a)

Ainsi, les couplages seraient différents selon les langues. En anglais (Figure 27.b), la frontière phonémique ne résulte pas d'un couplage : elle se situe à l'endroit de la frontière naturelle entre les catégories voisée et non voisée aspirée. La seconde frontière naturelle, entre les catégories voisée et non voisée, a été désactivée et n'a pas de pertinence phonologique dans la langue. En thaï, langue dans laquelle on peut observer 3 catégories de voisement à fonction distinctive, les frontières phonémiques coïncident avec les frontières phonétiques (Figure 27.a). En français, le couplage des

prédispositions phonétiques entre les traits de voisement et d'aspiration se traduit par une émergence d'une frontière phonémique aux alentours de 0 ms VOT (Figure 27.c). Le fait que la frontière se situe aux alentours de 0 ms signifie que les VOT positif et négatif sont aussi importants pour le processus d'identification, et que les prédispositions catégorielles pour la perception du VOT positif et négatif sont non seulement activées mais également couplées lors du développement. Afin d'activer certaines prédispositions, le système perceptif se doit d'identifier un certain nombre de catégories indépendantes pour chaque trait dans la langue maternelle du nourrisson. Les catégories qui ne sont pas phonémiques dans une langue, mais encore présentes en tant qu'allophones, pourraient engendrer ce processus. Par exemple, en anglais, les occlusives voisées sont présentes en tant qu'allophones des occlusives non voisées non aspirées (en position initiale) (Lisker et Abramson, 1967), et la désactivation de la frontière de VOT négatif empêcherait le système perceptif d'établir une pertinence phonologique entre ces deux catégories. De façon similaire, les occlusives non voisées non aspirées en français sont présentes en tant qu'allophones contextuels des catégories voisées ou non voisées non aspirées (Serniclaes, 1987), et le couplage entre ces prédispositions ne pourra s'exécuter que si les occlusives non voisées non aspirées sont reconnues comme des réalisations contextuelles de l'une des deux catégories phonémiques disponibles en français.

Il convient de nommer ce phénomène 'perception allophonique' et non 'perception phonétique'. La perception allophonique implique une sensibilité aux traits présents de manière allophonique dans la langue maternelle. Les distinctions phonétiques qui seraient totalement absentes dans la langue native ne seraient alors pas préservées dans le répertoire phonologique.

Comprendre la parole avec des catégories allophoniques plutôt que phonémiques n'entraînerait pas de problèmes majeurs. L'accès au lexique est concevable avec les représentations allophoniques, bien que cela soit plus coûteux en termes de traitement de l'information. La situation est différente pour le traitement du langage écrit, qui requiert des représentations phonémiques bien spécifiées. Un enfant qui perçoit des allophones à la place de phonèmes (/b/, /p/ et /p^h/ dans une langue où seuls /b/ et /p^h/ sont phonémiques) aura des difficultés pour faire correspondre à un même symbole écrit

(‘p’) des sons qui appartiennent à des catégories différentes dans son langage oral (/p/ et /p^h/). Cette perception allophonique pourrait entraver l’apprentissage de la lecture, même si les systèmes orthographiques sont transparents.

3.4.4 La perception chez l’enfant

Les études sur la perception de la parole des enfants suggèrent donc que les capacités de discrimination phonétique sont hautement sophistiquées même à un âge précoce, et que ces capacités semblent exister avant l’exposition à la langue maternelle. Cette capacité perceptive catégorielle impose une catégorisation phonétique du langage parlé, et les catégories phonologiques se façonneraient au cours du développement langagier. Plusieurs études ont mis en lumière une tendance développementale de la catégorisation plus tardive. A titre d’exemple, Nittrouer et Miller (1997) ont démontré que les enfants de sept ans catégorisaient les stimuli d’une façon comparable à celle des adultes, à l’inverse des enfants de quatre ans. Les propriétés acoustiques de chaque catégorie phonétique, ainsi que le poids de ces propriétés semble devenir d’une meilleure définition avec l’âge, tout comme la chaîne de sons acceptés comme la réalisation de chaque catégorie (Flege, 1992).

Hazan et Barrett (2000) ont examiné le développement de la catégorisation de l’âge de 6 ans à l’âge adulte. Des enfants entre 6 et 12 ans et des adultes (d’environ 30 ans) ont été sélectionnés pour cette étude. Quatre paires de stimuli ont été choisies : deux contrastes occlusifs /k-/g/ et /d-/g/, ainsi que deux contrastes fricatifs /s-/z/ et /s-/ʃ/. Les paires minimales étaient des monosyllabiques, appartenant au vocabulaire de toutes les tranches d’âge (les paires minimales étaient les suivantes : “goat – coat” /g-/k/, “date – gate” /d-/g/, “sue – zoo” /s-/z/, “sue – shoe” /s-/ʃ/).

Par l’examen des pentes d’identification obtenues, les auteurs ont pu constaté que la catégorisation phonémique était plus développée chez les adultes que chez les enfants. En effet, il est apparu une progression dans la cohérence de la catégorisation phonémique entre 6 et 12 ans, et cette progression s’est également manifestée dans la comparaison des performances des enfants de 12 ans à celles des adultes. De plus, la

pende de la fonction d'identification des enfants était plus raide pour les contrastes /d/-/g/ et /g/-/k/ que pour les contrastes fricatifs.

L'étude avait également pour objectif d'observer si la catégorisation dépendait du nombre d'indices acoustiques présents pour signaler une opposition phonémique. Les enfants se sont montrés bien plus compétents dans l'identification de stimuli à indices combinés, et moins capables que les adultes d'orienter leur attention sur des indices isolés d'importance mineure. Les enfants ont donc montré un manque de flexibilité dans leurs stratégies perceptives. Ce manque de flexibilité pourrait avoir un impact sur les capacités de perception de la parole. Ces résultats corroborent l'hypothèse de Nittrouer, Manning & Meyer (1993) selon laquelle il y a un effet de la maturation et de l'expérience linguistique dans l'apprentissage des stratégies de pondération optimale des indices pour un contraste phonémique particulier dans un contexte donné.

Dès lors, il semble évident que le développement joue un rôle important dans la capacité de catégorisation. En effet, les auteurs ont mis en lumière une meilleure catégorisation phonémique chez les auditeurs d'un âge avancé. De plus, le type de contraste influence fortement l'aptitude à catégoriser. En effet, les contrastes acquis les plus précocement paraissent plus facilement identifiables pour les jeunes auditeurs. Il semble donc que les frontières phonémiques se définissent plus précisément durant la deuxième décennie d'un individu. Cette capacité s'améliorant jusqu'à l'âge adulte en termes de précision. En effet, les enfants n'égalent pas les performances des adultes dans la catégorisation de stimuli lorsque l'information acoustique est limitée. De plus, ils démontrent ainsi un manque de flexibilité de leur stratégie perceptive.

En ce qui concerne la perception des sons non natifs, Werker a constaté que les performances d'enfants âgés de 4, 8 et 12 ans étaient aussi pauvres que celles d'adultes en termes de performance discriminative (Werker et Tees, 1983), montrant un déclin manifeste dans la capacité de perception aux alentours de 4 ans.

L'étude de Burnham (1991) rapporte le même patron de résultats. Les enfants testés à l'âge de 6 ans n'ont pas été capables de discriminer des contrastes non natifs : à cet âge, les enfants ont acquis pleinement leur langue maternelle, et sont sensibles aux sons de leur langue. Cette non discriminabilité des oppositions non natives reflète la 'priorité' des enfants à distinguer les sons de la langue maternelle. Burnham a également conduit

une étude sur la discrimination de deux oppositions de voisement phonémiques en thaï avec des enfants anglo-australiens au début de l'apprentissage de la lecture (Burnham, 2002). Dans le système scolaire australien, les parents peuvent choisir l'âge du début de l'apprentissage de la lecture pour leurs enfants. Il a constaté que la perception d'un contraste non natif dépendait de l'âge et du niveau de lecture : en effet, la discriminabilité d'une paire allophonique était plus forte chez les enfants les plus jeunes, mais également chez les enfants qui ont appris à lire tard (comparativement à des enfants de même âge chronologique). Ce résultat est digne d'intérêt car il résume parfaitement les relations existant entre la perception de la parole et l'apprentissage de la lecture.

Ce type de résultats nous conduit à examiner des études portant sur les capacités de perception de la parole chez des enfants en fonction de leur niveau de lecture, et plus particulièrement chez des enfants dyslexiques. En effet, comme nous l'avons déjà vu, la lecture et les capacités phonologiques chez les dyslexiques sont fortement handicapées. Une des hypothèses concernant l'origine de ces déficiences stipulait un déficit dans la perception de la parole. Le chapitre suivant est consacré à l'examen de ces études.

4 Le déficit de perception catégorielle et la dyslexie

Nous avons vu que les dyslexiques présentaient des difficultés dans la mise en correspondance des graphèmes avec les phonèmes, cette association étant une condition sine qua non d'un apprentissage efficace de la lecture (Share, 1995). Il se pourrait que ce phénomène résulte d'une perception de la parole déficitaire. En effet, des représentations phonologiques altérées des sons de la langue peuvent entraver la mise en place de ces correspondances. Pour mieux connaître la nature des relations entre la perception catégorielle de la parole et la lecture (et ses pathologies), de nombreuses études ont évalué les capacités d'identification et de discrimination des phonèmes chez des normolecteurs comparativement à des dyslexiques.

4.1 Conscience phonologique et PC (PrC) : une relation forte

A la suite de plusieurs études qui avaient constaté des différences dans la perception de la parole entre des normolecteurs et des dyslexiques (Godfrey, Syrdal-Lasky, Millay & Knox, 1981 ; Werker et Tees, 1987 ; Reed, 1989 ; McBride-Chang, 1995a), Manis, McBride-Chang, Seidenberg, Keating, Doi, Munson & Petersen (1997) ont comparé les capacités phonologiques et perceptives de normolecteurs et de dyslexiques.

Trois groupes de sujets ont participé à cette étude : des dyslexiques (DYS, âge chronologique moyen : 13,3 ans), un groupe contrôle de même âge chronologique (AC, âge moyen : 12 ans), et un groupe contrôle de même âge lexicale (AL, âge lexicale moyen : 8,5 ans). Ces enfants ont été soumis à des tests de conscience phonologique³⁷, ainsi qu'à une tâche d'identification³⁸ catégorielle d'un continuum de VOT « bath » / « path ».

L'épreuve d'identification phonémique montre que les fonctions d'identification sont relativement régulières : les trois groupes de sujets (DYS, AC et AL) placent la frontière phonémique aux alentours de 20 ms VOT, frontière qui correspond aux valeurs VOT de leur langue (anglaise, en l'occurrence) (Figure 28). Toutefois, si les DYS ont dévoilé

³⁷ Les enfants devaient tout d'abord répéter un non mot prononcé par l'expérimentateur, puis ce dernier prononçait un phonème spécifique du non mot, et les enfants devaient produire le phonème antérieur ou postérieur au phonème prononcé précédemment.

³⁸ Une tâche d'identification a été utilisée en raison de sa faible charge en mémoire

une fonction d'identification significativement moins nette que les AC, la différence avec les AL n'apparaît pas significative.

Dans le test de conscience phonémique, les DYS présentaient des performances plus faibles que celles des AC, et leurs performances comparativement aux AL étaient différentes, mais cette différence n'était pas significative.

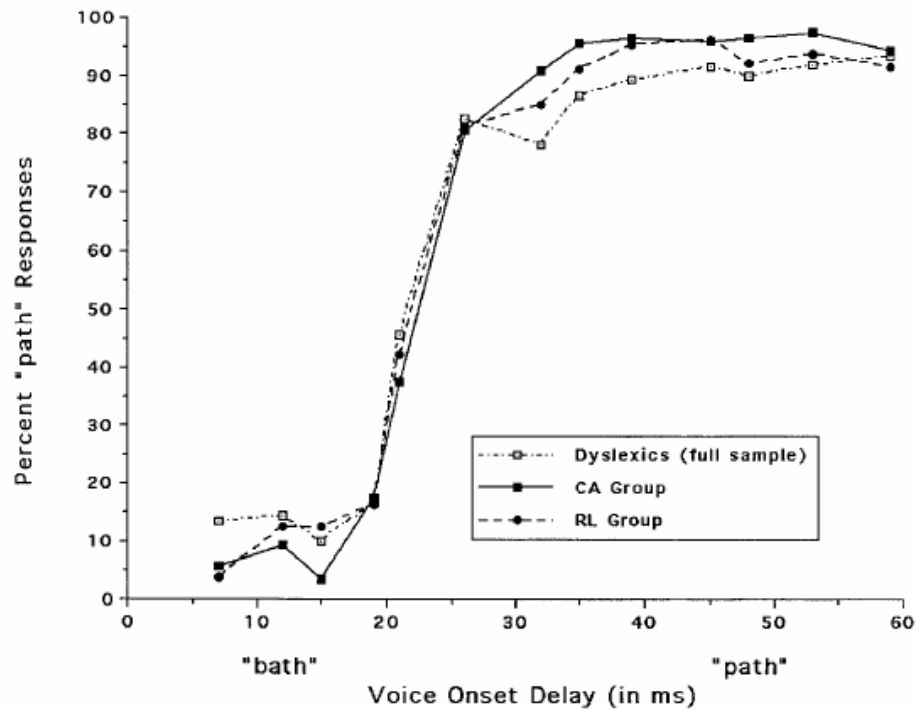


Figure 28 Fonctions d'identification des dyslexiques, contrôles âge chronologique et contrôles âge lexique du continuum « bath » / « path » (Manis et al., 1997)

Toutefois une grande variabilité est apparue dans le groupe de dyslexiques. En effet, 50 % des dyslexiques ont montré des scores de conscience phonémique s'apparentant à ceux des AC, et l'autre moitié avait des performances nettement inférieures à ce même groupe. En fonction des scores respectifs au test de conscience phonémique, les dyslexiques ont été divisés en sous groupes : un groupe à « faible conscience phonémique » (FCP) et un groupe à « haute conscience phonémique » (HCP). Les dyslexiques qui présentaient un plus grand déficit de conscience phonémique (FCP) ont eu davantage de difficulté avec les extrêmes de continuum, alors qu'aucune différence n'était constatée entre les HCP et les deux groupes de normolecteurs (AC et AL). Toutefois les 4 groupes (AC, AL, FCP et HCP) ont montré des frontières catégorielles similaires, aux alentours de 20 ms VOT. Le faible nombre de dyslexiques échouant aux

tâches de conscience phonologique et d'identification est très certainement la cause de cette absence de différence dans les capacités de précision catégorielle : seuls 7 dyslexiques sur 25 ont montré des fonctions d'identification déviantes, et la majorité des dyslexiques avec une faible pente d'identification faisait partie du groupe à faible conscience phonémique. Il convient de noter l'étonnante capacité des dyslexiques de cette étude dans les tâches perceptives et phonologiques comparativement à certaines populations de dyslexiques testés dans d'autres études : l'âge (13 ans) et la rééducation avancée de ces sujets pourraient expliquer leurs performances phonologiques. De plus, la nature de la tâche (l'identification requérant une faible charge mémorielle) peut permettre de comprendre les scores obtenus par une large proportion de dyslexiques. Cette étude a permis de constater une nouvelle fois des différences de perception de la parole entre normolecteurs et dyslexiques. Elle a également permis de mettre en relief que les capacités de perception de la parole semblent fortement associées aux capacités de segmentation phonémique.

4.2 Déficit dans le codage phonologique

Blomert et Mitterer (2003) ont comparé les performances de dyslexiques et normolecteurs avec de la parole synthétique, mais également de la parole naturelle. Ils voulaient répliquer le déficit de perception catégorielle avec des stimuli comparables à ceux de Reed (1989), et généraliser ce déficit avec un continuum de parole naturelle. Deux continua ont été générés : un continuum de parole naturelle [ta-ka] et un de parole synthétique [ba-da] et présentés dans une tâche d'identification.

S'il n'apparaît pas de différence significative entre les groupes sur le continuum de parole naturelle /ta-ka/ (Figure 29a), le déficit de PC des dyslexiques est confirmé lors de la présentation du continuum synthétique /ba-da/, principalement sur les stimuli extrêmes (Figure 29b). En effet, les dyslexiques n'ont pas été capables d'adapter les stimuli synthétiques aux catégories phonologiques dont ils disposent, contrairement aux contrôles d'âge chronologique. L'absence de différence de groupe sur le continuum naturel pourrait être la conséquence de la plus grande difficulté à traiter ce continuum, en raison des indices résiduels indiquant le lieu d'articulation.

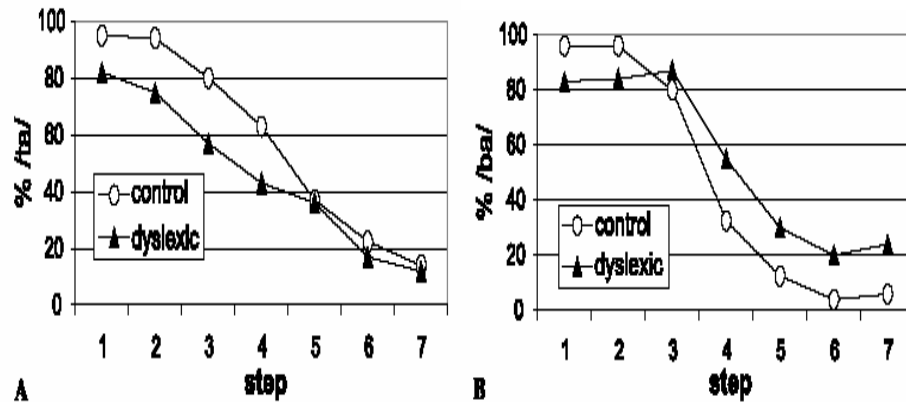


Figure 29 Fonctions d'identification des dyslexiques et des normolecteurs sur le continuum [ta] [ka] de parole naturelle (A) et sur le continuum [ba] [da] de parole synthétique (B) (Blomert et Mitterer, 2003)

Ces résultats contredisent une nouvelle fois l'hypothèse d'un déficit auditif, étant donné que c'est le continuum naturel, qui a été le plus difficile à percevoir, n'était pas celui qui rapportait les différences entre groupes. Mais les différences constatées sur le continuum synthétiques entre les dyslexiques et les contrôles mènent les auteurs à faire l'hypothèse d'un déficit de codage phonologique chez les dyslexiques.

4.3 Déficit de lecture et déficit de PC (PCR, PrC et EFP)

L'étude de Godfrey et al (1981) est une des premières études qui s'est attachée à évaluer les capacités d'identification et de discrimination d'enfants dyslexiques (qui ont été classés en sous groupe 'dysphonétiques' et 'dyséidétiques'³⁹) et normolecteurs et leur rapport avec les déficits de lecture. Pour ce faire, il a utilisé deux continua de stimuli synthétiques de lieu d'articulation [ba-da] et [da-ga].

Les enfants dyslexiques différaient des enfants contrôles dans toutes les tâches perceptives. Cependant, aucune différence entre les performances des dyslexiques 'dysphonétique' et 'dyséidétique' n'était visible.

Dans les tâches d'identification, les enfants dyslexiques ont montré une fonction d'identification moins cohérente, avec une identification hésitante des extrêmes des continua, et un changement plus graduel d'une catégorie phonétique à une autre,

³⁹ Les dysphonétiques produisent des erreurs de nature phonologique et les dyséidétiques des erreurs de nature visuelle.

comparativement aux enfants contrôles. Ces différences sont plus apparentes sur le continuum [da-ga], en raison de son aspect acoustique moins naturel⁴⁰.

Les mêmes patrons de performances ont été obtenus dans les tâches de discrimination. Les enfants dyslexiques, qui ne parvenaient pas à faire la distinction entre les syllabes des différentes catégories aussi bien que les contrôles, exhibaient de faibles pics de discrimination sur les deux continua. De plus, il a été relevé que les dyslexiques présentaient une discrimination intra catégorielle plus haute sur le continuum [da-ga], qui pourrait s'expliquer par le fait que l'opposition [ba-da] repose sur un seul trait phonétique (sur la transition de F3).

Afin de déterminer si le déficit de perception de la parole des dyslexiques était la conséquence de facteurs phonétiques ou auditifs, les enfants ont été soumis à un test avec des stimuli de non parole, ce test engageant les mêmes demandes perceptives que les tests portant sur des stimuli de parole. Il s'est avéré que les performances des dyslexiques étaient similaires à celle des normolecteurs, attestant la nature phonétique du déficit, plutôt qu'auditive.

Ainsi, les résultats de cette étude, révélant des différences de performance entre dyslexiques et normolecteurs, indiquent un déficit de PC spécifique à la parole, qui se manifeste par une moins bonne perception des différences intercatégorielles et une meilleure perception des différences intracatégorielles.

A l'instar de Godfrey, Werker et Tees (1987) ont étudié la réciprocity entre les déficits de lecture et les déficits de perception de la parole. A cette fin, ils ont examiné la performance de normaux et mauvais lecteurs⁴¹ (âgés d'environ 10,5 ans) sur un continuum /ba-da/ dans quatre tâches de perception de la parole (tâche d'identification, tâches de discrimination AX et AXB, détection de changement de catégorie⁴²).

⁴⁰ La différenciation entre [ba] et [da] est portée par les changements de transition de F2 et F3, alors que seul le changement de transition de F3 permet de distinguer [da] de [ga]. L'opposition [ba] [da], marquée par deux indices, est donc plus solide.

⁴¹ Les mauvais lecteurs présentaient au moins 2 ans de retard de lecture ; nous respectons l'appellation « mauvais lecteurs » des auteurs, mais il semble que ces enfants puissent être considérés dyslexiques.

⁴² Tâche de détection de changement de catégorie : on fait entendre aux sujets de façon continue et à intervalle régulier un même stimulus (par exemple /ba 1/). Puis, s'il s'agit de la condition 'changement', un nouveau stimulus, appartenant à une autre catégorie phonémique (/da/ par exemple), est présenté après plusieurs répétitions du stimulus de référence, et le sujet doit indiquer, en pressant sur un bouton d'ordinateur, le moment où il détecte le changement. Lors de la condition 'contrôle', on présente (au moins à 3 reprises) un autre stimulus qui fait partie de la même catégorie phonémique que le stimulus de référence (/ba 2/).

Les résultats ont révélé une pente d'identification plus raide chez les normolecteurs que chez les mauvais lecteurs. Les résultats de la tâche de discrimination AX, ainsi que celle de détection de changement de catégorie, ont également montré que les mauvais lecteurs étaient moins catégoriels que les normolecteurs. En revanche, la tâche de discrimination AXB ne donne pas de résultats car elle semble trop difficile pour les enfants de cet âge, quel que soit leur niveau de lecture. En somme, comme dans l'étude de Godfrey et al. (1981) la perception est apparue moins catégorielle chez les mauvais lecteurs comparativement aux normolecteurs dans 3 des 4 tâches perceptives.

Dès lors, Werker et Tees ont suggéré que ces différences, aussi petites soient elles, seraient liées aux difficultés de lecture. En particulier, ils supposaient que ces difficultés indiquaient une déficience des catégories phonologiques chez les mauvais lecteurs. Ces représentations, qui sont mal établies, empêcheraient la correspondance entre les graphèmes et les phonèmes.

L'hypothèse de la faiblesse des catégories phonologiques énoncée par Werker est similaire à celle de Brady, Shankweiler et Mann (1983). Ces derniers ont comparé la discrimination des sons de parole et de non parole, en condition d'écoute idéale et avec du bruit, chez des bons et mauvais lecteurs. Les résultats ont montré que les mauvais lecteurs pouvaient discriminer des sons de parole et de non parole presque aussi bien que des bons lecteurs dans des conditions d'écoute idéales. De plus, les deux groupes de lecture ont montré des performances bien plus faibles dans des conditions d'écoute dégradées, que ce soit en parole et en non parole. Cependant, les mauvais lecteurs ont davantage souffert du changement de condition d'écoute pour la discrimination des sons de parole. Ce résultat attestait une fois de plus de la faiblesse des catégories phonologiques chez les mauvais lecteurs.

4.4 Le déficit de PC : une discriminabilité accrue

L'étude de Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Démonet (2001) avait pour objectif d'évaluer les relations entre perception catégorielle et dyslexie, ainsi que la nature du déficit de catégorisation, spécifique à la parole ou non. Dans ce but, les réponses d'enfants dyslexiques et normolecteurs lors d'épreuves de discrimination de signaux sinusoïdaux analogues aux sons de la parole ont été comparées. Une des améliorations méthodologiques comparativement à l'étude de Mody et al. (1997) réside dans le fait

que les mêmes stimuli ont été employés pour tester la perception des sons de parole et de non parole.

Si le déficit de perception catégorielle des dyslexiques était spécifique à la parole, une différence avec les normolecteurs ne devrait apparaître que lorsque les stimuli sont perçus comme de la parole (condition ‘sinusoïde-parole’, SP). En revanche, si le déficit dépendait du système auditif, la différence entre les deux groupes devrait également apparaître lorsque les signaux sont perçus comme des sifflements (condition ‘sinusoïde-sinusoïde’, SS). Les performances de discrimination ont été aussi comparées avec des signaux modulés, ces derniers ayant pour caractéristique d’être plus proches de la parole naturelle (condition ‘parole-parole’, PP). Il se pourrait que la perception catégorielle soit présente avec des signaux modulés en basse fréquence pour simuler la F0 (100 Hz), même si elle est absente avec les signaux non modulés car les catégories phonémiques sont plus difficiles à discriminer dans ces derniers. Dès lors, l’apparition d’un pic de discrimination dans la condition parole modulée permettrait d’évaluer les différences de perception catégorielle entre les groupes. Enfin, l’utilisation de diverses conditions de présentation de stimuli a permis d’analyser l’impact des caractéristiques acoustiques du stimulus sur la perception catégorielle des dyslexiques et des normolecteurs.

Des dyslexiques et des normolecteurs de 13 ans ont été sélectionnés pour cette étude. Un test de discrimination leur a été proposé. Les stimuli étaient des signaux analogues sinusoïdaux s’échelonnant sur un continuum /ba-da/. Le test de discrimination s’est déroulé en trois conditions différentes : sinusoïde sinusoïde (SS), sinusoïde parole (SP) et parole parole (PP).

Les résultats sont présents dans les figures 30 a, b, c. Aucune différence entre les groupes n’a été relevée en condition non parole (Figure 30a). L’absence de pic de discrimination intercatégoriel dans la condition SS pour les deux groupes démontre que les stimuli n’étaient pas perçus de façon catégorielle lorsqu’ils étaient présentés comme des sifflements. En revanche, une différence importante apparaissait dans les performances générales de discrimination des DYS dans les 2 conditions parole. En effet, à l’inverse des normolecteurs, ils se montraient meilleurs dans la discrimination de différences acoustiques entre des stimuli appartenant à la même catégorie

phonémique (Figure 30b.c). Cette constatation a ainsi permis d'avancer l'hypothèse que la perception de la parole des dyslexiques était moins catégorielle, principalement en raison d'une meilleure perception des différences intra catégorielles ce phénomène est particulièrement notable dans les conditions où les catégories phonémiques étaient faiblement perceptibles, c'est-à-dire la condition SP (Figure 30.b), et semble donc surtout spécifiques au traitement de la parole.

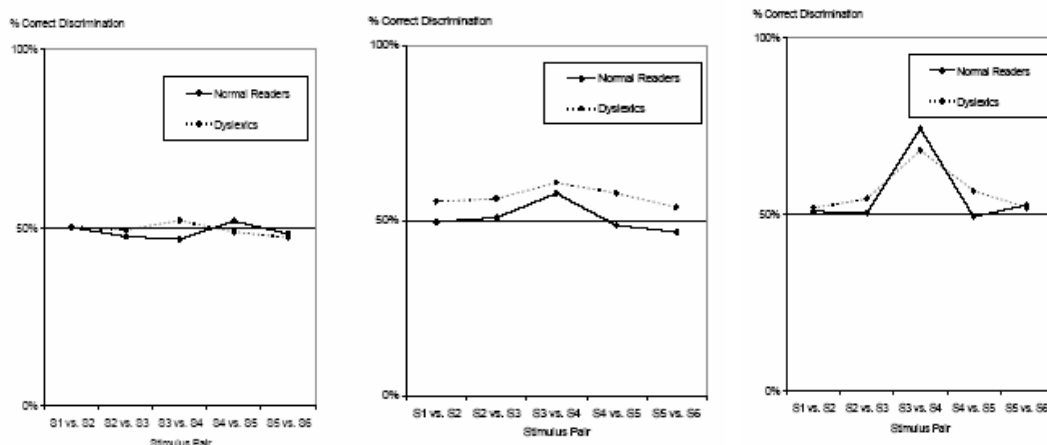


Figure 30 Performances de discrimination chez les dyslexiques et normolecteurs de 13 ans, condition SS (a), SP (b) et PP (c) (Serniclaes et al., 2001)

4.5 La perception allophonique : le déficit de PC révisé

4.5.1 Résultats

Serniclaes, Van Hegue, Mousty, Carré et Sprenger-Charolles (2004a ; voir aussi Serniclaes, Bogliotti, Messaoud-Galusi et Sprenger-Charolles, 2004b), après avoir constaté une discrimination accrue des paires intra catégorielles lors d'une précédente expérience chez les dyslexiques de 13 ans (2001), ont étudié une nouvelle fois ce phénomène. Le but de leur étude était de confirmer le déficit de perception catégorielle des dyslexiques et d'en évaluer la nature allophonique.

Dans cette nouvelle expérience, des enfants dyslexiques et normolecteurs (d'âge moyen de 9 ans), ainsi que des adultes ont été soumis à la discrimination de 4 continua de VOT : 2 continua [ba-pa] et [ga-ka] synthétisés en analogues sinusoïdaux⁴³, un continuum [ba-pa] de parole synthétique et un continuum [ga-ka] de parole naturelle. En

⁴³ Les formants ont été remplacés par des tons purs.

raison des faibles effets obtenus dans tous les continua (aucune interaction continua x paires x groupes n'était significative), les quatre continua ont été analysés ensemble. Les résultats révèlent un déficit de perception catégorielle chez les dyslexiques. En effet, contrairement aux adultes et aux enfants normolecteurs qui montrent un pic à la frontière phonémique du français (10 ms VOT), les dyslexiques exhibent un pic de plus faible amplitude à cette valeur alors qu'ils discriminent mieux que les sujets des deux autres groupes des stimuli intracatégoriels (-30 ms VOT). Ce pic allophonique est également présent chez les adultes et les enfants normolecteurs, mais ces derniers discriminent davantage la frontière phonémique (Figure 31).

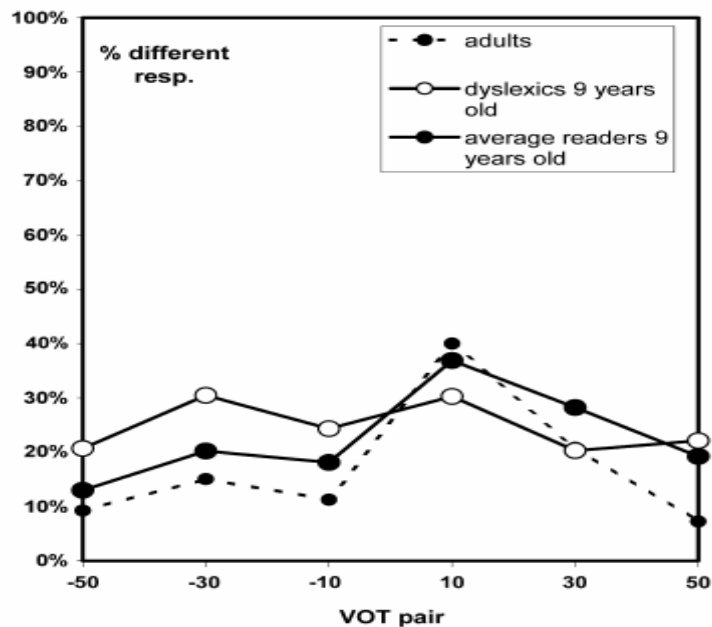


Figure 31 Moyenne des performances de discrimination sur les continua de parole de VOT pour les différentes populations étudiées

Le pic visible en intra catégorie est dit allophonique car il se situe au niveau d'une des trois frontières de voisement repérées dans les langues à trois catégories de VOT (Lisker et Abramson, 1970). Cet accroissement de sensibilité à la frontière de - 30 ms VOT chez les enfants dyslexiques suggère que leur profil de discrimination est proche de celui des nourrissons, étant donné que ces derniers discriminent également les trois catégories de voisement. Cependant, on discerne une influence linguistique dans les réponses des dyslexiques, mise en évidence par la localisation de leur second pic dans la région positive du continuum, lequel coïncide avec la frontière de voisement française,

et se trouve davantage dans les alentours de 0 ms VOT qu'aux environs de la frontière positive universelle (aux environs de 30 ms VOT).

Il semble que la perception allophonique observée chez les enfants dyslexiques soit la conséquence d'un déficit de couplages entre prédispositions perceptives. En effet, le fait qu'ils perçoivent tout aussi bien la frontière phonétique de voisement (à -30 ms VOT) que la frontière phonémique (10 ms VOT) suggère qu'ils n'ont pas développé de couplage entre les prédispositions de catégorisation de voisement et d'aspiration. De plus, le fait que les normolecteurs gardent cette sensibilité à la frontière qui n'est pas phonémique dans leur langue est en accord avec les résultats d'autres études suggérant que la désactivation des prédispositions non pertinentes dans l'environnement linguistique est seulement fonctionnel (Werker et Tees, 1984 b).

Bien que la nature exacte des prédispositions (auditive ou phonétique) pour percevoir des distinctions phonétiques ne soit pas encore entièrement définie, ces résultats tendent à montrer que la sensibilité résiduelle des prédispositions qui ne sont pas linguistiquement pertinentes est plus forte chez les enfants dyslexiques. Comme nous l'avons expliqué précédemment, il est important de se référer à la perception allophonique plutôt qu'à la perception phonétique, car les catégories de voisement universelles restent présentes en tant qu'allophones en français. Le fait que les dyslexiques dévoilent une sensibilité accrue à de telles frontières n'impliquent pas qu'ils seraient également sensibles à des frontières phonétiques totalement non pertinentes dans leur langue.

4.5.2 Les implications de la perception allophonique dans la lecture

La perception allophonique n'empêcherait pas que la perception soit catégorielle, mais cette dernière se baserait sur des allophones plutôt que sur des phonèmes. Alors que l'accès au lexique ne devrait pas poser de problème dans le langage oral (bien qu'il soit plus lourd en termes de traitement de l'information), le déficit de couplage phonologique a des implications directes pour l'acquisition du langage écrit. Le langage écrit requiert des catégories phonémiques bien spécifiées, et les représentations allophoniques constituent un handicap considérable pour l'établissement des correspondances graphèmes-phonèmes. En effet, pour que ces correspondances s'établissent correctement, les représentations phonologiques doivent être bien définies.

Si celles-ci ne sont pas bien définies, les associations entre les graphèmes et les phonèmes seront difficiles à établir, même dans un système orthographique transparent (nous avons déjà vu que le degré d'opacité de l'orthographe influençait fortement l'apprentissage de la lecture : plus l'orthographe est transparente, meilleures sont les performances en lecture). Par exemple, un enfant qui perçoit les allophones /b/, /p/ et /p^h/ au lieu des phonèmes /b/ et /p/, aura des difficultés à attribuer le même symbole graphique 'p' aux phonèmes /p/ et /p^h/, étant donné qu'il considère ces deux allophones comme des catégories phonémiques distinctes (Figure 32).

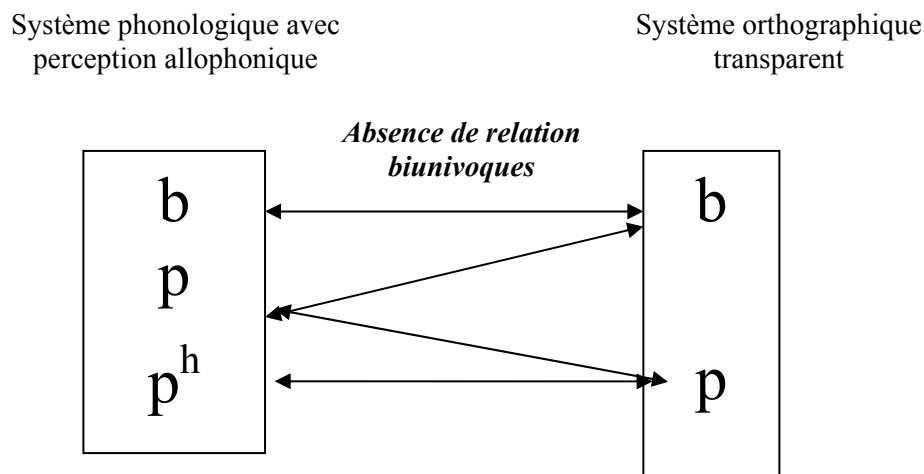


Figure 32 Le mode de perception allophonique : l'absence de couplages entre prédispositions génère des relations non biunivoques entre les unités allophoniques et les unités graphémiques, et ce, même dans un système orthographique transparent.

De plus, l'hypothèse de la perception allophonique s'accorde parfaitement avec les autres déficits observés chez les dyslexiques. En effet, ce mode de perception est susceptible d'avoir de lourdes répercussions sur la conscience phonologique, déficitaire chez les dyslexiques, puisqu'il implique la manipulation des phonèmes qui n'existeraient pas dans leur processus de décodage phonologique. Elle contribuerait également au déficit de mémoire à court terme phonologique, également observé chez les dyslexiques. En effet le nombre d'unités de décodage est beaucoup plus élevé avec un système perceptif qui se fonde sur des allophones au lieu de phonèmes, entraînant une surcharge mnésique.

Enfin, cette hypothèse permet de comprendre pour quelle raison les dyslexiques ont des performances fortement altérées dans l'acquisition de la lecture et de l'écriture sans connaître de troubles notoires dans la production de la parole. En effet, la perception de la parole peut tout aussi bien se concevoir avec des unités autres que les phonèmes. En somme la perception allophonique offre une nouvelle explication à la dyslexie en termes de traitements phonologiques déviants.

4.5.3 Des entraînements sur la PC pour en améliorer les performances

Les travaux de Hurford et Sanders (1990a), avaient pour objectif de créer un entraînement qui permettrait aux sujets d'apprendre à discriminer des phonèmes. Ainsi, à partir des résultats de Tallal sur les dyslexiques, les auteurs ont imaginé une procédure d'entraînement qui porterait en premier lieu sur des sons sans transition (les voyelles), puis sur des stimuli plus difficiles à discriminer comme des syllabes avec une occlusive à l'initial.

Les entraînements, qui portaient sur des dyslexiques et des normolecteurs de 2^{ème} et 4^{ème} année de primaire, comprenaient 3 phases, de difficulté croissante (chaque phase correspondait à l'entraînement d'une catégorie différente de syllabes) :

- La première phase portait sur la discrimination de voyelles (/e/ /ai/ /u/ et /i/)
- La deuxième phase portait sur la discrimination de syllabes à transition formantique longue (/ri/ /li/ /nai/ et /mai/)
- La troisième phase portait sur la discrimination de syllabes à transition formantique brève (/di/ /gi/) (selon Tallal, les dyslexiques auraient une difficulté spécifique avec ce genre de stimuli)

Au cours de chaque phase, l'ISI était diminué de manière progressive, ce qui rendait la discrimination de syllabes de plus en plus complexes. La diminution de cet intervalle dépendait des performances des enfants. Si les enfants n'atteignaient pas le critère de 8 RC avant la fin des essais, l'ISI était augmenté, mais de façon intermédiaire (c'est-à-dire que si le sujet réussissait avec l'ISI de 240 ms, puis échouait avec l'ISI de 160 ms, l'ISI était alors augmenté à la valeur intermédiaire de 200 ms ; si le sujet échouait de nouveau, l'ISI était alors de 220 ms mais s'il réussissait, l'ISI était de 180 ms). La présentation des syllabes CV et les ISI sont contrôlés par ordinateur. Un feedback est donné après chaque essai (le feedback consiste en la présentation d'un visage souriant

pendant 3 secondes). En cas d'erreur aucun feedback n'était fourni. Les 3 sessions d'entraînements duraient chacune 30 à 40 minutes, et le rythme des entraînements était de 1 par jour.

Les auteurs avaient préalablement évalué et comparé les performances de ces enfants sur une tâche de discrimination de syllabes /bi/ /di/ /gi/. Les résultats ont tout d'abord montré que les enfants dyslexiques en 2^{ème} année de primaire présentaient un déficit de discrimination comparativement aux normolecteurs de même âge. En revanche, les performances des dyslexiques en 4^{ème} année de primaire étaient plus faibles que celles des normolecteurs de même âge, mais elles ne différaient pas significativement de celles des normolecteurs de 2^{ème} année (donc plus jeunes).

Les enfants qui ont participé aux entraînements sont les enfants qui avaient le plus de difficulté à discriminer le continuum (performance discriminante en dessous de 84% de RC représentant donc un e.t par rapport à la performance moyenne de 90% de RC). Les entraînements commençaient une semaine après les prétests, et à la fin des entraînements, les enfants ont passés des post-tests. Durant les post-tests, les tâches perceptives étaient identiques à celles du prétest, mais les stimuli utilisés étaient différents (un continuum de syllabes à occlusives sourdes /pi//ti/).

Selon Hurford (1990b), si les dyslexiques ont des difficultés à analyser les transitions rapides, il est nécessaire de commencer les entraînements avec des stimuli stables, pour poursuivre avec des stimuli de plus en plus brefs. Cette procédure devrait donc leur permettre de développer leur capacité à analyser des transitions formantiques très brèves. L'objectif des entraînements était donc d'améliorer les performances de discrimination des dyslexiques. Et les résultats sont concluants : tous les enfants ayant subi les entraînements s'améliorent, alors que les performances des enfants non entraînés ne s'améliorent pas. Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'améliorer les performances de discrimination phonémique chez un lecteur déficient.

Van Heghe (2001) s'est inspirée des travaux de Hurford pour tester les effets des entraînements sur la perception catégorielle des dyslexiques. En revanche, cette étude s'inscrivait dans un cadre théorique différent. En effet, à l'inverse de Hurford, qui testait les hypothèses de Tallal, l'étude de Van Heghe reposait sur l'hypothèse de Serniclaes et al. (2001), suggérant la présence d'un déficit de perception catégorielle chez les

dyslexiques, et plus précisément, une diminution de la perceptibilité intercatégorielle accompagnée d'une plus grande perceptibilité des différences intracatégorielles. Ainsi, Van Heghe a évalué la PC de 20 enfants dyslexiques, âgés entre 7 et 10 ans, et donc l'âge de lecture était inférieur à 7 ans. Elle a également évalué la PC d'un groupe contrôle qui était composé de 34 enfants de même âge chronologique. La PC a été évaluée à l'aide de 8 continua CV (occlusive + voyelle). Les modifications apportées au continua étaient soit d'ordre (1) du type de parole, avec ou sans modulation (avec ou sans F0), (2) du trait manipulé (lieu d'articulation ou voisement, (3) du contexte phonétique dans lequel se situe le trait (lieu d'articulation : /ba-da/ /po-to/ et voisement : /ba-pa/ ou /ga-ka/). Sur les 4 continua avec la F0, 3 d'entre eux étaient de la parole synthétique (/ba-da/, /po-to/ et /ba-pa/), et 1 par modification sélective de la parole naturelle (/ga-ka/). Les continua /ba-da/ et /ba-pa/ étaient présents à l'entraînement, au prétest et au post-test.

Le groupe 'entraînement complet' était entraîné sur 3 types de stimuli (les stimuli acoustiquement et phonétiquement identiques, les stimuli phonétiquement identiques et acoustiquement différents, et les stimuli acoustiquement et phonétiquement différents). Le groupe 'entraînement partiel' n'était entraîné que sur les stimuli acoustiquement et phonétiquement identiques et les stimuli acoustiquement et phonétiquement différents. Les résultats sont peu concluants : Van Heghe n'a constaté aucun effet des entraînements sur la perception catégorielle, et en conclut qu'il est peu probable que la PC puisse être entraînée.

Les travaux présentés dans la revue de littérature soulignent l'importance de la dimension phonologique dans l'acquisition de la lecture, car elle permet une mise en oeuvre efficiente des CGP, sine qua non de cet apprentissage. Ces travaux indiquent également que la dyslexie se caractérise par un trouble spécifique de la dimension phonologique, tant en lecture que dans les compétences reliées. Nous avons également vu que le développement de la perception catégorielle de la parole se caractérise par une désactivation des capacités à percevoir les traits précocement perçus et sans pertinence phonologique dans la langue maternelle, et que la consistance de la perception catégorielle pouvait dépendre de facteurs tels que l'âge, le niveau de lecture ou encore la nature des stimuli. En effet, on a vu le consensus des recherches évaluant la perception catégorielle de manière transversale ou longitudinale : l'âge a un effet sur la perception des oppositions natives et non natives, la perception des oppositions natives s'améliorant au cours du développement, et la perception des oppositions non natives s'atténuant, sans pour autant disparaître totalement. Et l'effet de l'âge a été observé autant dans les études qui portent sur des sujets très jeunes (enfance prélinguistique) que chez des enfants plus âgés (âge scolaire). Mais un autre facteur incriminé, et d'ailleurs envisagé de manière relativement récente, est le niveau de lecture : de nombreuses études comparant les performances de perception entre des normolecteurs et des sujets altérés en lecture (mauvais lecteurs ou dyslexiques) ont constaté un déficit de perception chez ces derniers. Enfin, outre des raisons développementale ou d'acquisition, la perception dépend de la nature des stimuli à percevoir : la robustesse de certaines oppositions (comme le voisement comparativement au lieu d'articulation), la prototypie sur le plan phonologique des stimuli, ou encore le degré d'assimilation possible à la phonologie de la langue maternelle semblent influencer la capacité de perception.

La recherche sur la perception de la parole et son développement a vu naître de nombreux modèles, avec des fondements très divers. Si pour certains le développement de la perception de la parole s'appuie sur la saillance acoustique des sons, d'autres prennent en compte de façon centrale les aspects moteurs, ou encore les couplages entre prédispositions phonétiques.

Les expériences menées dans le cadre de la présente thèse visent à réexaminer certains des problèmes soulevés dans la revue de littérature. Nous avons évalué les effets de

l'âge et du niveau de lecture d'abord sur la perception d'oppositions robustes (continuum de VOT), puis sur celle d'oppositions moins robustes (continuum de lieu d'articulation). Nous avons également évalué le modèle du couplage entre prédispositions, ce dernier pouvant non seulement nous permettre de trouver une explication au déficit de perception catégorielle constaté chez des enfants dyslexiques, mais également de vérifier la réorganisation de l'espace perceptif sur un continuum de lieu d'articulation.

Ce sont ces points qui seront traités dans nos différentes études.

Dans l'étude 1, nous avons cherché à évaluer l'effet de l'âge sur un continuum de VOT [do-to] chez des enfants testés de manière longitudinale, avant et après l'apprentissage de la lecture (entre 6 et 8 ans), notre hypothèse étant que les enfants les plus âgés devraient présenter un pattern de PC plus robuste.

Dans notre deuxième étude, nous avons examiné les performances d'enfants de différents niveaux de lecture (bons lecteurs vs dyslexiques de même âge, 10 ans) sur ce même continuum [do-to], l'hypothèse centrale de cette étude étant que les performances des dyslexiques devraient se caractériser par un mode de perception allophonique.

Notre troisième étude avait pour objectif d'évaluer la persistance du déficit de PC chez des dyslexiques âgés de 17 ans. Notre hypothèse était d'observer une nouvelle fois un déficit de PC sur un continuum de voisement [də-tə], même chez des dyslexiques âgés.

Dans la quatrième étude nous avons évalué l'hypothèse du couplage phonologique pour le lieu d'articulation (continuum /bə-də-gə/) avec des auditeurs adultes, en vue de la préparation de notre dernière étude, et dans laquelle nous avons évalué les effets d'entraînements qui avaient pour objectif de renforcer la perception de la frontière phonémique.

PARTIE EXPERIMENTALE

Jusqu'à présent, de nombreuses études ont démontré la tendance développementale du phénomène de perception catégorielle : elle apparaît à un âge précoce, pour s'affiner au cours du développement. Les nourrissons se sont montrés capables de percevoir la majorité des sons disponibles dans les langues du monde, pour ensuite 'abandonner' ces prédispositions perceptives lors de l'acquisition de leur langue maternelle. L'expérience linguistique dispose donc d'une forte influence sur ce processus. Mais il semble que l'apprentissage de la lecture ait également un effet majeur sur le développement et la consistance de la perception catégorielle. La lecture et la perception de la parole pourraient entretenir des relations bidirectionnelles, l'entrée dans la lecture se déroulera de manière plus efficace si la perception catégorielle ne revêt aucun aspect déficitaire.

Les travaux sur la dyslexie ont mis en évidence l'aspect déficitaire de la perception catégorielle, et ont attiré l'attention sur le handicap qu'elle génère sur les mécanismes de mise en correspondance des graphèmes avec les phonèmes. Le déficit de perception catégorielle résiderait dans la manière dont les dyslexiques classent les sons de la parole. En effet, les dyslexiques disposent d'un pattern de perception grossièrement similaire à celui des nourrissons, en ce sens qu'ils perçoivent trop de sons par rapport aux catégories phonémiques propres à leur langue. Par conséquent, ces catégories phonémiques n'étant pas viables, ils ne sont pas en mesure de créer des associations correctes entre les graphèmes et les phonèmes.

Notre travail a essentiellement consisté en l'analyse des performances de perception catégorielle dans différentes populations de sujets, et à l'aide de stimuli de différentes natures.

L'étude 1 propose une analyse longitudinale de l'évolution de la performance de perception catégorielle chez des enfants de 6 à 8 ans.

L'étude 2 examine la différence de perception selon le niveau de lecture des sujets, en l'occurrence entre des bons lecteurs et des dyslexiques de 10 ans. Cette étude devrait également permettre de mieux cerner et comprendre la nature et le degré de ce déficit de perception de la parole.

L'étude 3 évalue la persistance du déficit de PC chez des dyslexiques âgés (17 ans).

L'étude 4 examine la réorganisation de l'espace perceptif chez des sujets adultes francophones et teste l'hypothèse du couplage avec un continuum de lieu d'articulation. Enfin, l'étude 5 examine l'influence d'entraînements perceptifs sur la catégorisation phonémique chez des enfants dyslexiques (entre 8 et 10 ans).

1 Etude 1 : Effet de l'âge sur le développement de la PC

Dans notre première étude, nous avons cherché à reproduire les résultats observés dans la littérature sur le développement de la perception de la parole. Hazan et Barrett (2000) et Burnham et al. (1991) avaient mis en évidence la tendance développementale de la catégorisation phonémique dans des études transversales. Ces études avaient évalué le développement de la perception catégorielle (PCR) avec la précision catégorielle (PrC) pour seul critère.

Nous avons décidé de répliquer les résultats observés dans la littérature, mais notre étude diffère en deux points principaux. Tout d'abord, nous avons conduit une étude longitudinale. Jusqu'à présent, peu d'études portant sur la perception de la parole chez des enfants se sont appuyées sur un suivi longitudinal. Dans ces études, à l'inverse des études transversales, certains critères sont plus faciles à contrôler (redoublement, évolution des enfants, etc.). D'autre part, nous avons évalué la perception catégorielle en fonction des différents critères : la précision catégorielle (PrC, Simon et Fourcin, 1978), la perception catégorielle relative (PCR, la différence entre la discrimination prédite et observée ; Liberman et al., 1967) et l'effet de frontière phonémique (EFP, écart entre la discrimination des paires chevauchant la frontière phonémique et celles à l'intérieur d'une même catégorie phonémique ; Wood, 1976).

Par notre étude, nous avons donc pu évaluer l'effet de l'âge, et/ou celui de l'apprentissage de la lecture sur la perception catégorielle de la parole. Les enfants ont été testés 3 fois : une première fois lorsqu'ils étaient encore non lecteurs (6 ans), puis après 1 an et 2 ans d'expérience en lecture (7 et 8 ans).

Nous attendions une amélioration de la capacité de catégorisation et des performances de discrimination au cours du développement. L'évènement majeur que représente l'apprentissage de lecture devrait également influencer la perception catégorielle de manière non négligeable.

1.1 Méthodologie

1.1.1 Population

Pour cette étude, 33 enfants⁴⁴ (16 filles et 17 garçons) du 20^{ème} arrondissement de Paris ont été examinés sur leur capacité à percevoir de la parole de manière catégorielle. Tous les enfants ont été testés au sein de leur établissement, durant le temps scolaire. Au cours des trois années d'expérimentation, les tests se sont déroulés à la même époque, à la fin de l'année scolaire (mai et juin).

Tous les enfants devaient être monolingues francophones, ne pas avoir connu de problèmes auditifs, et faire preuve d'un QI verbal et non verbal normal. Les critères de monolinguisme et d'absence de troubles ont été contrôlés grâce à un questionnaire destiné aux parents. En revanche, le QI verbal et non verbal, ainsi que le niveau de lecture ont été évalués à chaque étape de l'étude par les expérimentateurs, avant les tests perceptifs.

| | Moyennes | Age Chronologique | Age Lexique | QI Verbal (scores bruts) | QI Non Verbal (scores bruts) |
|--------------|--------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------|------------------------------|
| 6 ans | | 5,11 ans | | | |
| | | 71 mois | | 41 | 21 |
| | <i>écart type distribution</i> | 3 66 à 77 | Non lecteur | 6 12 à 32 | 4 32 à 51 |
| 7 ans | | 6,11 ans | 7,01 ans | | |
| | | 83 mois | 85 mois | 47 | 25 |
| | <i>écart type distribution</i> | 3 78 à 89 | 9 73 à 113 | 6 36 à 59 | 6 15 à 33 |
| 8 ans | | 7,11 ans | 8,01 ans | | |
| | | 95 mois | 97 mois | 49 | 26 |
| | <i>écart type distribution</i> | 39 90 à 101 | 14 78 à 130 | 6 31 à 57 | 6 13 à 35 |

Tableau 1 Moyennes et écart-types des âges chronologiques et lexiques, et des scores bruts des QI verbal et non verbal pour chaque année d'évaluation

1.1.2 Matériel Linguistique et Procédures

Le Bat-Elem : Ce test nous a permis de déterminer si les enfants de 5 ans étaient non lecteurs. Il consiste en la lecture de lettres et de syllabes.

⁴⁴ La cohorte était constituée de 44 enfants au début de l'étude, mais 11 de ces enfants ont été exclus de la cohorte en raison de l'absence de données longitudinales (déménagement, problèmes rencontrés lors des expérimentations aboutissant à des données non analysables)

L'Alouette (Lefavrais, 1965) : Le test de l'Alouette est un test établissant le niveau de lecture. Les enfants doivent lire à haute voix un texte de 265 mots aussi rapidement et aussi précisément que possible. Le texte inclut des mots rares ('arrimé'), des mots à consonance voisine ('Annie', 'amie'), ainsi que des mots se ressemblant au niveau graphique ('gai', 'geai'). Ils doivent aussi ne pas échouer dans la lecture de phrases telles que 'au clair de lune' remplaçant l'habituelle et connue 'au clair de la lune', mais également dans la lecture de mots attendus (il ne faut pas lire 'corbeau' à la place de 'cordeau', qui se situe à la suite de 'moineau'). Les erreurs et le temps de lecture sont retenus par l'expérimentateur. L'enfant dispose de trois minutes pour lire le texte. Le niveau de lecture est obtenu soit par le temps de lecture (si le sujet termine en moins de trois minutes), soit par le nombre de mots lus (si les trois minutes sont écoulées). Les erreurs sont ensuite déduites du score. Enfin, le niveau de lecture est transformé en âge de lecture standardisé.

Les Matrices de Raven (Raven, 1976): Les Matrices Progressives de Raven ont pour fonction de déterminer le QI non verbal d'un individu. Elles mesurent sa capacité à former des relations perceptives et un raisonnement analogique, indépendamment de sa langue ou de son niveau d'instruction. Les sujets ne se situant pas dans la norme relative à leur âge chronologique n'ont pas été inclus dans l'étude.

Les enfants les plus jeunes de notre cohorte ont passé le test standard avec 36 exercices. Chaque planche comprend une figure, à laquelle il manque un morceau. Le sujet doit donc remplir cette figure avec les six ou huit (dans les séries les plus difficiles) morceaux alternatifs présentés, la difficulté va croissante.

Le TVAP (Deltour & Hupkens, 1980) : Ce test permet d'évaluer le QI verbal. Il est composé de 50 planches avec 6 images sur chaque planche. L'expérimentateur prononce un mot et l'enfant doit désigner l'image correspondante. Si l'enfant entend le mot 'jonquille', il doit désigner le dessin correspondant, ce dessin se trouvant parmi des parmi des images représentant les mots 'coquille', 'jongler', 'quille', sources d'erreurs évidentes.

1.1.3 Matériel Perceptif et Procédures

1.1.3.1 Stimuli : le continuum /do-to/

La perception catégorielle de la parole a été évaluée à l'aide d'un continuum de Voice Onset Time (VOT) /do-to/ dont les valeurs étaient comprises entre -50 ms et 50 ms VOT. Il a été élaboré à l'aide de syllabes naturelles⁴⁵.

Des segments de VOT de consonnes occlusives des langues française et anglaise ont été utilisés pour générer ce continuum. Nous avons pris 3 stimuli de référence : un [do] français avec un VOT négatif, un [do] anglais se caractérisant par un VOT positif d'environ 18 / 20 ms et un [to] anglais dont le VOT se situe aux environs de 70 ms.

Le point 0 du continuum a été réalisé en excisant le retard de voisement du [do] anglais, ce qui nous a permis d'obtenir un signal sans aucun intervalle entre le relâchement de l'explosion et le voisement.

Les segments voisés ont été élaborés à partir du point 0 du continuum, auquel on ajoutait du prévoisement de la syllabe française [do] par pas de 10 ms. Nous disposions ainsi de cinq stimuli représentant des occlusives prévoisées, allant de -50 ms à -10 ms de VOT.

Enfin, tous les signaux avec du VOT positif ont été créés en insérant de l'aspiration extraite du [to] anglais, également par pas de 10 ms, afin d'obtenir cinq stimuli dont les valeurs se distribuaient entre 10 ms et 50 ms de VOT.

⁴⁵ Les stimuli ont été créés avec l'aide de Messaoud-Galusi et Carré (2001)

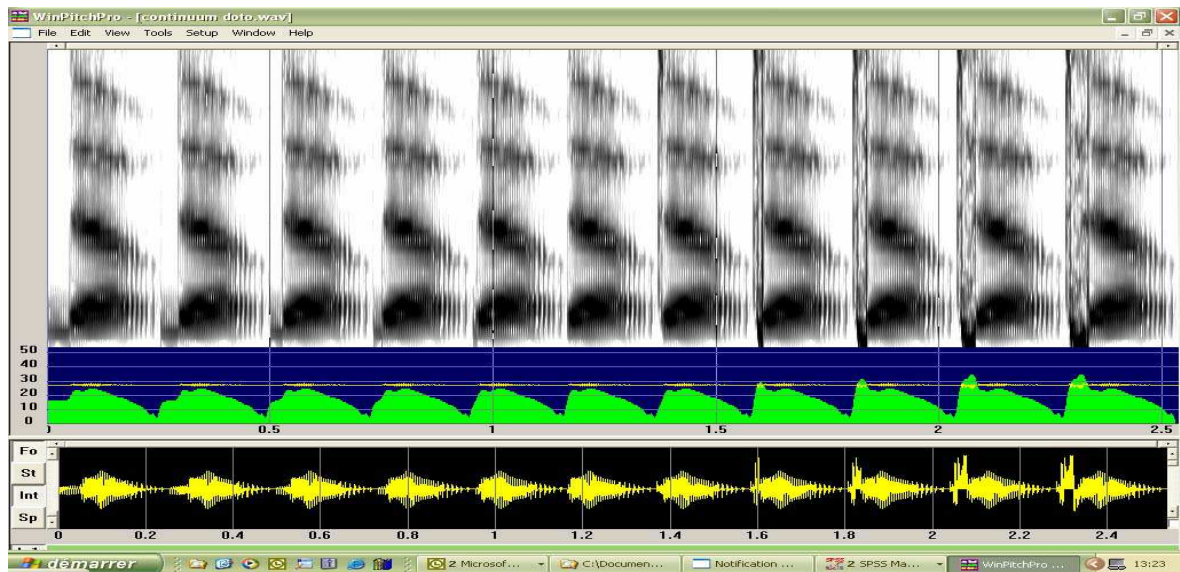


Figure 33 Spectrogramme du continuum /do-to/, 11 stimuli le composent avec des valeurs allant de -50 à +50 ms VOT (Logiciel WinPitch)

1.1.3.2 Procédures des tests perceptifs

Training : Les enfants ont d'abord été entraînés à l'aide d'un test de discrimination, afin de les familiariser avec les stimuli et les réponses motrices correspondantes. Dans l'épreuve du training, les enfants devaient discriminer les points extrêmes du continuum⁴⁶. S'ils ne parvenaient pas à les différencier, ils ne pouvaient continuer les tests perceptifs.

Tâche d'identification : En second lieu, les enfants étaient interrogés sur leurs performances d'identification. Les 11 stimuli étaient présentés 10 fois chacun et de manière aléatoire. Ils entendaient les stimuli un par un, et devaient appuyer sur une touche verte (disposée sur le clavier d'un ordinateur) s'ils entendaient la syllabe /do/, et sur une touche rouge s'ils entendaient la syllabe /to/.

Cette épreuve a pour but de constater l'apparition d'une fonction d'identification (obtenue par le calcul de la moyenne des réponses aux stimuli /do/ ou /to/) et de mesurer la précision catégorielle (obtenue par le calcul des pentes).

⁴⁶ Les stimuli à -50 ms, -40 ms, +40 ms et +50 ms représentaient les extrêmes du continuum. Ils étaient soit présentés deux fois dans la même paire pour représenter les paires identiques, soit avec un des trois autres stimuli. Chaque paire était répétée 4 fois.

Lors de nos expérimentations, voici la consigne précise que nous donnions à tous les sujets (ici par exemple pour le continuum /do/-/to/) : « Tu vas entendre une syllabe /do/ ou une syllabe /to/. Tu vas bien les écouter, et tu vas dire si tu entends un /do/ ou un /to/. Si tu entends /do/ tu appuies sur vert, si tu entends /to/ tu appuies sur rouge ». Selon l'âge des sujets, la consigne était répétée (les sujets les plus jeunes ayant des difficultés à intégrer la consigne).

| Stimuli (en ms) | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | +10 | +20 | +30 | +40 | +50 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nombre de réponses /to/ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Tableau 2 Exemple de calcul d'une fonction d'identification pour le sujet adulte JP (10 présentations de chaque stimulus)

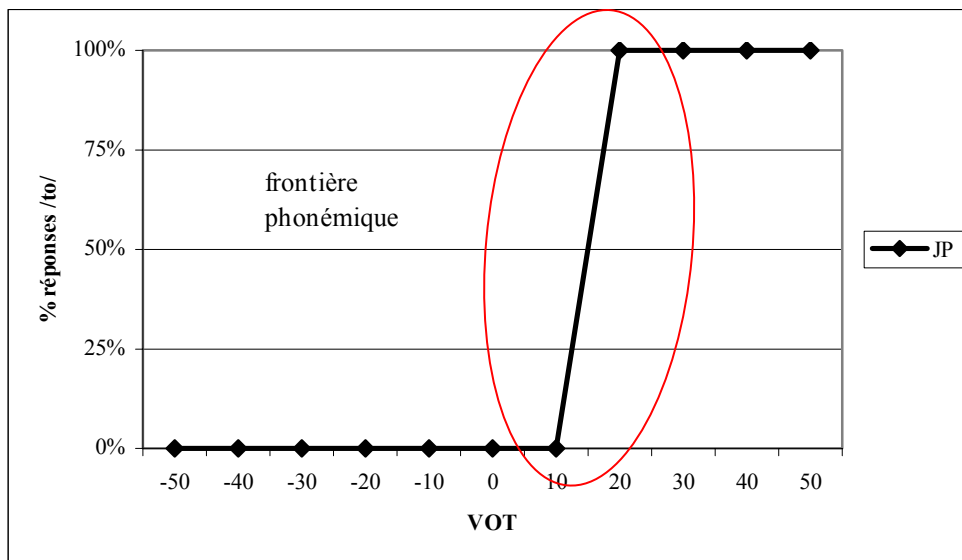


Figure 34 Exemple d'une fonction d'identification du sujet adulte JP, avec changement brutal de catégorisation qui indique la frontière phonémique (en français)

Tâche de discrimination : Lors de la tâche de discrimination, les enfants entendaient des paires de stimuli. Neuf paires de stimuli leur ont été présentées, également de façon aléatoire, et chaque paire était répétée huit fois. Les paires représentaient soit des combinaisons de stimuli identiques (/do/ vs /do/ ou /to/ vs /to/), soit de stimuli différents (/do/ vs /to/ et /to/ vs /do/). Les paires « différentes » correspondaient à des écarts de 20 ms de VOT entre les stimuli (par exemple, la paire S1-S3 comprenait les stimuli à -50 et

-30 ms de VOT). Les enfants devaient appuyer sur la touche verte si les sons leur paraissaient identiques, et sur la touche rouge s'ils leur semblaient différents.

Voici la consigne précise pour la tâche de discrimination (encore pour le continuum /do-/to/) : « Tu vas entendre des paires de syllabes, et tu vas devoir dire si les syllabes sont pareilles ou différentes. Si elles sont pareilles, comme /do-/do/ ou /to-/to/, tu appuies sur vert ; si elles sont différentes, comme /do-/to/ ou /to-/do/, tu appuies sur rouge ».

Les résultats ont été calculés en termes de scores de discrimination correcte (échelle 'même – différent'). Ces scores étaient obtenus en calculant la moyenne des réponses 'différent' aux paires de stimuli acoustiquement différentes, et la moyenne des réponses 'même' aux paires de stimuli identiques. Ainsi, nous obtenions une moyenne en pourcentage du nombre de réponses 'même et différent' pour chaque paire de stimuli.

| | Paire intracatégorielle S1S3 | | | | Paire intercatégorielle S6S8 | | | |
|--|------------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|
| Paires de stimuli | S1S1 | S1S3 | S3S1 | S3S3 | S6S6 | S6S8 | S8S6 | S8S8 |
| Réponses 'même' | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 1 | 3 | 8 |
| Détermination du taux de discrimination correcte | $(S1S1+S3S3+(8-S1S3)+(8-S3S1))/32$ | | | | $(S6S6+S8S8+(8-S6S8)+(8-S8S6))/32$ | | | |
| Calcul de la paire | $(7 + 8 + (8 - 8) + (8 - 8)) / 32$ | | | | $(8 + 8 + (8 - 1) + (8 - 3)) / 32$ | | | |
| Discrimination Correcte (en RC) | 47 % de RC | | | | 88 % de RC | | | |

Tableau 3 Exemple de calcul du pourcentage de discrimination correcte pour une paire intracatégorielle (S1S3) et une paire intercatégorielle (S6S8). Il y a 8 présentations de chaque paire. La paire intracatégorielle est discriminée au niveau du seuil du hasard (47% de RC), la paire intercatégorielle est discriminée (88% de RC). Les paires S6S8 et S8S6 représentent des paires de stimuli appartenant à deux catégories phonémiques différentes, la réponse 'différent' est alors attendue. Par contre, lors du calcul de la paire S1S3, la confrontation des stimuli S1 vs S3 ou S3 vs S1 demande au sujet de répondre 'même' étant donné que ce sont des stimuli certes différents sur le plan acoustique mais appartenant à la même catégorie phonémique.

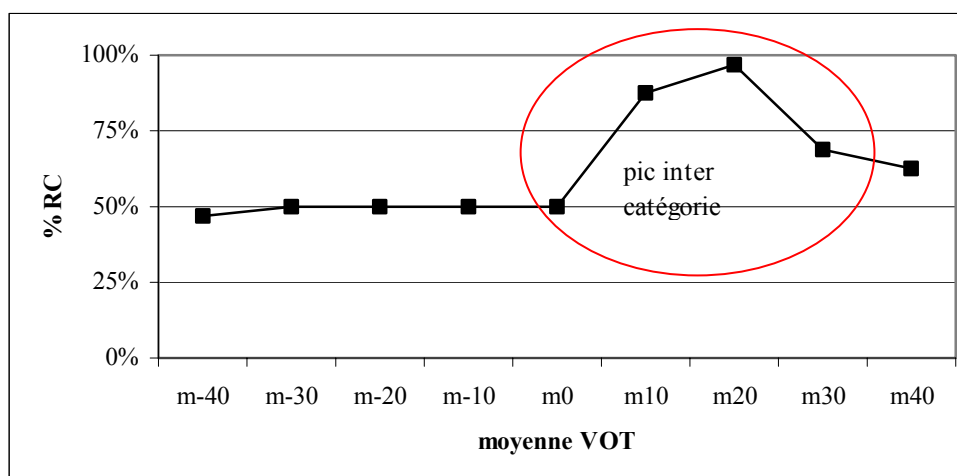


Figure 35 Exemple de courbe de discrimination attendue du sujet adulte JP

1.1.3.3 Les différents critères d'évaluation

Notre étude se distingue des précédentes recherches car elle permet d'évaluer la catégorisation phonémique en fonction de trois critères : le critère relatif de perception catégorielle (PCR), le critère de précision catégorielle (PrC) et le critère d'effet de frontière phonémique observé (EFP).

La perception catégorielle relative (PC, Liberman et al, 1957) : Ce critère consiste à évaluer la différence entre la discrimination observée et la discrimination prédite à partir des réponses d'identification. Par définition, la perception est catégorielle si les stimuli appartenant à des catégories phonémiques différentes sont discriminés, et pas ceux appartenant à une même catégorie de phonèmes (Liberman et al, 1957). La perception catégorielle sera parfaite si la discriminabilité des stimuli dépend entièrement de leur répartition en catégories, ce qui peut être vérifié à partir des réponses d'identification. L'ampleur de la discrimination prédite peut être calculée à partir des données d'identification avec des formules élémentaires de probabilité⁴⁷ (Pollack et Pisoni, 1971). Le degré de perception catégorielle est une fonction inverse de la différence

⁴⁷ Bien que la pente de la courbe d'identification soit un critère robuste pour évaluer la précision catégorielle, les différences entre les pentes des groupes peuvent autant résulter de différences intrinsèques à la pente que de la variabilité inter-individuelle de la frontière. Aussi, plutôt que de tester la différence entre les pentes par ajustement des courbes de groupe (Régression Logistique), il est préférable de procéder par ajustements individuels de pentes, puis tester la différence entre les pentes moyennes avec une ANOVA.

entre les scores de discrimination observée et ceux attendus à partir des données d'identification : plus la différence est petite, plus la perception est catégorielle.

La précision catégorielle (PRC, Simon et Fourcin, 1978) : Les premiers auteurs à avoir utilisé ce critère semblent être Simon et Fourcin (1978) dans une étude sur le développement perceptif, qui visait à comparer l'utilisation des indices de voisement chez des enfants francophones et anglophones entre 2 et 14 ans. Pour des raisons procédurales et conceptuelles, les auteurs ont préféré utiliser des réponses d'identification plutôt que de discrimination. Ils pensaient que l'utilisation des réponses d'identification leur permettait de travailler à un niveau de traitement plus linguistique qu'auditif. Bien que Simon et Fourcin rapportent leurs résultats en termes de différences d'identification catégorielle, plutôt que de perception catégorielle, les réponses d'identification ont été utilisées comme critère de perception catégorielle dans les études suivantes. Des exemples de ce changement d'interprétation peuvent être trouvés dans les études de développement perceptif comme celle de Hazan et al. (2000), ou dans les études incluant des dyslexiques comme celle de Godfrey et al. (1981). Plus spécifiquement, depuis que le critère de la pente de la fonction d'identification a été utilisé comme critère d'évaluation courant de la perception catégorielle, une pente plus raide sera considérée comme le reflet d'un degré de perception catégorielle plus élevé. Cependant, plutôt que d'être un indicateur de la perception catégorielle, la pente permet d'évaluer la précision de la frontière catégorielle : plus raide est la pente, plus haute est la précision catégorielle.

La perception catégorielle relative est clairement différente de la précision catégorielle. Les différences de PrC traduits par des changements dans la pente de la fonction d'identification affectent les scores de discrimination prédite, alors que la PCR est basée sur la différence entre les scores de discrimination prédits et observés. Cela signifie donc que la PrC est considéré comme facteur correctif quand on mesure la perception catégorielle, et par conséquent la précision et la perception catégorielle mesurent deux aspects potentiellement indépendants de la catégorisation.

L'effet de frontière phonémique (Wood, 1976) : L'EFP (ou effet de frontière phonémique) représente la différence de discrimination entre les stimuli qui

chevauchent la frontière phonémique et ceux situés à l'intérieur d'une catégorie phonémique. Il a également été utilisé comme critère d'évaluation de la perception catégorielle. L'EFP correspond au pic de discrimination qui coïncide habituellement avec la frontière d'identification, et fournit une évaluation globale de la perception catégorielle relative et de la précision catégorielle. Avec une PC parfaite, les scores de discrimination prédite et observée coïncident et l'EFP dépend uniquement de l'ampleur de la PrC. Quand la PC n'est pas parfaite, l'EFP dépend autant de la PCR que de la PrC, l'écart entre les scores prédits et observés pouvant soit renforcer, soit affaiblir la différence de discriminabilité entre paires inter et intra catégorielle. Elle donne donc une indication cumulée des deux déficits.

En somme, il y a trois méthodes envisageables pour évaluer la PC, se basant soit sur la précision de la frontière phonémique (mesure de pente de la fonction d'identification), soit sur l'écart de discriminabilité entre les scores de discrimination observés et prédits, soit sur les effets cumulés de la précision de la frontière et de la discriminabilité intracatégorielle (mesure d'EFP).

Enfin, il convient de rappeler qu'il existe deux échelles de quantification de réponses (prise en compte des réponses 'différent' et 'même-différent'), mais nous utiliserons uniquement l'échelle 'même – différent'. Cette double échelle permet de tenir compte des biais de réponse, et est équivalente au « d' » de la théorie de la décision (Swets, Dawes & Monahan, 2000 ; Swets, 1978).

1.1.4 Procédures Statistiques

Les Analyses de Variance (ANOVA) : Dans cette étude, nous avons utilisé le test de l'ANOVA à mesures répétées pour tester l'effet de l'âge sur les scores de discrimination phonémique. Ainsi, les critères de PCR (différence entre la discrimination prédite et observée), d'EFP (différence entre la perception des intracatégories et des intercatégories) et de PrC (précision catégorielle) ont été évalués par cette analyse.

Pour la PC, l'ANOVA comptait 3 facteurs : l'âge (6, 7 et 8 ans), le type de score (scores prédits vs observés), et les paires de stimuli (9 paires). La PCR a été évaluée sur la base de l'interaction type de score x paires de stimuli. L'effet de l'âge sur la PCR a été testé sur la base de l'interaction âge x type de score.

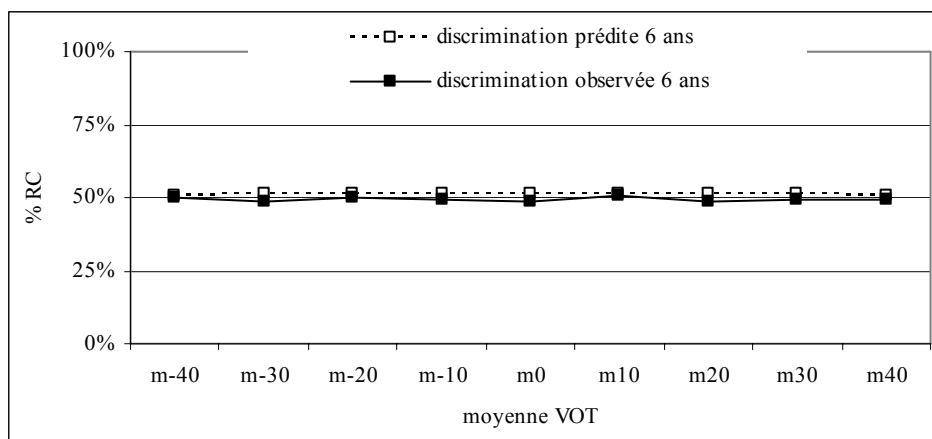
L'EFP a été testé avec une ANOVA à 2 facteurs : l'âge et les paires de stimuli (la moyenne des scores de discrimination observée des paires intracatégorielles et la moyenne des scores de discrimination observée des paires intercatégorielles). L'EFP a été évalué sur la base du facteur principal des paires de stimuli. L'effet de l'âge sur l'EFP a été testé sur la base de l'interaction âge x paires de stimuli.

La PrC a été testée dans une ANOVA à 1 facteur (l'âge). La pente était considérée comme la variable dépendante, et a été estimée séparément pour chaque sujet selon la procédure décrite ci-dessous.

La régression logistique : La régression logistique⁴⁸ nous a permis d'obtenir les pentes individuelles d'identification. La variable dépendante étant la réponse /to/ et les sujets et les stimuli étaient considérés comme variables explicatives. L'interaction stimuli x sujet permettait de calculer les pentes individuelles.

1.2 Résultats

1.2.1 La perception catégorielle relative



⁴⁸ La régression logistique permet de quantifier l'association entre une ou plusieurs variables (quantitatives comme le VOT, qualitatives comme le niveau de lecture) et un événement (en l'occurrence, les scores d'identification), après ajustement pour d'autres variables.

La régression logistique présente une certaine similarité avec la régression linéaire. La régression linéaire permet d'établir une équation qui prédit une variable dépendante Y (qui doit être une mesure, une variable qui peut prendre n'importe quelle valeur) à partir d'une (ou plusieurs) variables. Quant à la régression logistique, elle permet de trouver une équation qui prédit au mieux une variable dépendante qualitative à partir d'une ou plusieurs variables X. Certaines de ces variables X peuvent être quantitatives, d'autres peuvent être catégorielles. Les programmes de régression logistique utilisent une méthode itérative du maximum de vraisemblance.

Figure 36.a Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ des enfants vus à 6 ans. Sur le graphique, la moyenne VOT représente la moyenne des valeurs VOT des stimuli dans la paire (par exemple, pour la moyenne VOT de -40 ms : s-50 vs s-30 ms VOT)

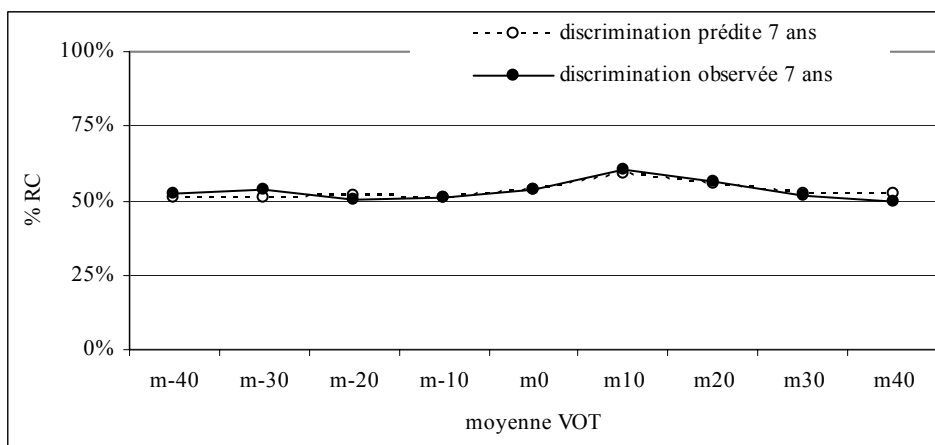


Figure 36.b Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ des enfants vus à 7 ans

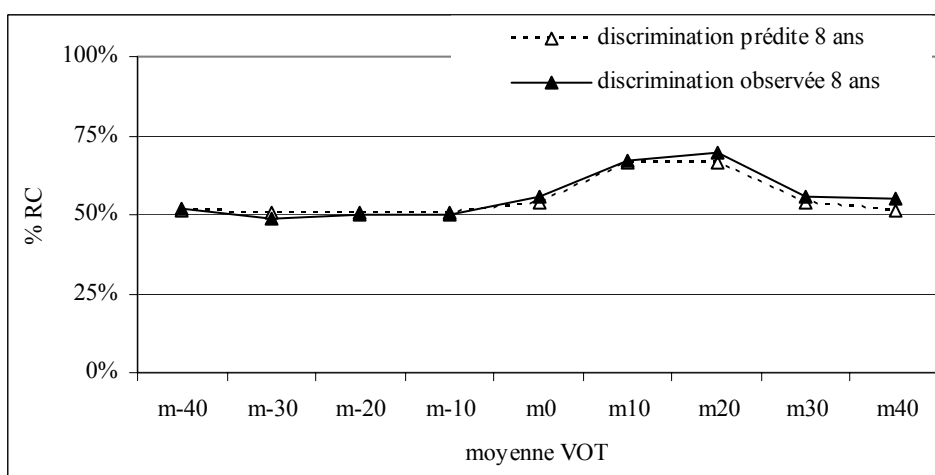


Figure 36.c Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ des enfants vus à 8 ans

Les effets de l'âge et des paires sont significatifs (respectivement $F(2,64)=45,45$ et $F(8,256)=23,05$; les deux $p<.01$). En revanche, le type de score n'a pas d'effet significatif ($F(1,32)<1$).

Les interactions âge x type de score et âge x paires sont significatives (respectivement $F(2,64)=6,45$ et $F(16,512)=16,12$; les deux $p<.01$) mais pas l'interaction type de score x paires ($F(8,256)<1$), ni la triple interaction âge x type de score x paires ($F(16,512)=1,22$ $p=0,25$).

Cette étude montre qu'il y a un effet de l'âge sur PCR (Figure 36.a, b, c).

1.2.2 Effet de frontière phonémique

L'âge et les paires ont un effet significatif (respectivement $F(2,64)=35,46$ et $F(1,32)=26,82$; les deux $p<.01$). De plus, l'interaction âge x paires est significative ($F(2,64)=23,53$ $p<.01$). Plus les enfants sont âgés, mieux la frontière phonémique est discriminée (Figure 36 a.b.c).

1.2.3 La précision catégorielle

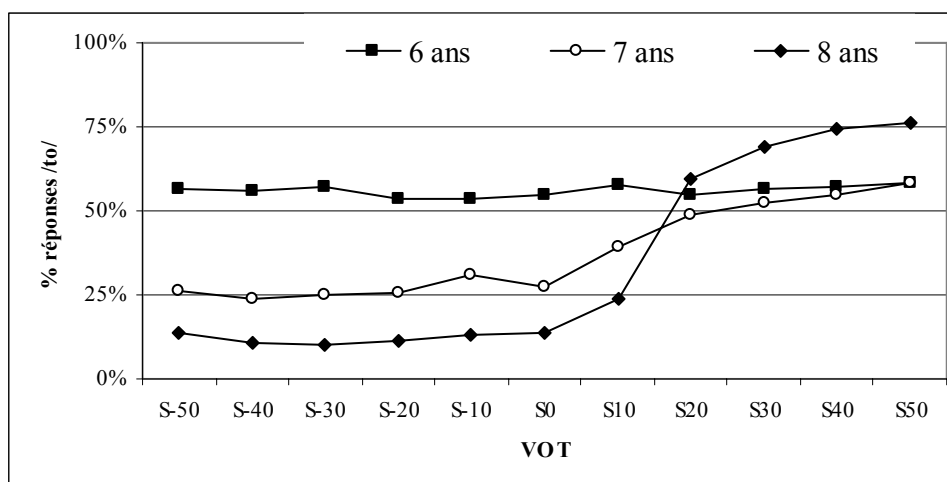


Figure 37 Fonctions d'identification des enfants suivis longitudinalement sur le continuum /do-to/

L'amélioration de la précision catégorielle est manifeste au cours du développement (Figure 37). L'âge présente un effet significatif sur la PRC ($F(2,64)=11,02$ $p<.01$).

A 6 ans, les enfants n'ont pas été capables de faire une différence entre les phonèmes /do/ et un /to/. Ce résultat est surprenant, étant donné l'existence de paires minimales faisant appel à ces phonèmes en français. A 7 ans, les enfants commencent à faire une différence entre les deux phonèmes, mais c'est à l'âge de 8 ans que l'on observe une véritable pente d'identification. Cette pente est faible, mais la frontière phonémique se situe à l'endroit approprié pour une distinction entre un /d/ et un /t/ en français.

De plus, on peut voir que la pente est plus faible pour les 7 ans vs 6 ans ($F(1,31)= 6,90$; $p <.05$), et pour les 8 ans vs 7 ans ($F(1,31)= 8,91$; $p <.01$). Cette différence de pente moyenne sur le graphique provient en partie de différences inter-individuelles de seuils, plus élevées pour les sujets les plus jeunes. Mais l'effet est significatif après le contrôle de ces différences.

1.3 Discussion

Cette étude longitudinale a permis de mettre en évidence l'effet de l'âge, et celui de l'apprentissage de la lecture, sur les capacités de perception catégorielle de la parole. Une inaptitude à percevoir les phonèmes suivie d'une nette amélioration de la capacité de perception constitue la conclusion principale de notre prime analyse. Cette évolution a été mise en évidence avec les trois critères d'évaluation de la PC.

Si l'on se réfère à la PCR (Liberman et al., 1967), nous pouvons constater une amélioration de celle-ci. Tout d'abord, comme le suggère Liberman et al., plus les courbes de discrimination prédite et observée sont proches, plus la perception est catégorielle⁴⁹. C'est ce que nous observons à chaque année d'évaluation (interaction type de score x paires non significative), nous pouvons donc affirmer que la perception est catégorielle. De plus, la PCR évolue au fur et à mesure des années (interaction âge x type de score significative). Cette conclusion n'est pas évidente graphiquement, les types de score étant toujours très proches. Cependant, l'examen minutieux des types de score montre un changement du pattern de discrimination au cours des années. En effet, alors qu'on observe à 6 ans que la discrimination prédite est supérieure à la discrimination observée (différence entre scores prédits et observés de discrimination : moyenne=1,63 ; e.t = 6,43), les deux types de discrimination sont égaux à 7 ans (moyenne=0,31 ; e.t = 8,80), et enfin, à 8 ans, la discrimination observée est supérieure à la discrimination prédite (moyenne=1,02 ; e.t = 9,72). Ce constat semble valoir pour un grand nombre d'enfants, étant donné qu'une très faible variance intra-groupe apparaît, rendant cette interaction âge x type de score significative.

En somme, même si elle est minime, il y a bien une évolution de la PCR avec l'âge. De même, l'EFP a évolué au cours des sessions. Plus les enfants sont âgés, plus l'EFP est fort, signifiant que la frontière phonémique (les paires à +10 et +20 ms de moyenne VOT) a été mieux discriminée à la fin des évaluations. En effet, alors que les enfants de 6 ans ne présentaient aucun EFP, ils commençaient à faire une différence entre les stimuli à 7 ans, révélant ainsi un léger EFP (6% d'EFP : 58% de RC en discrimination intercatégorielle, et 52% de discrimination intracatégorielle). Et les enfants de 8 ans

⁴⁹ Il est important de ne pas confondre la perception catégorielle relative (de Liberman et al., 1967) et la perception catégorielle comprise comme la capacité de catégorisation.

présentaient un fort EFP (17% d'EFP : 69% de discrimination intercatégorielle, et 52% de discrimination intracatégorielle).

Enfin, nous avons pu constater que la précision catégorielle s'améliorait également avec l'âge. Alors que les enfants ne parvenaient pas à faire de différence entre les syllabes /do/ et /to/ à l'âge de 6 ans, ces mêmes enfants, les deux années suivantes, ont montré une pente de plus en plus raide entre les stimuli à +10 et +20 ms VOT, localisation appropriée pour la frontière phonémique en français.

Il convient de comprendre pour quelle raison le phénomène de perception catégorielle n'a pas été mis en évidence chez les enfants de 6 ans, quel que soit le critère d'évaluation. Etant donné l'existence de paires minimales /do/ et /to/ dans le langage courant (on peut par exemple penser aux termes 'do' et 'tôt'), ces enfants, même jeunes, disposaient de toutes les capacités à les percevoir. Cet échec de mise en évidence de la perception catégorielle pour ce continuum est très certainement la conséquence de contraintes méthodologiques. La tâche était-elle trop difficile pour des enfants de cet âge : le continuum usait de syllabes certes naturelles, mais les modifications apportées à ces syllabes devaient les rendre trop différentes de la parole naturelle pour ne pas déstabiliser les enfants lors des tâches perceptives. De plus, il est possible que des tâches requérant des jugements explicites soient encore trop difficiles pour eux. Dans la tâche d'identification, tâche perceptive la plus aisée, ces enfants montrent des performances totalement aléatoires. Nous constatons les mêmes résultats dans la tâche de discrimination AX. Or dans cette dernière tâche, qui se révèle pourtant être la tâche de discrimination la plus simple, de nombreuses demandes cognitives sont en jeu : les enfants doivent écouter les stimuli, les identifier, puis les comparer (jugement implicite), et enfin donner une réponse explicite sur un clavier d'ordinateur pour un jugement 'même' ou 'différent'. Ces nombreuses opérations risquent fortement de faire échouer un jeune enfant. C'est la raison pour laquelle nous obtenons un seuil plancher de réponses. On ne peut donc pas dire que la perception de ces enfants n'est pas catégorielle, on ne peut que souligner la nécessité d'une procédure méthodologique plus adaptée à la capacité des sujets testés.

Cette étude longitudinale a permis de répliquer les résultats observés dans la littérature, comme ceux de Hazan et Barrett (2000) et Burnham (1991), qui avaient constaté une tendance développementale de la catégorisation phonémique.

Or bien que l'influence de l'âge sur la capacité de catégorisation des phonèmes soit indéniable, un événement d'une plus grande importance semble être la cause de cet accroissement de la PC entre 6 et 7 ans : c'est l'apprentissage de la lecture. L'apprentissage de la lecture, par la mise en place des correspondances graphèmes-phonèmes (CGP), nécessite des représentations phonologiques bien spécifiées. Une particularité de la lecture est qu'elle entraîne elle-même les capacités dont elle use (Stanovich, 1986) : l'apprentissage de la lecture a donc permis aux enfants de disposer de catégories phonémiques mieux définies. De plus, étant donné la plus forte amélioration des capacités de PC entre 7 et 8 ans, il semble que l'expérience de la lecture (une plus grande maîtrise de la lecture) ait joué un rôle dans le développement de la PC. Cette meilleure définition des catégories phonémiques ne peut qu'avoir un fort impact sur la capacité d'identification et de discrimination, et c'est ce que nous avons observé dans notre étude. Ces résultats rappellent ceux déjà observés dans la littérature (Burnham et al., 2002) ou dans des recherches adjacentes aux nôtres avec la même population, mais avec un autre matériel perceptif (identification et discrimination de contrastes fricatifs : Messaoud-Galusi, 2003).

1.4 Conclusion

En conclusion, les trois critères d'évaluation de la PC nous ont permis de confirmer nos hypothèses : l'âge et/ou l'apprentissage de la lecture influencent les capacités de perception de la parole. L'effet de l'apprentissage de la lecture est sans doute le plus intéressant étant donné son impact dans un petit laps de temps. C'est la raison pour laquelle il nous a paru pertinent d'évaluer le rôle précis du niveau de lecture sur les performances de PC. Une analyse comparative entre des sujets normolecteurs et dyslexiques devrait nous renseigner davantage sur l'influence du niveau de lecture sur la cohérence de la PC.

2 Etude 2 : Le déficit de PC et la perception allophonique

La première étude nous a permis de constater l'évolution de la perception catégorielle en fonction de l'âge, et / ou de l'apprentissage de la lecture. Notre seconde étude avait pour objectif d'observer tout particulièrement les effets potentiels du niveau de lecture sur les performances de perception de la parole. A cette fin, des enfants de 10 ans, dyslexiques et bons lecteurs, ont été évalués.

Dans un premier temps, nous avons cherché à répliquer le déficit de PC chez les enfants dyslexiques (Serniclaes et al., 2001). Dans le cas où l'hypothèse d'un déficit de PC était répliquée, nos investigations porteraient alors sur la nature du déficit des dyslexiques. Nous voulions en particulier évaluer si les dyslexiques présentaient un mode de perception particulier, à savoir un mode de perception allophonique (Serniclaes et al., 2004). Nous avons pour cela utilisé les différents critères d'évaluation de la perception catégorielle que sont la PrC, la PCR et l'AFP.

Cette étude qui portait sur la nature et l'origine du déficit des dyslexiques, a ensuite permis d'examiner la relation qu'il existait entre la perception allophonique et les difficultés de lecture.

2.1 Méthodologie

2.1.1 Population

Pour cette étude, 21 enfants de 10 ans ont été évalués (11 filles, 10 garçons)⁵⁰. Tous les enfants qui ont collaboré à cette étude devaient répondre à plusieurs critères. Ils devaient être de langue maternelle française, ne pas avoir connu de troubles auditifs et faire preuve d'un QI verbal et non verbal normal⁵¹. Afin de déterminer si les sujets correspondaient à ces critères, ils ont passé divers tests cognitifs. L'échec à certains de ces tests pouvait être rédhibitoire pour la participation de certains sujets.

⁵⁰ Cette étude impliquait 29 enfants de 10 ans, mais seules les données des enfants correspondant au cut-off ont été analysées (c'est-à-dire des dyslexiques : au moins 18 mois de retard de lecture et des bons lecteurs : âge lexique supérieur ou égal à l'âge chronologique). On pourrait considérer les enfants exclus comme des mauvais lecteurs.

⁵¹ Seuls les critères d'exclusion de QI verbal et non verbal ont été contrôlés avec les enfants. Les critères de monolinguisme et d'absence de problème auditif ont été vérifiés à l'aide d'un questionnaire à l'attention des parents.

2.1.2 Matériel Linguistique et Procédures

L'Alouette⁵² (Lefavrais, 1965) : Notre étude consistait en l'analyse des performances de catégorisation chez les dyslexiques et bons lecteurs. Afin d'établir cette dichotomie, il fallait déterminer l'âge lexique de chaque enfant et le test de l'Alouette nous a permis de le faire (Lefavrais, 1965). A la suite de ce test, les enfants ont été classés en deux groupes : un groupe de dyslexiques (DYS)⁵³, dans lequel étaient inclus les 10 enfants dont le retard de lecture par rapport à l'âge relatif de lecture attendu à cette époque de l'année pour des enfants de 10 ans était supérieur ou égal à 18 mois ; et un groupe de 11 bons lecteurs (BL) dont l'âge relatif de lecture observé était supérieur ou égal à l'âge relatif attendu. Tous les enfants ont été testés au sein de leur établissement, à la fin de l'année scolaire (mai et juin).

Les Matrices Progressives de Raven⁵⁴ (Raven, 1976) : Tous les enfants de 10 ans disposaient d'un score de QI non verbal normal pour participer à cette étude.

L'EVIP (Echelle de Vocabulaire en Images Peabody ; Dunn, Theriault-Wallen & Dunn (1993) : Le test de l'EVIP a pour but de définir le QI verbal d'un individu. Dans ce test, l'expérimentateur présente une planche sur laquelle apparaissent 4 images, le sujet devant montrer l'image correspondant au mot prononcé par l'expérimentateur. Le test est interrompu lorsque le sujet produit 6 erreurs dans une série de 8 réponses consécutives

⁵² Confère page 120 section 1.1.2 pour une description du test de l'Alouette.

⁵³ Le groupe des dyslexiques comprend quatre enfants dépistés dyslexiques chez une orthophoniste, dont trois proviennent d'un service spécialisé d'hôpital de jour (service de Neuropédiatrie de l'hôpital du Kremlin-Bicêtre).

⁵⁴ Confère page 120 section 1.1.2 pour une description des Matrices de Raven

| | Moyenne | Age chronologique | Age lexique | QI verbal (scores bruts) | QI non verbal (scores bruts) |
|--------------------------------|---------------------|-------------------|-------------|--------------------------|------------------------------|
| Dyslexiques (N=10) | | 9,07 ans | 7,10 ans | | |
| | | 115 mois | 89 mois | 120 | 29 |
| | <i>écart type</i> | 7 | 8 | 12 | 4 |
| | <i>distribution</i> | 109 à 123 | 79 à 99 | 107 à 1395 | 21 à 34 |
| Bons lecteurs (N=11) | | 9, 10 ans | 11 ans | | |
| | | 118 mois | 132 mois | 137 | 32 |
| | <i>écart type</i> | 3 | 9 | 8 | 3 |
| | <i>distribution</i> | 113 à 123 | 122 à 146 | 128 à 150 | 27 à 35 |

Tableau 4 Moyennes et écart-types des âges chronologiques et lexiques, et les scores bruts des QI verbal et non verbal des enfants de 10 ans Dyslexiques et Bons Lecteurs

Les différences d'âge chronologique et de QI non verbal entre dyslexiques et bons lecteurs ne sont pas significatives (respectivement $t(19)=-,368$ $p=,71$; $t(19)=-1,34$ $p=,19$). Par contre, comme on peut le constater dans le Tableau 4, le QI verbal des bons lecteurs est significativement meilleur que celui des dyslexiques ($t(19)=-3,65$ $p<.01$). Ces résultats répliquent « l'effet Matthieu », c'est-à-dire que le niveau de lecture est lié au QI verbal (Stanovich, 1986).

2.1.3 Matériel Perceptif et Procédures

Le continuum /do-to/ a également été utilisé pour cette étude (pour une description de ce continuum, confère la section 1.1.3.1). Les enfants ont été soumis à une tâche d'identification et de discrimination (pour une description des tâches perceptives, confère la section 1.1.3.2). Enfin, les critères de PC, d'EFP et de PRC ont été examinés afin de tester nos hypothèses (confère la section 1.1.3.3 pour une description des critères d'évaluation).

2.1.4 Procédures Statistiques

L'Analyse de Variance (ANOVA) : Dans cette étude, une ANOVA à mesures répétées nous a permis de tester l'effet du niveau de lecture sur les scores de discrimination phonémique. Ainsi les critères de PCR et d'EFP ont été évalués par cette analyse. L'ANOVA comptait 2 facteurs intra-sujets: le type de score (scores prédits vs observés), les paires de stimuli (9 paires), et 1 facteur inter-sujets : le groupe de lecture (BL vs DYS). La PCR a été évaluée sur la base de l'interaction paires x type de score.

L'effet du niveau de lecture sur la PCR a été évalué sur la base de l'interaction paires x type de score x groupe de lecture.

L'EFP a été testé avec une ANOVA à 1 facteur intra-sujets : les paires de stimuli (moyenne de discrimination observée des paires intracatégorielles et moyenne de discrimination observée des paires intercatégorielles), et 1 facteur inter-sujets : le groupe de lecture. L'EFP a été évalué sur la base du facteur des paires de stimuli. L'effet du niveau de lecture sur l'EFP a été testé sur la base de l'interaction paires x groupe de lecture.

La PrC a été testée dans une ANOVA à 1 facteur (le groupe de lecture) en utilisant la pente comme critère. La pente était considérée comme variable dépendante, et a été estimée séparément pour chaque sujet grâce à une régression logistique. L'interaction pente x groupe de lecture nous permettait de tester l'effet du niveau de lecture sur la PrC.

La régression logistique : La régression logistique nous a permis d'obtenir les pentes individuelles d'identification. La variable dépendante était la réponse /to/, et les sujets et stimuli étaient considérés comme variables explicatives. L'interaction stimuli x sujet permettait de calculer les pentes individuelles.

Corrélations de Pearson, ANCOVA et Analyse Discriminante : Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux relations entre la PC et la lecture. Afin d'évaluer les relations existant entre la perception de la parole et les capacités de lecture, nous avons tout d'abord conduit une analyse de corrélation de Pearson. Ainsi, les liens entre la PCR, la PrC et l'EFP et le temps relatif de lecture ont été étudiés.

Ensuite, afin de vérifier si la différence de PrC était dû à des différences de groupe, et non pas à des différences à l'intérieur d'un même groupe, nous avons conduit une Ancova.

Enfin, une analyse discriminante nous a permis de connaître le pourcentage de classification correcte des sujets en fonction de leur précision catégorielle.

2.2 Résultats

2.2.1 La perception catégorielle

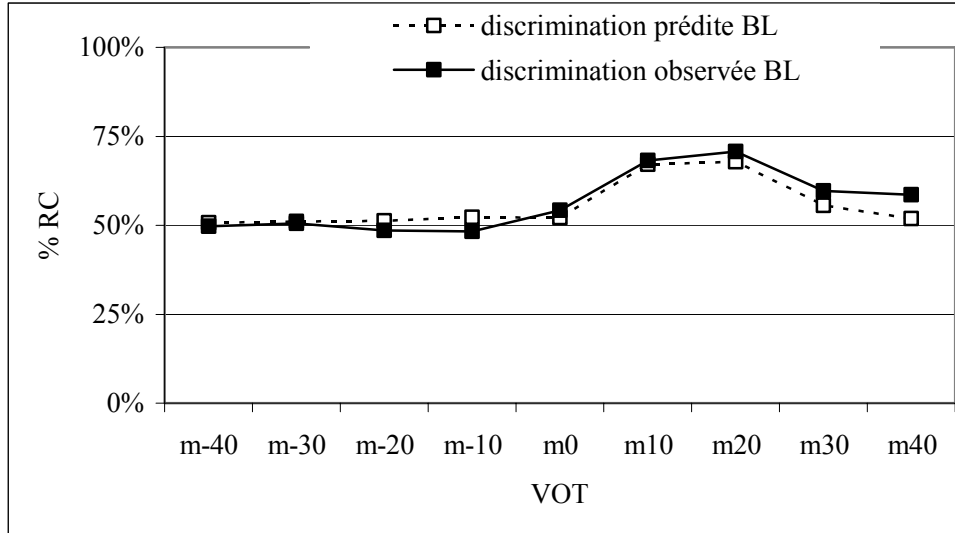


Figure 38.a Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ chez les BL de 10 ans

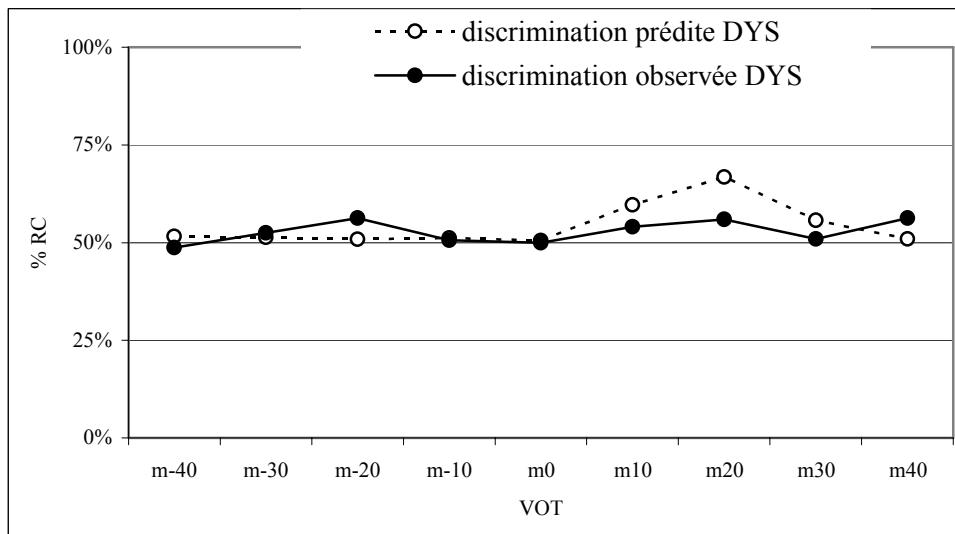


Figure 38.b Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ chez les DYS de 10 ans

L'effet des paires sur la PCR est significatif ($F(8,152)=14,76, p<.01$). En revanche, les effets du type de score et du groupe ne sont pas significatifs (respectivement $F(1,19)<1$; $F(1,19)=2,75, p = ,11$). Les interactions paires x groupe de lecture et paires x type de score sont significatives (respectivement $F(8,152)=2,64, p<.01$; $F(8,152)=2,17, p<.05$). En revanche, l'interaction type de score x groupe de lecture n'est pas significative

($F(1,19)=1,64$ $p=0,21$). Enfin, la triple interaction type de score x paires x groupe de lecture apparaît significative ($F(8,152)=2,84$ $p < .01$).

Cette dernière interaction montre que le niveau de lecture influence le niveau de perception catégorielle, les écarts entre les scores prédits et observés étant plus importants pour les dyslexiques, en particulier pour les paires centrées sur -20, +10 et +20 ms VOT (Figure 38 a et b).

2.2.2 L'effet de frontière phonémique

Les paires ont un effet significatif ($F(1,19)=18,88$ $p < .01$), comme le groupe de lecture ($F(1,19)=5,53$ $p < .05$). De même, l'interaction paires x groupe de lecture est significative ($F(1,19)=9,55$ $p < .01$). Les paires intercatégorielles et intracatégorielles ne bénéficient pas du même traitement : les paires intercatégorielles ont été mieux discriminées, tout au moins chez les enfants bons lecteurs. En effet, ils présentent un EFP de 17 % (69% de RC en intercatégorie, 53% de RC en intracatégorie). Par contre, les dyslexiques ne présentent aucun EFP (3% d'EFP, avec 55% de discrimination intercatégorielle et 52% de discrimination intracatégorielle).

2.2.3 La précision catégorielle

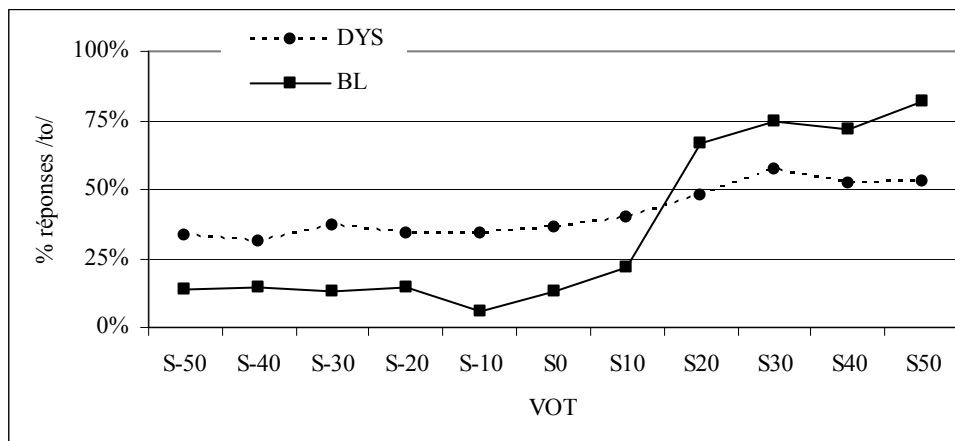


Figure 39 Fonctions d'identification des BL et DYS de 10 ans sur le continuum /do-to/

Aucune différence de pente n'est constatée entre les dyslexiques et les bons lecteurs ($F(1,20) < 1$). Il semble que la différence de pente moyenne, pourtant manifeste sur le graphique (Figure 39), provienne en partie de différences inter individuelles dans la localisation de la frontière (le seuil), plus élevées pour les dyslexiques. En effet, on peut

observer une plus grande variabilité inter-individuelle dans la localisation de la frontière pour les dyslexiques ($F(1,20)=237,11$ $p<.01$).

2.2.4 Relations entre capacité de perception de la parole et capacité de lecture

| | | Age Relatif | PrC | EFP |
|------------|-------------|---------------|------|------|
| PrC | Pearson (r) | -0,14 | | |
| | Signif. | 0,56 | | |
| | N | 21 | | |
| EFP | Pearson (r) | 0,51 * | 0,31 | |
| | Signif. | 0,02 | 0,17 | |
| | N | 21 | 21 | |
| PCR | Pearson (r) | -0,31 | 0,17 | 0,01 |
| | Signif. | 0,17 | 0,46 | 0,98 |
| | N | 21 | 21 | 21 |

Tableau 5 Corrélations entre capacité de lecture et la capacité de perception de la parole (PCR, EFP, PrC) ; seuils de significativité : ** : $p<.01$; * : $p<.05$

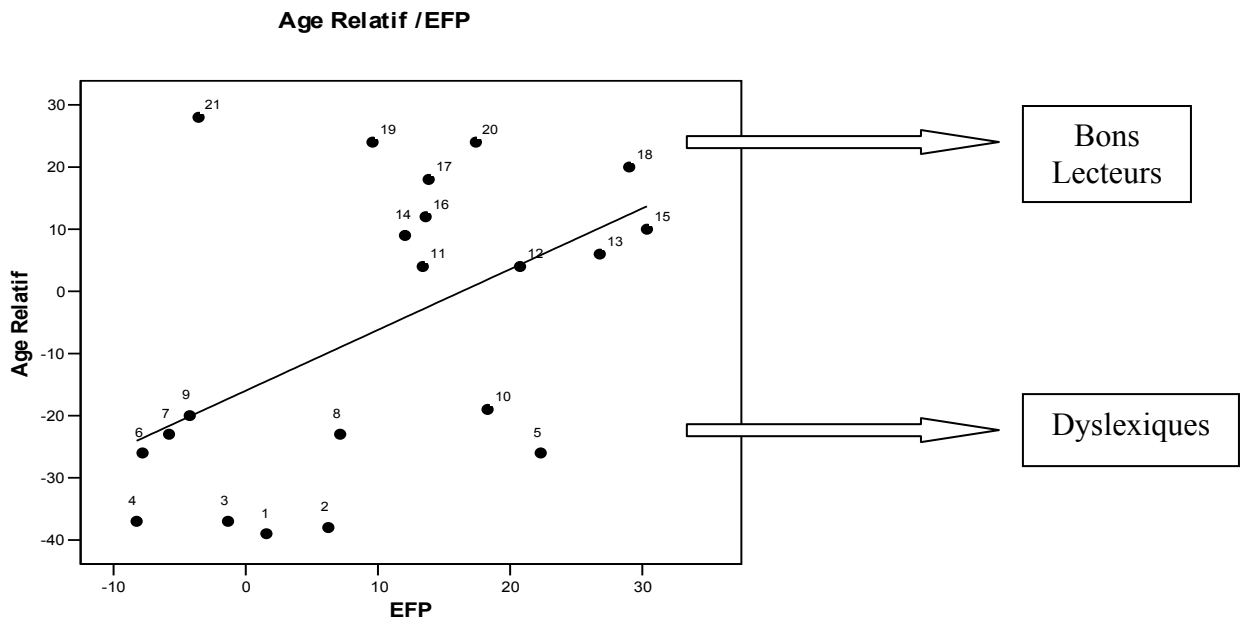


Figure 40 Diagramme de dispersion présentant le lien entre capacité de lecture et EFP avec les données des mauvais lecteurs (DYS : 1 à 10 ; BL : 11 à 21).

Nous constatons une corrélation positive significative entre l'âge relatif de lecture et l'EFP (Tableau 5) : plus le niveau de lecture est bon, mieux la frontière phonémique est discriminée. Ces résultats vont dans le sens de ceux constatés lors des analyses des tests de perception, qui montraient une différence d'EFP selon que les sujets appartiennent au groupe des BL ou des DYS. De même, sur le diagramme de dispersion (Figure 40), on peut remarquer deux « nuages de points » bien distincts : la grande majorité des bons lecteurs montrant un EFP au moins supérieur à 10% d'EFP (ce qui signifie que les paires représentant la frontière phonémique ont été mieux discriminées que celles à l'intérieur d'une catégorie phonémique), et la plupart des dyslexiques montrant un EFP négatif ou inférieur à 10%.

En revanche, il n'apparaît pas de lien entre l'âge relatif de lecture et la PCR, ni entre l'âge relatif de lecture et la PrC.

L'analyse de Covariance révèle un EFP non significatif ($F(1,18) < 1$), alors que le groupe de lecture présente un effet significatif ($F(1,18) = 95,25$ $p < .001$). Ainsi, les différences de perception de la frontière phonémique sont bien la conséquence de la capacité de lecture des sujets, et non pas la conséquence de différences de capacités à l'intérieur d'un même groupe de lecture.

Enfin, l'analyse discriminante nous a permis d'évaluer si la discrimination de la frontière phonémique disposait d'un pouvoir de classification. Il s'avère que les performances de perception de la frontière phonémique permettent de classer correctement 81% des individus.

2.3 Discussion

2.3.1 Un déficit de PC observé chez les dyslexiques

La population des enfants de 10 ans nous a donc permis d'évaluer l'effet du niveau de lecture sur la PC. Ces résultats permettent de mieux connaître la nature du déficit de PC des dyslexiques, son origine, ainsi que son implication directe dans l'acquisition de la lecture.

Jusqu'à présent, la littérature rapportait que le déficit de PC se manifestait chez les dyslexiques, quel que soit le critère d'évaluation utilisé. La précision catégorielle (Godfrey et al, 1981 ; Werker et Tees, 1987 ; Brandt et Rosen, 1981 ; Reed, 1989 ; Manis et al, 1996), la perception catégorielle (Godfrey et al., 1981 ; Werker et al., 1987), ou encore l'effet de frontière phonémique (Brandt et Rosen, 1981 ; DeWeirdt, 1988 ; Reed, 1989). D'autre part, Serniclaes et al. (2001) ont fourni des précisions quant au déficit de PC : il se caractérise non seulement par une faiblesse à discriminer des paires intercatégorielles, mais également par une discrimination accrue des différences intracatégorielles.

Dans notre étude, nous avons constaté de fortes différences de PCR et d'EFP dans les performances de perception phonémique entre les bons lecteurs (BL) et les dyslexiques (DYS). En revanche, la PrC ne révèle pas une différence de pente entre les deux groupes de lecture.

Tout d'abord, concernant la PrC, bien que les données graphiques nous laissent penser qu'il existe de fortes différences de pente, la tâche d'identification ne reflète pas de différence entre les groupes (l'interaction pente x groupe de lecture n'est pas significative). Il semble que cet effet soit obtenu en raison d'une plus grande variabilité inter-individuelle de la frontière perceptive chez les dyslexiques. Une explication plausible de ces résultats peut être liée au type d'épreuve : l'épreuve d'identification est facile car elle nécessite moins de charge en mémoire. Cela peut alors expliquer l'absence de différences entre les groupes.

D'autre part, si l'on s'intéresse aux critères de PCR et l'EFP, il apparaît une nette différence entre les performances des BL et celles des DYS. Les BL perçoivent les oppositions de voisement de façon plus catégorielle que les DYS. Les BL révèlent un large pic de discrimination à la frontière phonémique (aux paires à +10 et +20 ms de moyenne VOT, Figure 38.a), très proche du pic prédit à partir des données d'identification, répondant ainsi aux exigences du critère de PCR. De plus, on peut constater un fort EFP : les paires chevauchant la frontière phonémique ont été fortement discriminées (69% de discrimination intercatégorielle), alors que les paires de stimuli appartenant à une même catégorie phonémique ne l'ont pas été (53% de discrimination intracatégorielle).

Les DYS, en revanche, présentent des résultats assez différents. Ce groupe connaît davantage de difficulté à distinguer les phonèmes, comme nous pouvons le constater par les critères de PCR et d'EFPP (Figure 38.b). En effet, leur pic de discrimination à la frontière phonémique est plus faible que celui prédit par les données d'identification, et il est également beaucoup moins large que celui des BL. De plus, il n'apparaît aucun EFPP, la discrimination intercatégorielle étant pratiquement équivalente à la discrimination intracatégorielle (55% de discrimination intercatégorielle et 52% de discrimination intracatégorielle, ce taux de discrimination correcte suggérant une discrimination relativement aléatoire du continuum). Les DYS, comparativement aux BL, discriminent donc plus difficilement des phonèmes appartenant à deux catégories différentes. Ce constat représente déjà une avancée notable, et nous permet d'attester le réel déficit de PC des DYS.

2.3.2 Une meilleure discriminabilité intracatégorielle chez les dyslexiques

Le point le plus important est que les DYS exhibent un second pic de discrimination, qui n'était pas prédit à partir des données d'identification. Ce pic, qui apparaît à la moyenne de -20 ms VOT, est la conséquence d'une discrimination significativement plus haute lors de la présentation d'oppositions appartenant au même phonème : les DYS ont considéré que les stimuli à -30 et -10 ms VOT n'appartenaient pas à la même catégorie phonémique. Ces résultats fournissent une confirmation supplémentaire du déficit de PC des DYS, et attestent que les DYS disposent de meilleures capacités de discrimination intracatégorielles.

Le fait que les DYS présentent un pic de discrimination intracatégoriel plus élevé que celui des BL suggèrent qu'ils perçoivent la parole de manière allophonique. En effet, le pic intracatégoriel, qui se situe à -20 ms VOT, correspond approximativement à une des deux frontières phonémiques dans les langues à 3 catégories de VOT. On a déjà vu que dans ces langues, les frontières phonémiques se situent approximativement à -30 et +30 ms VOT (pour une description des catégories phonémiques de voisement selon les langues, voir Figure 27 page 92).

Afin d'expliquer le second pic des dyslexiques, il peut être intéressant d'imaginer quels auditeurs étrangers auraient pu effectuer leur catégorisation de manière similaire aux dyslexiques. Ce pic pourrait correspondre à une discrimination faite par des auditeurs de

la langue thaï, qui présente une frontière phonémique aux environs de 30 ms de prévoisement (Lisker et Abramson, 1970). Bien entendu, il est prématuré d'établir un parallèle entre l'éventuel pic de catégorisation d'auditeurs Thaïs et celui exhibé par nos sujets sans étude approfondie. Mais il semble indéniable que les DYS aient catégorisé approximativement à cet endroit, et cette coïncidence mérite d'être évoquée. Les langues ont donc des catégories phonémiques se distribuant en plusieurs endroits d'un continuum, et ces différentes places ne sont pas aléatoires. Dès lors, les DYS n'auraient pas choisi de façon arbitraire la place de leur second pic de discrimination.

Nos résultats ne sont pas sans rappeler ceux obtenus précédemment par Serniclaes et al. (2001 ; 2004). Une étude avait démontré un accroissement général de la discriminabilité intra catégorielle (2001), puis avaient constaté une discrimination dans un mode allophonique sur un continuum de voisement (2004 a et b).

2.3.3 Origine de la perception allophonique : un déficit de couplages

Werker et Tees (1984) ont suggéré que les nourrissons naissent avec des prédispositions leur permettant de percevoir tous les contrastes phonétiques possibles. Ces prédispositions seraient maintenues ou neutralisées selon l'existence des contrastes dans l'environnement linguistique. De nombreuses expériences (Eimas et al., 1971 ; Lasky et al., 1975 ; Aslin et al., 1981 ; Streeter, 1976) ont démontré que les nouveau-nés pouvaient discriminer différentes catégories phonétiques, même si ces catégories n'étaient pas présentes dans leur langue maternelle. Cette capacité innée à distinguer tous les contrastes phonétiques semble décliner au cours du développement, étant donnée l'absence d'expérience linguistique spécifique à la perception de ces contrastes. De plus, Werker a démontré que cette capacité disparaissait dans la première année de la vie, et, qu'au lieu de perdre cette capacité, les individus modifieraient leur mode de traitement linguistique. Or le recodage phonologique ne se limite pas à désactiver certaines prédispositions, mais s'accompagne également de couplages entre prédispositions. Les couplages ont cet intérêt fonctionnel évident de générer des traits plus invariants. Les traits issus du couplage sont donc propres à la langue de l'auditeur, et de nature phonologique. De telles modifications aussi profondes ne peuvent se dérouler sans problèmes, et on doit s'attendre à des déficits de couplage au cours du développement perceptif. Ainsi, nous attendons que de nombreux dyslexiques soient touchés par cette déficience dans les processus de couplage.

Et c'est ce que nous constatons chez les DYS de notre étude. En effet, en français, la frontière phonémique se localise à 0 ms VOT en moyenne, ce qui montre que les VOT positif et négatif ont le même poids perceptif en français. L'équivalence entre le VOT négatif et positif s'explique par un couplage entre les prédispositions de voisement et d'aspiration (Serniclaes, 1987). Le pic de discrimination des DYS localisé à -20 ms de moyenne VOT semble donc correspondre à une sensibilité spécifique au trait de voisement. Si le couplage fonctionnait normalement, la sensibilité aux traits phonétiques ne devrait pas se manifester indépendamment de la catégorisation phonémique. Et il semble que les données recueillies dans notre étude soutiennent cette hypothèse : le déficit de PC des DYS trouverait son origine dans une absence, ou une faiblesse, de couplage phonologique. En effet, le fait que les DYS aient tout aussi bien perçu la frontière phonétique de voisement (à -20 ms de moyenne VOT) que la frontière phonémique (à +10 ou +20 ms de moyenne VOT) suggère qu'ils n'ont pas développé de couplage entre les prédispositions de voisement et d'aspiration. Ainsi, chez les DYS, le développement perceptif se limiterait à sélectionner les prédispositions pertinentes dans leur langue maternelle, sans pour autant procéder aux couplages des prédispositions allophoniques (c'est-à-dire sans coupler celles qui sont redondantes).

Ce mode de perception peut être qualifié d'allophonique car il se fonde sur des distinctions qui ne jouent normalement pas de rôle lexical autonome dans la langue native du sujet.

La perception allophonique semble correspondre à une étape du développement perceptif normal puisqu'on la retrouve chez des enfants plus jeunes mais de même âge de lecture (Serniclaes et al., 2004a ; Bogliotti, 2003, 2004). Il s'agirait donc d'une déviance plutôt que d'un retard développemental qui, tout en ayant des conséquences limitées sur le langage oral, aurait de fortes répercussions sur le langage écrit. La présence d'un retard au début du développement de la lecture peut avoir des conséquences difficilement récupérables dans la mesure où des stratégies de lecture inappropriées se mettent en place.

2.3.4 La perception allophonique et la lecture

L'absence de perception phonologique pourrait avoir des conséquences directes sur l'acquisition de la lecture. En effet, nous savons que la qualité de la procédure phonologique peut conditionner l'apprentissage de la lecture : des représentations

phonologiques bien spécifiées permettront une mise en place efficace des correspondances graphèmes-phonèmes, assurant ainsi une meilleure acquisition de la lecture. Ainsi, l'absence de couplage entre prédispositions compliquerait la formation de ces correspondances entre graphèmes et phonèmes. Ce résultat est aussi valable dans un système alphabétique transparent, étant donné que chaque graphème devra être associé à plusieurs unités différentes de nature allophonique (Figure 41).

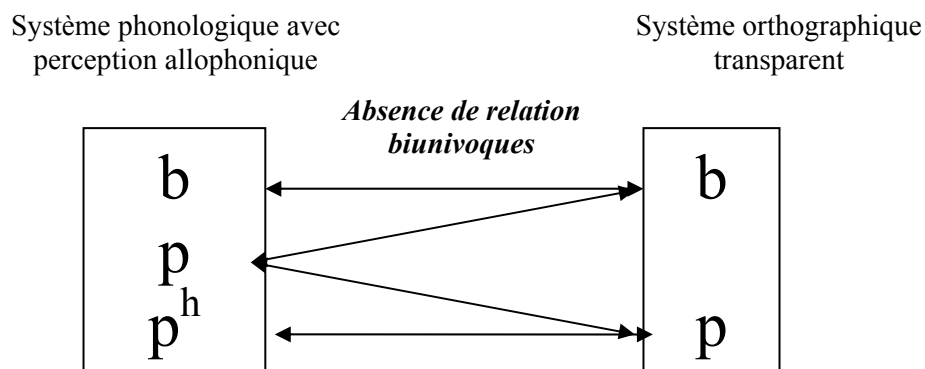


Figure 41 Relations non biunivoques entre unités allophoniques et unités graphémiques dans un système orthographique transparent, résultant d'une absence de couplage.

2.4 Conclusion

Ainsi, les données recueillies dans notre étude confirment l'influence du niveau de lecture sur l'apparition et la cohérence de la perception catégorielle. Les dyslexiques montrent un déficit de perception catégorielle, et ce déficit semble provenir d'un déficit de couplage entre prédispositions phonétiques au cours du développement perceptif. Ce déficit résulterait en un mode de perception allophonique : les dyslexiques se montrent ainsi capables de différencier des variants acoustiques de la même catégorie phonémique en français, alors que ces variants représentent deux phonèmes différents dans d'autres langues. Ces derniers ne parviendraient donc pas à coupler les traits phonétiques pour obtenir des traits phonologiques, et la préservation de la capacité à percevoir des oppositions phonétiques les empêcherait de créer des catégories fines pour chaque phonème de leur langue. La perception allophonique offre donc une explication

à la dyslexie : l'enfant qui perçoit la parole en allophones plutôt qu'en phonèmes présente un handicap évident pour découvrir la relation entre les unités du langage oral et celles d'une écriture alphabétique, étant entendu que le degré d'opacité de l'orthographe ajoute une difficulté supplémentaire.

3 Etude 3 : Persistance du déficit de PC

3.1 Méthodologie

3.1.1 Population

58 adolescents de 16 ans ont été testés pour cette étude. Tous les enfants qui ont participé aux tests perceptifs font partie d'une cohorte évaluée de manière longitudinale depuis l'âge de 5 ans.

Au départ de cette étude longitudinale, 400 enfants ont été sélectionnés, et 373 de ces enfants ont été suivis de 5 à 8 ans. Les enfants de 5 ans ont été sélectionnés selon deux critères. Tout d'abord, ils ne devaient pas présenter de déficits pouvant entraver les apprentissages académiques : pas de troubles sensoriels (auditifs et visuels), pas de troubles psychologiques, pas de déficit linguistique, devaient être monolingues francophones, et disposer d'un QI verbal et non verbal normal. De plus, ils devaient être non lecteurs en GSM.

La dichotomie entre dyslexiques et normolecteurs a été établie lorsque les sujets avaient 8 ans (Sprenger-Charolles et al., 2000). Sur les 373 enfants évalués entre 5 et 8 ans, 52 étaient définis comme lecteurs en difficulté. 33 dyslexiques sur 52 ont été revus à 10 ans, puis 26 d'entre eux ont été revus à l'âge de 17 ans pour notre étude spécifiquement⁵⁵. En ce qui concerne les normolecteurs de notre étude, ils proviennent de 2 groupes. Le premier groupe était constitué de 40 des 60 enfants qui ont été suivis jusqu'à 10 ans (voir Sprenger-Charolles et Colé, 2003). A 10 ans, il restait 29 normolecteurs, et, à 17 ans, nous en avons revu 23. Les normolecteurs provenant du second groupe n'ont été suivis que jusqu'à l'âge de 8 ans, et 21 d'entre eux ont été revus à 17 ans. Ainsi, pour notre étude, nous disposons de 35 adolescents normolecteurs et 23 adolescents dyslexiques (23 filles, 35 garçons)⁵⁶.

⁵⁵ On peut constater le nombre de dyslexiques qui s'amointrit, en raison du changement de classification de certains sujets. En effet, sur les 45 enfants revus à 10-11 ans, 33 étaient dyslexiques (2 ans de retard de lecture, âge lexique entre 83 et 106 mois), et 12 étaient 'low-readers' (LR, au moins 1 an de retard en lecture, âge lexique entre 104 et 115 mois).

⁵⁶ Nous n'avons pas pris en compte les résultats de 3 dyslexiques et 9 normolecteurs en raison d'un problème de recueil de données et / ou de recueil de données avec une méthodologie différente.

3.1.2 Matériel Linguistique et Procédures

Test de lecture de l'Alouette : Les enfants de 17 ans ont dû une nouvelle fois être évalué en lecture. Or, le test de l'Alouette a plafonné pour les normolecteurs (comme nous pouvons le constater dans le Tableau 5, les scores des normolecteurs n'excèdent pas 14,04 ans. Ce résultat est la conséquence de la limite de la cotation à 14,05 ans d'âge lexique du test de l'Alouette. Cette cotation ne convient donc pas aux résultats réellement obtenus). Ainsi, afin d'obtenir une mesure efficace, nous avons transformé les scores de l'Alouette en temps de lecture.

Pour les enfants qui avaient lu le texte en moins de 3 minutes, nous avons rajouté une seconde par erreur de lecture au score final de lecture. Pour les enfants qui n'ont pas lu le texte entièrement, nous avons pris le score de 180 secondes (temps maximal de lecture autorisé), auquel nous avons ajouté 1 seconde pour chaque mot non lu, ou par erreur commise sur un mot effectivement lu.

Le temps de lecture n'a été utile que pour l'évaluation des relations entre capacités de perception de la parole et lecture (analyses de corrélations de Pearson, Ancova et analyse discriminante). Pour l'analyse des capacités de perception de la parole, nous avons utilisé la classification normolecteurs / dyslexiques de Sprenger-Charolles et al. (2000).

Test de QI verbal (EVIP) et non verbal (RAVEN)⁵⁷ : Ces deux tests nous ont permis de nous assurer de d'un QI verbal et non verbal normal chez tous les sujets de l'étude. Etant donné que les sujets étaient plus âgés, ils étaient confrontés aux Matrices progressives avancées comprenant 60 exercices.

⁵⁷ Voir section 1.1.2 page 120 pour une description des Matrices de Raven et section 2.1.2. page 136 pour une description de l'EVIP

| | Moyenne | Age Lexique | Temps lecture (en seconde) | QI Verbal (scores bruts) | QI Non Verbal (scores bruts) |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Normo lecteurs (N=35) | | 14,04 ans | | | |
| | | 172 mois | 94 | 153 | 51 |
| | <i>écart-type distribution</i> | 2 159-173 | 11 68-114 | 8 138-168 | 4 40-57 |
| Dyslexiques (N=23) | | 11,06 ans | | | |
| | | 138 mois | 147 | 150 | 47 |
| | <i>écart-type distribution</i> | 17 98-154 | 40 115-249 | 12 127-166 | 6 37-55 |

Tableau 6 Moyennes, écart-type des âges lexiques (temps et précision), du QI verbal et non verbal chez les dyslexiques de 17 ans, normolecteurs et dyslexiques.

Les différences d'âge chronologique et de QI verbal entre dyslexiques et normolecteurs ne sont pas significatives (respectivement $t(56)=1,57$ $p=,12$; $t(56)=1,17$ $p=,24$). Par contre, nous pouvons constater que les différences de temps de lecture et de QI non verbal sont significatives (respectivement $t(56)=-7,46$ $p<.01$ et $t(56)=3,28$ $p<.01$).

3.1.3 Matériel Perceptif et Procédures

3.1.3.1 Stimuli /də-tə/

La perception catégorielle a été évaluée à l'aide d'un continuum de voisement, faisant intervenir des syllabes synthétiques de parole modulée /də-tə/, composé des consonnes dentales /d/ et /t/ accompagnées du vocoïde neutre /ə/.

Les stimuli ont donc été créés sur le même principe que le continuum /do-to/, c'est-à-dire en ajoutant du voisement ou de l'aspiration afin d'obtenir des segments voisés et non voisés. La durée des transitions entre la consonne et la voyelle était de 28 ms, et la durée de la partie vocalique stable était de 180 ms. Pour ce continuum, les valeurs des stimuli évoluaient entre -70 et 70 ms VOT. Nous disposons alors de 8 stimuli, chacun de ces stimuli différait de 20 ms VOT par rapport aux stimuli qui l'entouraient.

Nous attendions à ce que tous les stimuli voisés soient perçus comme un /də/, et tous les stimuli non voisés comme un /tə/, avec une frontière phonémique se localisant aux alentours d'une moyenne de 0 ms VOT.

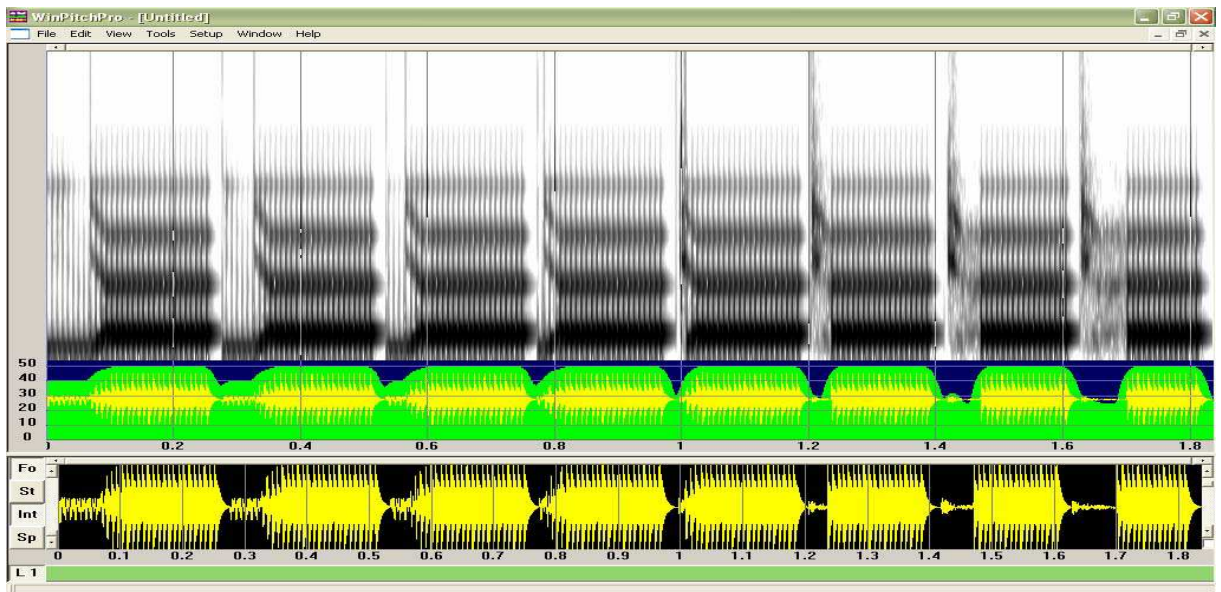


Figure 42 Spectrogramme des 8 stimuli /də-tə/, valeurs entre -70 et +70 ms VOT (logiciel WinPitch)

3.1.3.2 Procédures des tests perceptifs

Tâche d'identification : Lors de la tâche d'identification, les 8 stimuli étaient présentés 10 fois chacun, et de manière aléatoire. Les sujets entendaient les stimuli un par un, et devaient appuyer sur une touche verte, disposée sur le clavier d'un ordinateur, s'ils entendaient la syllabe /də/ et sur une touche rouge s'ils entendaient la syllabe /tə/. Cette épreuve a pour but de constater l'apparition d'une fonction d'identification (obtenue par le calcul des moyennes des réponses aux stimuli /də/ et /tə/), et de mesurer la précision catégorielle (obtenue par le calcul des pentes).

Lors des expérimentations, voici la consigne précise que nous donnions à tous les sujets : « Tu vas entendre des syllabes /də/ et /tə/. Tu vas bien les écouter, puis tu vas dire si tu entends un /də/ ou un /tə/. Si tu entends un /də/ tu appuies sur vert, et si tu entends un /tə/ tu appuies sur rouge ».

Tâche de discrimination : lors de la tâche de discrimination, les sujets entendaient les paires de stimuli. Sept paires de stimuli leur ont été présentées, également de manière aléatoire. Chaque paire était répétée 10 fois. Les paires 'différentes' correspondaient à des écarts de 20 ms VOT entre les stimuli (par exemple, la paire S1S3 comprenaient les

stimuli à -70 vs -50 ms VOT). Les sujets devaient appuyer sur la touche verte si les stimuli leur paraissaient identiques et la touche rouge si les stimuli leur paraissaient différents.

Voici la consigne précise pour la tâche de discrimination : « Tu vas entendre des paires de syllabes, et tu vas devoir dire si les syllabes sont pareilles ou différentes. Si elles sont pareilles, comme /də-də/ ou /tə-tə/, tu appuies sur vert, et si elles sont différentes, comme /də-tə/ ou /tə-də/, tu appuies sur rouge ».

Les résultats étaient calculés en termes de discrimination correcte (échelle ‘même-différent’). Ces scores étaient obtenus en calculant la moyenne des réponses ‘différent’ aux paires de stimuli acoustiquement différentes, et la moyenne des réponses ‘même’ aux paires de stimuli identiques. Nous obtenions ainsi une moyenne en pourcentage du nombre de réponses ‘même et différent’ pour chaque paire de stimuli (pour un exemple de la formule de calcul, voir Tableau 4 dans la section 1.1.3.2 de la partie expérimentale page 120).

3.1.3.3 Les différents critères d'évaluation

Dans cette étude, nous avons évalué la différence de perception catégorielle, et l'éventuelle apparition d'une perception allophonique grâce aux critères de perception catégorielle relative (PCR, différence entre discrimination prédite à partir des scores d'identification et discrimination observée), d'effet de frontière phonémique (EFP, différence de discrimination des paires intercatégorielles et des paires intracatégorielles) et de précision catégorielle (PrC, pente de la fonction d'identification).

3.1.4 Procédures Statistiques

L'Analyse de Variance (ANOVA) : Dans cette étude, nous avons utilisé le test de l'ANOVA à mesures répétées pour tester l'effet du niveau de lecture sur les scores de discrimination phonémique. Ainsi, les critères de PC relative et d'EFP ont été évalués par ce test.

L'ANOVA comptait 3 facteurs: le type de score (scores prédits vs observés), les paires (7 paires), et le groupe de lecture (normolecteurs vs dyslexiques). La PCR a été évaluée

sur la base de l'interaction paires x type de score, et l'effet du niveau de lecture sur la PCR a été évalué sur la base de l'interaction paires x type de score x groupes de lecture. L'EFP a été testé avec une ANOVA à 2 facteurs : les paires de stimuli (moyenne de discrimination observée des paires intercatégorielles, et moyenne de discrimination observée des paires intracatégorielles), et le groupe de lecture. L'EFP a été évalué sur la base du facteur principal des paires de stimuli. L'effet du niveau de lecture sur l'EFP a été testé sur la base de l'interaction paires de stimuli x groupe de lecture.

La PrC a été testée dans une ANOVA à 1 facteur : le groupe de lecture et la pente pour critère. La pente était considérée comme la variable dépendante, et a été estimée séparément pour chaque sujet grâce à une régression logistique. L'interaction pente x groupe de lecture nous permettait de vérifier l'effet du niveau de lecture sur la PrC.

La régression logistique : la régression logistique nous a permis d'obtenir les pentes individuelles d'identification. La variable dépendante était la réponse /t θ /, et les sujets et stimuli étaient considérés comme variables explicatives. L'interaction stimuli x sujet permettait de calculer les pentes individuelles.

Corrélations de Pearson, ANCOVA et Analyse Discriminante : Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux relations entre la PC et la lecture. Afin d'évaluer les relations existant entre la perception de la parole et les capacités de lecture, nous avons tout d'abord conduit une analyse de corrélation de Pearson. Ainsi, les liens entre la PC, la PRC et l'EFP et le temps relatif de lecture ont été étudiés.

Ensuite, afin de vérifier si la différence de PRC était dû à des différences de groupe, et non pas à des différences à l'intérieur d'un même groupe, nous avons conduit une ANCOVA.

Enfin, une analyse discriminante nous a permis de connaître le pourcentage de classification correcte des sujets en fonction de leur précision catégorielle.

Un problème s'est posé dans le choix de la variable explicative pour ces analyses. En effet, nous avons pour intention d'utiliser l'âge relatif de lecture comme variable dépendante (variable représentant le niveau de lecture d'un individu). Or la majorité des sujets normolecteurs ont obtenu des scores plafonds au test de l'Alouette, rendant ainsi les analyses de corrélation complètement biaisées. En effet, lors de l'utilisation d'un codage représentant la précision de la lecture, si deux sujets présentent le même score

de lecture de 14,05 ans, mais une vitesse de lecture différente, le sujet lisant plus vite sera pénalisé. Nous serons également pénalisé du fait d'être dans l'impossibilité de réaliser de justes analyses. Ce codage ne reflétant donc pas exactement les performances de chaque sujet, nous avons décidé de transformer les scores de 'précision de lecture' en score de 'temps de lecture' (voir dans la section 3.1.2 de ce chapitre pour la méthode de transformation en temps de lecture). Ainsi, cette méthode de transformation nous a permis d'obtenir une échelle de scores représentative des performances de chaque sujet.

3.2 Résultats

3.2.1 La perception catégorielle

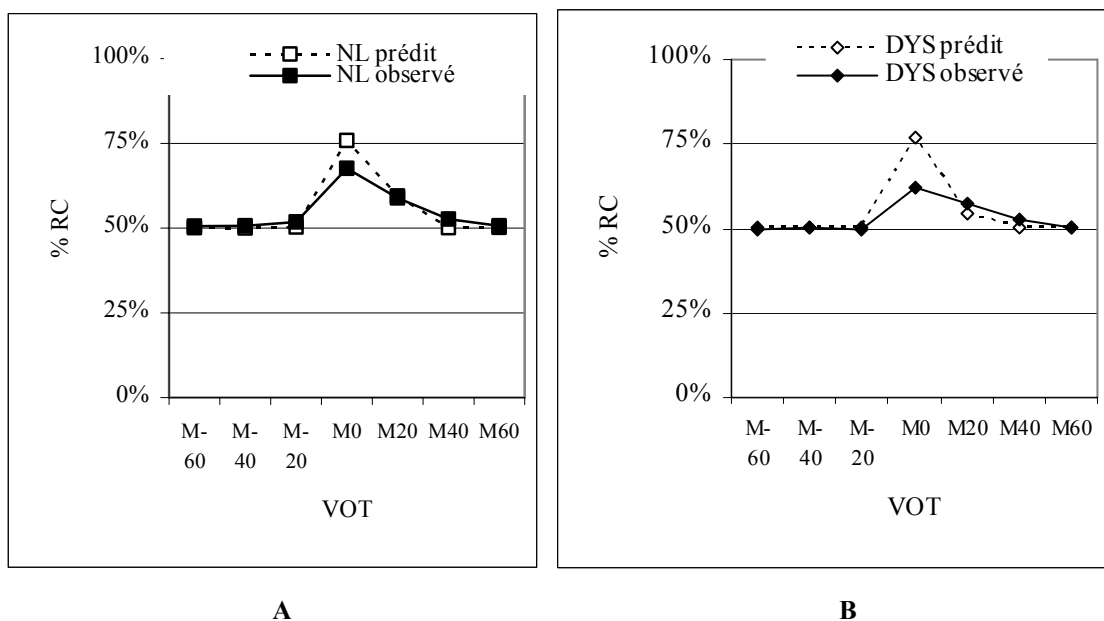


Figure 43 Discrimination prédite et observée des NL (A) et DYS (B) de 17 ans sur le continuum /dɛ-tə/

Les effets des paires, du type de score et du groupe de lecture ont un effet significatif sur la PCR (respectivement $F(6,336)=85,93$ $p<.01$; $F(1,56)=7,81$ $p<.01$; $F(1,56)=4,34$ $p<.05$).

Seule l'interaction paires x type de score est significative ($F(6,336)=15,17$ $p<.01$). Les interactions type de score x groupe de lecture et paires x groupe de lecture ne le sont pas (respectivement $F(1,56)=2,14$ $p=.14$ et $F(6,336)<1$).

On remarque également l'absence d'effet de l'interaction paires x type de score x groupe de lecture ($F(6,336)=1,85$ $p=,08$). En somme, il n'y a pas de différence significative de PC entre les deux groupes de lecture (Figure 42).

3.2.2 Effet de frontière phonémique

Les paires ont un effet significatif ($F(1,56)=52,69$ $p<.01$). En revanche, le groupe de lecture n'a pas d'effet significatif ($F(1,56)=3,08$ $p=,08$), tout comme l'interaction paires x groupes de lecture ($F(1,56)=1,60$ $p=,21$).

3.2.3 La précision catégorielle

Bien que les pentes des fonctions d'identification moyennes paraissent identiques pour les deux groupes de lecture (Figure 44), un effet significatif de l'interaction pente x groupes de lecture apparaît ($F(1,57)=14,18$ $p<.01$). Cette interaction significative semble être la conséquence de la différence de dispersion interindividuelle des frontières entre deux groupes. Mais nous avons conduit une analyse sur la différence de localisation de la frontière entre les dyslexiques et les normolecteurs, et il s'avère que les deux groupes ont posé la frontière au même endroit ($F(1,57)<1$). La mesure des pentes individuelles permet d'éliminer l'influence des variations de frontière sur l'estimation de la pente moyenne du groupe, et donc de faire apparaître un accroissement des pentes pour les NL par rapport aux DYS.

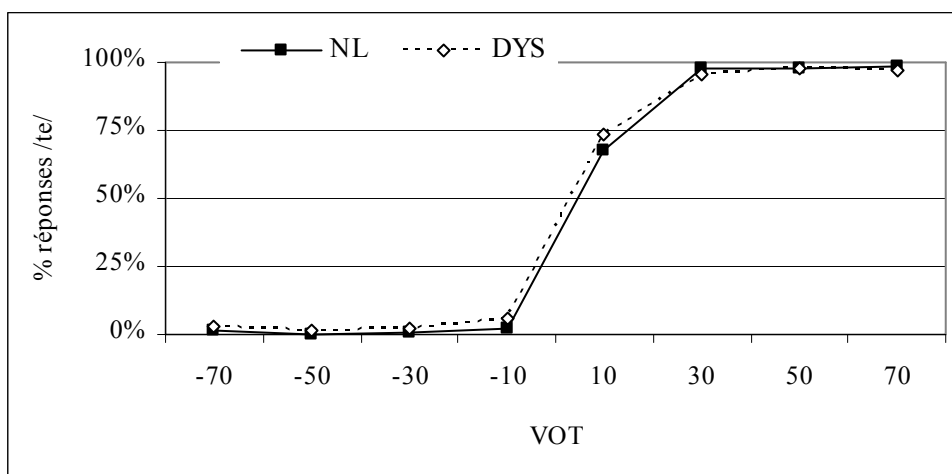


Figure 44 Fonctions d'identification des NL et des DYS sur le continuum /də/ /tə/

3.2.4 Relations entre capacités de perception de la parole et capacité de lecture

| | | Lecture (temps) | EFP | PCR |
|------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| EFP | Pearson (r) | -0,12 | | |
| | Signif. | 0,35 | | |
| | N | 58 | | |
| PCR | Pearson (r) | -0,04 | -0,57 | |
| | Signif. | 0,75 | 0,00 | |
| | N | 58 | 58 | |
| PrC | Pearson (r) | -0,41** | 0,38 | -0,11 |
| | Signif. | 0,00 | 0,00 | 0,41 |
| | N | 58 | 58 | 58 |

Tableau 7 Corrélations entre le temps de lecture et la capacité de perception de la parole (PCR, PrC et EFP) ; seuils de significativité : ** : $p < 0.01$; * : $p < 0.05$

Nous constatons une corrélation négative significative entre le temps de lecture et la précision catégorielle : plus le temps de lecture est long, moins la capacité de catégorisation sera précise.

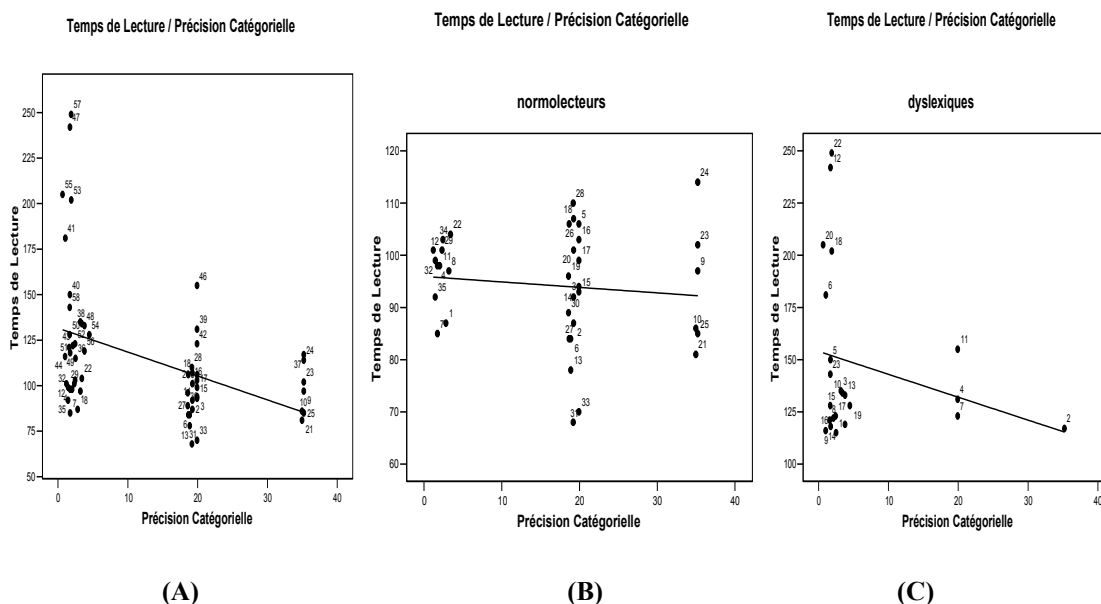


Figure 45 Diagrammes de dispersion présentant le lien entre PrC et temps de lecture (A : groupe entier, B : normolecteurs, C : dyslexiques)

De plus, l'analyse de covariance montre un effet non significatif de la pente ($F(1,55)=1,28$ $p=,26$), alors que le groupe a un effet significatif sur la pente

($F(1,55)=38,17$ $p<.01$). Ainsi, les différences de PrC sont bien la conséquence de la capacité de lecture des sujets, et non pas à des différences de capacités à l'intérieur d'un même groupe de lecture.

Enfin, une analyse discriminante conduite sur la différence de pente entre les NL et les DYS a permis de constater que le critère de PrC (la pente) permet de classer correctement près de 74% des sujets.

3.3 Discussion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence une nouvelle fois le déficit de PC chez des dyslexiques. Mais dans cette étude, seul le déficit de PrC est significatif.

Concernant la PCR, les deux groupes ne sont pas très catégoriels. En effet, la discrimination observée est toujours éloignée de la discrimination prédite, surtout à la frontière phonémique (effet significatif du type de score). Nous pouvons constater que cette tendance est plus marquée chez les DYS que les chez les NL. Néanmoins, cette différence entre les DYS et les NL n'est pas significative et ne nous permet pas de conclure à un déficit de PC des DYS.

Nous pouvons tirer la même conclusion à propose de l'EFP. En effet, il n'apparaît pas non plus de différence dans la discrimination des paires chevauchant la frontière phonémique entre les NL et les DYS, et la discrimination intracatégorielle, souvent constatée dans des populations de dyslexiques, est inexistante.

Il convient de rappeler que la mise en évidence d'un déficit de PC chez des dyslexiques âgés par une méthode d'évaluation comportementale n'est pas aisée. Ainsi, nos résultats ne peuvent pas nous permettre de conclure à une absence de PC (PCR et EFP) chez des dyslexiques âgés, mais nous montrent les limites de cette méthode d'évaluation. En effet, il est possible que les tâches comportementales indiquent une absence de déficit chez des dyslexiques adultes alors qu'un tel déficit se retrouve dans des corrélats neuraux impliqués (Dufor, Serniclaes, Balduyck, Sprenger-Charolles, Démonet, soumis)

3.4 Conclusion

Ainsi, cette étude a permis de mettre en évidence le déficit de PC, mais uniquement avec le critère de précision catégorielle. Il est étonnant que le déficit ait été mis en évidence par ce critère, la tâche d'identification étant habituellement une tâche assez facile, et dans laquelle peu de différences sont visibles. Néanmoins, malgré une méthode d'évaluation qui montre ses limites, on a pu constater un déficit de perception de la parole, signifiant que le déficit de PC est persistant.

4 Etude 4 : Agencement des frontières naturelles et phonologiques d'un continuum de lieu d'articulation

Des travaux antérieurs avaient montré que la perception du trait phonologique de voisement en français faisait intervenir un couplage entre les traits phonétiques de voisement et d'aspiration (Serniclaes, 1987). Dans le but de généraliser l'hypothèse de couplage à d'autres traits phonétiques, nous avons décidé de tester cette hypothèse sur un continuum de lieu d'articulation, ce qui nous permettrait une nouvelle fois de spécifier les relations existantes entre les frontières phonétiques naturelles et les frontières phonologiques propres à la langue d'un individu.

Il faut rappeler que de précédentes études ont montré que la perception du lieu d'articulation s'organisait autour d'une référence centrale, fournie par le vocoïde /ə/ (Carré et al., 2002).

Dans le contexte vocalique neutre, les frontières de lieu tendent à correspondre à des transitions horizontales de F2 et F3, les catégories se caractérisant alors par des transitions montantes versus descendantes. Ces résultats suggèrent que la perception du lieu d'articulation se fonde sur des frontières naturelles dans le contexte neutre, ces frontières devant subir des ajustements dans d'autres contextes vocaliques. Les transitions formantiques horizontales de F2 et F3 subdivisent l'espace de fréquence initiale de F2-F3 en 4 régions⁵⁸. Etant donné que seules 3 catégories sont phonologiquement pertinentes en français (/bə/, /də/ et /gə/), la question est de savoir de

⁵⁸ Il a été démontré que les transitions de F2 et F3 contribuaient à la perception de traits phonétiques différents. Les travaux sur la perception du lieu d'articulation (Carré et al., 2002) ont permis de constater que dans le contexte neutre, les transitions de F2 et F3 étaient des indices suffisants pour identifier le lieu en l'absence du burst ; que la distinction /bə/ /də/ dépendait des F2 et F3 ; que la distinction /bə/ /gə/ dépend essentiellement du F2 et que la distinction /də/ /gə/ dépend essentiellement du F3. Ces résultats suggèrent que deux traits phonétiques sont principalement impliqués, l'un correspondant à l'opposition antérieure / postérieure, et dont l'indice majeur serait fourni par le F2 ; l'autre correspondant à l'opposition labiale / non labiale, et dont l'indice majeur serait fourni par le F3. Nous disposerions alors de 4 catégories potentielles (Jakobson et al, 1952). Selon ce dernier auteur, 4 catégories de lieu seraient présentes dans au moins une langue, le tchèque en l'occurrence. Il convient de noter que la classification basée sur les transitions de formants ne recoupe pas la théorie classique de Jakobson, basée sur le spectre du bruit d'explosion. Néanmoins, la possibilité d'existence de 4 catégories phonologiques par la combinaison de deux traits phonétiques est commune à ces deux hypothèses. Les transitions de F2-F3 horizontales subdivisent le plan F2-F3 en 4 régions et ne sont pas directement utilisables pour percevoir le lieu d'articulation de manière catégorielle dans les langues à 3 catégories.

quelle manière les 4 régions possibles sont partagées entre ces catégories. Des ajustements spécifiques seraient nécessaires pour accommoder les séquences naturelles avec les unités linguistiques, et la solution optimale à ce problème résiderait dans l'émergence de compensations perceptives entre les transitions de F2 et F3.

Trois hypothèses sont envisageables pour résoudre ce décalage entre frontières naturelles et catégories phonologiques (Phillips, 2001) :

Modèle 1 : Ajout de structure (Werker et Tees, 1984a).

Le processus développemental étant complexe, les frontières naturelles resteraient présentes à des degrés variés dans la population adulte. La perception des 3 catégories de lieu devrait alors se manifester dans un espace original à 4 catégories, laissant une des régions non exploitée, et pouvant être 'non phonologique' pour ces sujets.

La perception non phonologique n'implique pas nécessairement un manque de traitement phonologique dans la reconnaissance de la parole, mais plutôt une faiblesse, voire une totale absence de la phonologie pré lexicale. Ainsi, si les traits phonologiques n'étaient qu'un sous-ensemble des traits universels (Werker et Tees, 1984a ; Werker et Logan, 1985), l'acquisition devrait être relativement simple, étant donné qu'elle procéderait par une sélection d'entités présentes à la naissance. Selon Phillips (2001), les traits phonologiques interviennent à un niveau de traitement situé en aval du traitement phonétique.

Modèle 2 : Changement de structure (Kuhl, 1994).

La seconde hypothèse serait que l'espace acoustique est redistribué en 3 catégories, impliquant alors l'émergence de nouvelles frontières, les frontières naturelles, étant alors remplacées par des frontières spécifiques à la langue, non reliées aux premières. L'espace original à 4 catégories serait alors subdivisé entre 3 régions avec un partage qui correspondrait aux catégories de production de la langue (Kuhl, 1994, 2000).

Modèle 3 : Couplage entre prédispositions (Serniclaes, 2000).

Enfin, la dernière hypothèse fait la même prédiction que la seconde hypothèse quant à l'émergence de nouvelles frontières. Mais elle stipule que les frontières phonologiques résultent de couplages entre frontières naturelles. Ce modèle implique à la fois une 'addition de structure', car il superpose le traitement phonétique et phonologique, et un 'changement de structure', car le traitement phonologique s'obtient par combinaison de traits phonétiques.

Objectif : l'objectif de notre étude était de tester ces 3 modèles en recueillant des données d'identification et de discrimination sur deux continua de lieu d'articulation : un continuum phonétique (FNE) dont la fonction première était de maximiser la discriminabilité des frontières naturelles, et un continuum phonologique (FNO) destiné à maximiser la discriminabilité des frontières phonémiques. Les prédictions de chacun de ces 3 modèles sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8 (ci-dessous) : Présentation des hypothèses et des tests correspondants. Les ANOVAs réalisées sur les pentes des fonctions d'identification comportent 2 facteurs intra-sujets (Opposition, et Explosion) et 1 facteur inter-sujets (Ordre). Les ANOVAs réalisées sur les scores de discrimination comportent 2 facteurs intra-sujets (Paire et Explosion) et 1 facteur inter-sujets (Ordre). La Régression Logistique sur les scores d'identification comporte 4 prédicteurs (F2, F3, Explosion et Ordre)

| Continuum | Tâche | Hypothèse de travail | Modèle Ajout de structure | Modèle changement de structure | Modèle de Couplage | Régression logistique | ANOVA | Résultats |
|-----------------------------------|----------------|---|--|---|--|---|---|---|
| Phonétique et phonologique | Identification | Intersection F2 1500 Hz F3 2500 Hz Régions de taille égale | | | | Régression logistique 4 prédés. F2, F3, Explosion, Ordre | | Ecarts par rapport aux hypothèses : plus importants pour /də-gə/ |
| Phonétique | Identification | | Pente /bə-də/ < /də-gə/ = /gə-bə/ | Pente /bə-də/ = /də-gə/ = /gə-bə/ | Idem Ajout de structure | Régression logistique 3 prédicteurs Stimuli, Explosion, Ordre | ANOVA sur les pentes Contrastes entre /bə-də/, /də-gə/ et /gə-bə/ | Pentes /bə-də/ = /gə-bə/ < /də-gə/ A l'appui de : Ajout de structure & Couplage |
| Phonologique | Identification | | Pente /bə-də/ < /də-gə/ = /gə-bə/ | Pente /bə-də/ = /də-gə/ = /gə-bə/ | Idem Changement de structure | Régression logistique 3 prédés. Stimuli, Explosion, Ordre | ANOVA sur les pentes Contrastes entre /bə-də/, /də-gə/ et /gə-bə/ | Pentes /bə-də/ < /gə-bə/ = /də-gə/ A l'appui de : Ajout de structure |
| Phonétique | Discrimination | | 4 pics différence entre discrimination prédite et observée | 3 pics et pas de différence entre discrimination prédite et observée | Idem Ajout de structure | | ANOVA sur les scores de discrimination (> au hasard, 50% de RC) | 4 pics significatifs Différence entre discrimination prédite et observée. A l'appui de : Ajout de structure & Couplage |
| Phonologique | Discrimination | | Pic /bə-də/ < /də-gə/ = /gə-bə/ différence entre discr. prédite et observée | Pic /bə-də/ = /də-gə/ = /gə-bə/ pas de différence entre discr. prédite et observée | Idem Changement de structure | | ANOVA sur les scores de discrimination et Contrastes entre /bə-də/, /də-gə/ et /gə-bə/ | Pics /bə-də/ = /gə-bə/ Pas de différence prédit / observé A l'appui de : Changement de structure & Couplage |

4.1 Méthodologie

4.1.1 Population

22 sujets adultes ont participé à cette expérience. Ils étaient âgés entre 15 et 60 ans. Tous les sujets devaient être de langue française et monolingue, ne devaient pas avoir connu de troubles auditifs et/ou de pathologies langagières pour participer à l'étude.

Les sujets ont été divisés en deux groupes, en fonction de l'ordre dans lequel les continua⁵⁹ leur ont été présentés. Ainsi, nous disposons d'un groupe de 11 sujets ayant passé les tests perceptifs dans l'ordre 'avec le bruit d'explosion / sans le bruit d'explosion' (Ordre B1), et d'un groupe de 11 sujets également, évalués cette fois dans l'ordre 'sans bruit d'explosion / avec bruit d'explosion' (Ordre B2).

Les expérimentations se sont déroulées la plupart du temps chez les sujets, dans une pièce calme, ou dans une chambre sourde au laboratoire. Etant donné la longueur des épreuves, les sujets ont été vus durant deux sessions : par exemple, pour le groupe 'ordre B1', la première session était consacrée à l'évaluation de la PC pour la condition 'avec bruit d'explosion', la seconde session pour la condition 'sans bruit d'explosion', et inversement pour le groupe 'Ordre B2'.

4.1.2 Matériel Perceptif et Procédures

4.1.2.1 Stimuli

Les syllabes /occlusive + vocoïde/ étaient générées par modification des fréquences initiales des F2 et F3. Deux types de continua étaient utilisés : un continuum phonétique (FNE), créé avec des directions normales aux frontières naturelles présumées dans un espace à 4 catégories (c'est-à-dire avec des coefficients angulaires de 0 et 90°, correspondent aux transitions horizontales des F2 et F3) ; un continuum phonologique (FNO), créé avec des directions normales à celles des frontières présumées (frontières phonémiques) dans un espace à 3 catégories (15, 135 et 255°).

Les 23 stimuli ont été générés avec un synthétiseur à formants. Les transitions de F1-F2-F3 se terminaient respectivement à 500, 1500 et 2500 Hz, après 27 ms de transition. Le VOT était de - 95 ms, la portion vocalique stable de 154 ms, et les stimuli avaient

⁵⁹ Deux types de continua ont été utilisés, confère la section 4.1.2.1 pour l'exposé des continua

été créés sans le bruit d'explosion. Les stimuli différaient en fonction des fréquences initiales des transitions de F2 et F3. Tous les stimuli successifs, quel que soit le continuum, étaient répartis par pas égaux de 1 Bark⁶⁰ sur chaque continuum, les distances ayant été calculées par la formule euclidienne pour les combinaisons de F2 et F3 sur les continua phonémiques.

Pour le continuum phonétique, 14 stimuli ont été générés par modifications séparées des fréquences initiales de F2 et F3. Pour le continuum phonologique, 9 autres stimuli ont été conçus par modification simultanée des fréquences initiales de F2 et F3 (confère la figure 45 pour voir la disposition des stimuli sur les continua phonétique et phonologique, et les Tableaux 8 et 9 pour les valeurs formantiques des 2 continua).

Lors des premières expériences sur ce continuum (Serniclaes et al., 2003), seuls les stimuli sans bruit d'explosion étaient présentés aux sujets, et de nombreux sujets ont eu des difficultés à percevoir de bons exemplaires des 3 catégories de lieu, peut être en raison du fait que les sujets pondéraient davantage le bruit d'explosion que les transitions de reconnaissance du lieu. C'est pourquoi nous avons décidé de répliquer les mêmes stimuli phonétiques et phonologiques, en rajoutant le bruit d'explosion.

Du fait de cette modification, nous disposons de 4 continua de lieu d'articulation, phonétique ou phonologique, chacun comportant des stimuli avec ou sans bruit d'explosion.

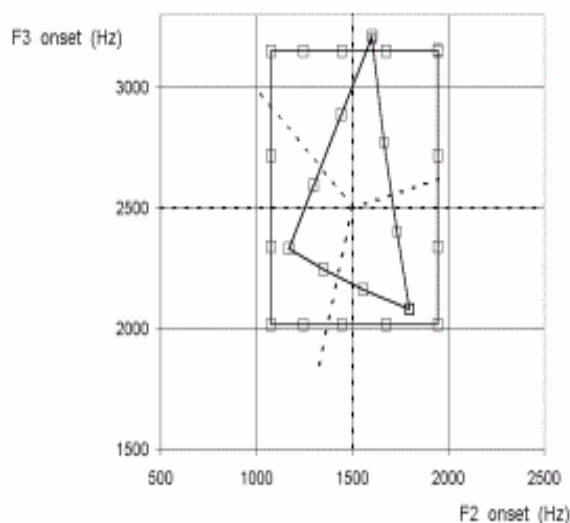


Figure 46 Présentation des continua dans l'espace des fréquences initiales des transitions de F2 (abscisse) et F3 (ordonnée). Le rectangle correspond au continuum phonétique. Les 4 lignes suivent les directions normales aux frontières naturelles à F2 : 1500 Hz et F3 : 2500 Hz. Le triangle correspond au continuum phonologique. Les 3 lignes suivent la direction normale aux frontières phonologiques attendues, lesquelles divisent l'espace acoustique en 3 régions de taille égale (tiré de Serniclaes, Bogliotti & Carré, 2003). Les valeurs de formants des deux continua sont indiquées dans les Tableaux 9 et 10.

⁶⁰ 1 Bark = 1 bande critique

| Stimuli continuum FNO | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Valeurs de F2 (en Hertz) | 1168 | 1298 | 1143 | 1604 | 1667 | 1732 | 1800 | 1558 | 1349 |
| Valeurs de F3 (en Hertz) | 2330 | 2593 | 2885 | 3211 | 2770 | 2339 | 2077 | 2158 | 2243 |

Tableau 9 Valeurs en Hz des stimuli du continuum phonologique /bə-də-gə/

| Stimuli Continuum FNE | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Valeurs de F2 (en Hertz) | 1945 | 1676 | 1445 | 1245 | 1075 | 1075 | 1075 | 1075 | 1245 | 1445 | 1676 | 1945 | 1945 | 1945 |
| Valeurs de F3 (en Hertz) | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 | 2714 | 2339 | 2015 | 2015 | 2015 | 1945 | 2015 | 2339 | 2714 |

Tableau 10 Valeurs en Hz des stimuli du continuum phonétique /bə-də-gə/

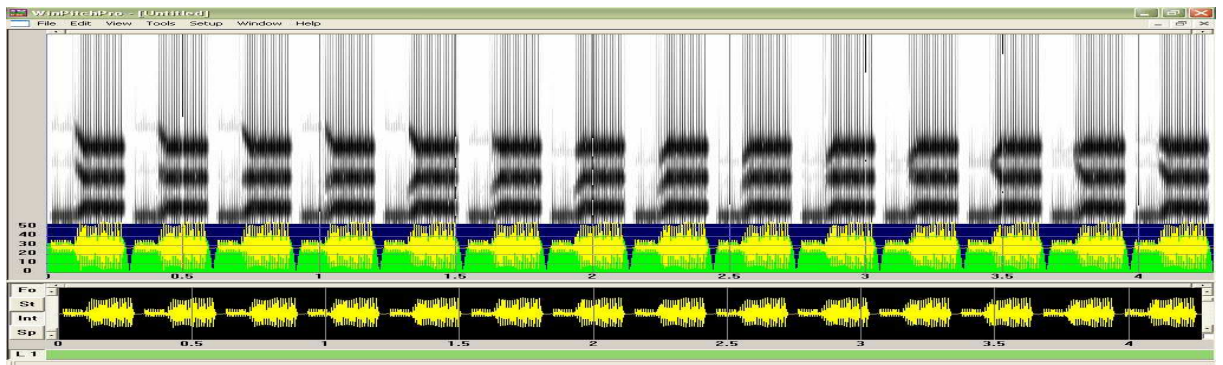


Figure 47 Spectrogramme du continuum phonétique /bə-də-gə/ avec bruit d'explosion

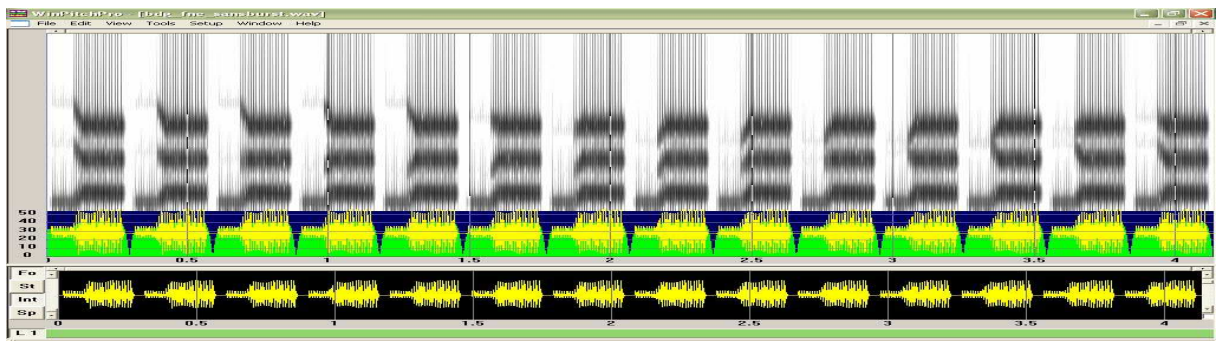


Figure 48 Spectrogramme du continuum phonétique /bə-də-gə/ sans bruit d'explosion

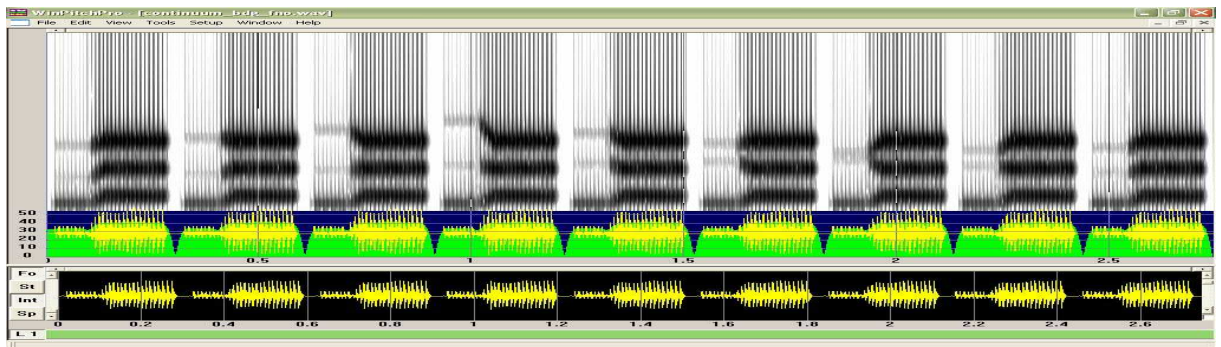


Figure 49 Spectrogramme du continuum phonologique /bə-də-gə/ avec bruit d'explosion

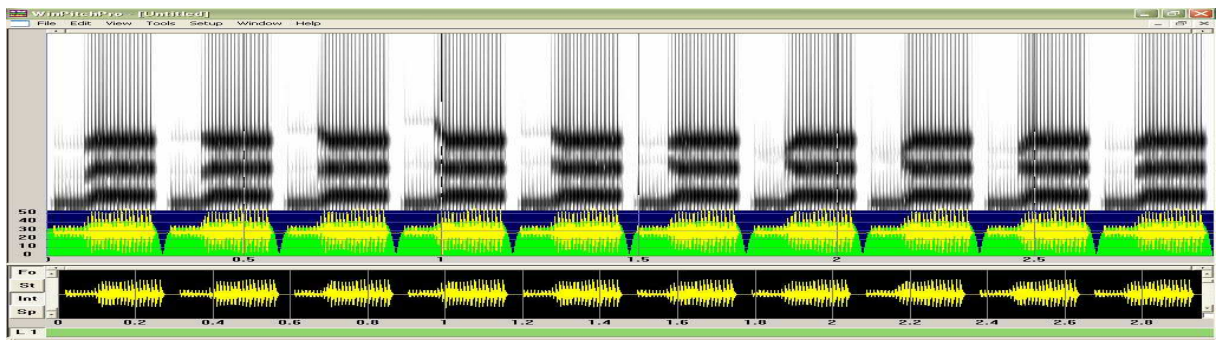


Figure 50 Spectrogramme du continuum phonologique /bə-də-gə/ sans bruit d'explosion

4.1.2.2 Procédure des tâches perceptives

Tâche d'identification : Les sujets étaient interrogés sur leurs performances d'identification. Les 14 stimuli du continuum phonétique et les 9 stimuli du continuum phonologique étaient présentés 10 fois chacun de manière aléatoire. Pour les 4 continua, les sujets étaient prévenus qu'ils entendraient les syllabes /bə/ /də/ et /gə/. Ils entendaient les stimuli un par un, et devaient appuyer sur la touche 'B' du clavier d'un ordinateur s'ils entendaient la syllabe /bə/, sur la touche 'D' pour la syllabe /də/ et sur la touche 'K' pour la syllabe /gə/. Les réponses pour les 4 continua ont été recueillies en un seul bloc (voir Tableau 11 pour une description des passations)

La consigne dite aux sujets était la suivante : « Tu vas entendre une des 3 syllabes /bə/ /də/ et /gə/, et tu vas devoir dire si tu entends /bə/, /də/ ou /gə/. Si tu entends /bə/, tu appuies sur 'B', si tu entends /də/, tu appuies sur 'D' et si tu entends /gə/, tu appuies sur /G/ ».

Tâche de discrimination : La consigne était « Tu vas entendre des paires de syllabes, et tu vas devoir dire si les syllabes que tu entends sont pareilles ou différentes. Si elles sont pareilles comme par exemple /bə-bə/, /də-də/ ou /gə-gə/, tu appuies sur la touche verte ; si elles sont différentes comme par exemple /bə-də/ ou /də-gə/ (etc.), tu appuies sur la touche rouge ».

En ce qui concerne le recueil de réponses pour le continuum phonétique (avec et sans bruit d'explosion), le test de discrimination a été présenté en deux blocs. La tâche et les stimuli étaient identiques pour chaque bloc. Les 14 paires de stimuli étaient présentées 6 fois en tout (3 répétitions par bloc). Nous avons introduit un 15^{ème} stimulus spécifiquement pour la tâche de discrimination (ce 15^{ème} stimulus était identique au 1^{er}), afin de créer une boucle de discrimination sur le continuum, et d'obtenir les résultats qui en découlent, c'est-à-dire la possibilité de mieux tester la frontière /gə-bə/.

Le recueil des réponses pour le continuum phonologique s'est déroulé en un seul bloc. Un 10^{ème} stimulus a également été introduit dans la procédure, encore similaire au 1^{er}, et toujours dans le souci de disposer d'une boucle sur le continuum. Les 10 paires ont été présentées 6 fois chacune (voir Tableau 11 pour une description des passations).

| TACHES : | 3 répétitions des 15 paires de stimuli FNE | 6 répétitions des 10 paires de stimuli FNO | 3 répétitions des 15 paires de stimuli FNE | 10 répétitions des 14 stimuli FNE et des 9 stimuli FNO |
|-----------------------------|--|--|---|--|
| ORDRE | | | | |
| Ordre B1 passation 1 | Discrimination FNE avec explosion 1 ^{er} bloc | Discrimination FNO avec explosion | Discrimination FNE avec explosion 2 ^{ème} bloc | Identification FNE et FNO avec explosion |
| Ordre B1 passation 2 | Discrimination FNE sans explosion 1 ^{er} bloc | Discrimination FNO sans explosion | Discrimination FNE sans explosion 2 ^{ème} bloc | Identification FNE et FNO sans explosion |
| Ordre B2 passation 1 | Discrimination FNE sans explosion 1 ^{er} bloc | Discrimination FNO sans explosion | Discrimination FNE sans explosion 2 ^{ème} bloc | Identification FNE et FNO sans explosion |
| Ordre B2 passation 2 | Discrimination FNE avec explosion 1 ^{er} bloc | Discrimination FNO avec explosion | Discrimination FNE avec explosion 2 ^{ème} bloc | Identification FNE et FNO avec explosion |

Tableau 11 Résumé des blocs : ordre de passation des tâches perceptives selon le groupe et les sessions

4.1.3 Procédures Statistiques

La régression logistique multinomiale: à partir des données recueillies dans la tâche d'identification, les pentes de la fonction d'identification ont été calculées avec une régression logistique multinomiale avec les réponses (/bə/, /də/ et /gə/) comme variable dépendante, les valeurs de F2 et F3 (qui représentaient les stimuli présentés) comme prédicteurs quantitatifs, ainsi que l'ordre (Ordre B1 et Ordre B2) et l'explosion (avec et sans bruit d'explosion) comme prédicteurs catégoriels⁶¹. A partir de ces résultats, nous avons pu calculer les frontières de chaque opposition (/bə-də/, /də-gə/ et /gə-bə/), et déterminer les angles de ces frontières dans l'espace des fréquences initiales des transitions de F2 et F3.

Cette régression nous a permis d'évaluer les pentes et les frontières des fonctions d'identification.

L'analyse de Variance (ANOVA)

Hypothèse : Ajout de structure (continuum phonétique)

Dans cette étude, une ANOVA à mesures répétées nous a permis d'évaluer l'hypothèse d'un ajout de structure.

⁶¹ Nous disposons donc de résultats spécifiques pour FNO/FNE avec explosion Ordre B1 ; FNO/FNE sans explosion Ordre B1 ; FNO/FNE avec explosion Ordre B2 ; FNO/FNE sans explosion Ordre B2.

Nous avons tout d'abord conduit une ANOVA à mesures répétées sur les scores de discrimination observée afin de vérifier l'hypothèse de la présence de 4 pics de discrimination à des endroits attendus. Cette analyse comptait 2 facteurs : l'explosion (avec ou sans bruit d'explosion) et les paires de stimuli (14 paires). L'ordre était considéré comme facteur inter-sujets (ordre B1 et B2 ; B1 : condition 'bruit d'explosion' passée dans un premier temps, puis condition 'sans bruit d'explosion' ; vice versa pour l'ordre B2). Nous avons ensuite appliqué un test-t à échantillon unique sur les pics de discrimination observés (d'un côté pour les stimuli à bruit d'explosion et de l'autre pour les stimuli sans bruit d'explosion) et que nous attendions afin de vérifier si leur discrimination se situait au dessus du seuil du hasard (50% de RC).

Pour la seconde hypothèse, on s'attendait à observer des pics extra catégoriels. Pour cela, nous avons conduit une ANOVA à mesures répétées à 3 facteurs : l'explosion, le type de score (prédit vs observé) et les paires, et 1 facteur inter-sujets : l'ordre. L'hypothèse d'une différence entre les pics prédits et observés a été testée sur la base de l'interaction type de score x paires.

Hypothèse : Changement de structure (continuum phonologique)

Une ANOVA à mesures répétées nous a également permis de tester l'hypothèse d'un changement de structure.

La première analyse a porté sur les scores de discrimination observée et avait pour but de spécifier l'ampleur des pics de discrimination. Ainsi, nous attendions que le pic de l'opposition /bə-də/ soit supérieur ou égal au pic de l'opposition /də-gə/, et égal au pic de l'opposition /gə-bə/. A cette fin, nous avons conduit une ANOVA à mesures répétées à 2 facteurs : l'explosion et les paires de stimuli (9 paires), et 1 facteur inter-sujets : l'ordre. Cette ANOVA comportait également des contrastes pour évaluer spécifiquement l'ampleur d'un pic de discrimination comparativement aux autres pics présents sur le continuum.

La seconde analyse portait sur les différences de discrimination prédite et observée des pics. Nous attendions que la différence de discrimination prédite et observée du pic de l'opposition /bə-də/ soit inférieure ou égale à la différence du pic de l'opposition /də-gə/, et égale à la différence du pic de l'opposition /gə-bə/. A cette fin, nous avons

conduit une ANOVA à mesures répétées à 3 facteurs fixes : l'explosion, le type de score et les paires, et 1 facteur inter-sujets : l'ordre. Cette ANOVA comportait également des contrastes pour évaluer spécifiquement la différence de scores des pics de discrimination par rapport à la différence de scores pour les autres pics de discrimination présents sur le continuum.

Précision catégorielle

Une ANOVA à mesures répétées a également été conduite sur les pentes afin d'évaluer si les pentes phonologiques étaient plus fortes que les pentes phonétiques. Cette ANOVA comportait 3 facteurs fixes : les oppositions (/bə-də/, /də-gə/ et /gə-bə/), le continuum (phonétique versus phonologique) et l'explosion, ainsi qu'1 facteur inter-sujets : l'ordre.

Enfin, deux ANOVAs ont été conduites afin de tester l'effet des oppositions sur les pentes. Dans la première analyse, nous avons regroupé les pentes 'avec bruit explosion' d'un côté et 'sans bruit d'explosion' de l'autre, et avons analysé l'effet des oppositions sur les pentes en fonction du continuum (phonétique vs phonologique). Dans la seconde analyse, nous avons regroupé les pentes 'phonologique' d'un côté et 'phonétique' de l'autre, et avons analysé l'effet des oppositions sur les pentes en fonction de l'explosion.

4.2 Résultats

4.2.1 Hypothèses de travail

Les analyses présentées ici nous ont permis d'observer de quelle manière était agencé l'espace perceptif pour ce continuum de lieu d'articulation. Nous attendions que l'espace perceptif soit partagé en 3 régions de tailles égales. Comme nous pouvons le constater dans la Figure 51, les sujets (quels que soient l'ordre ou l'explosion) ont su diviser le continuum en 3 régions, mais elles ne sont pas égales.

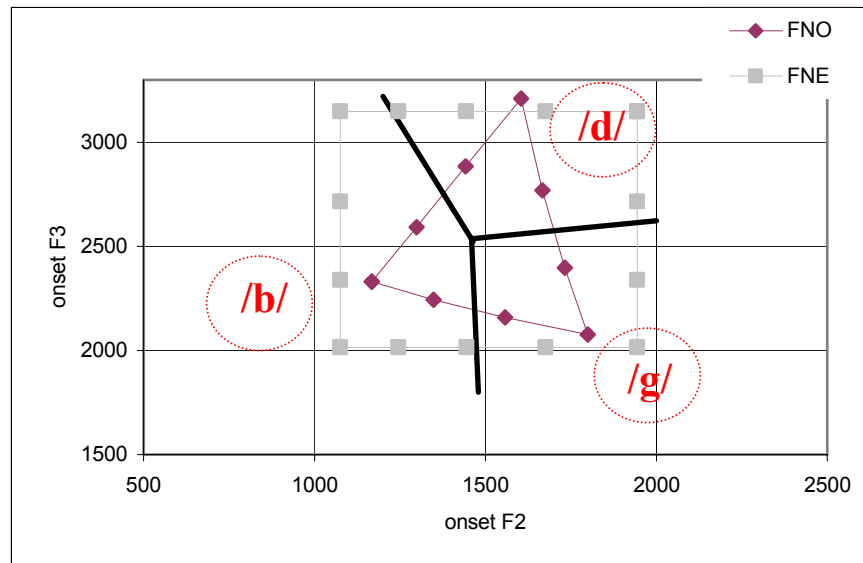


Figure 51 Division de l'espace perceptif Ordre et Explosion confondus

| Effets | /bə-də/ | | /gə-bə/ | | /də-gə/ | |
|-------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Origine | 13.2 | p<.001 | 35.0 | p<.001 | 5.77 | p<.05 |
| Ordre | 15.3 | p<.001 | 6.32 | p<.05 | 51.5 | p<.001 |
| Explosion | <1 | | 11.7 | p=.001 | 8.93 | p<.01 |
| F2 | 535 | p<.001 | 581 | p<.001 | <1 | |
| F3 | 387 | p<.001 | 3.07 | p=.s08 | 460 | p<.001 |
| Ordre x Explosion | 4.73 | p=.03 | 3.52 | p=.06 | <1 | |
| Ordre x F2 | 1.16 | p=.28 | 76.7 | p<.001 | 94.4 | p<.001 |
| Ordre x F3 | 11.4 | p=.001 | 3.74 | p=.05 | 2.70 | p=.10 |
| Explosion x F2 | 7.94 | p<.01 | <1 | | 12.8 | p<.001 |
| Explosion x F3 | 3.87 | p=.05 | 41.5 | p<.001 | 24.8 | p<.001 |
| Ordre x Explosion x F2 | 16.5 | p=.001 | 23.4 | p<.001 | 1.71 | p=.19 |
| Ordre x Explosion x F3 | 9.07 | p<.01 | 20.3 | p<.001 | 3.57 | p=.06s |

Tableau 12 Résultats de la régression logistique (Chi2 de Wald et valeur p) avec les effets des 4 prédicteurs (Ordre, Explosion, F2 et F3), ainsi que les diverses interactions pour les 3 frontières (3 régions)

Nous avons pu constater des effets significatifs de l'ordre pour les trois oppositions, ce qui indique que ce facteur affecte la localisation de l'ensemble des frontières (Tableau 12). Par contre, l'explosion n'affecte que les frontières des oppositions /gə-bə/ et /də-gə/, pas celle de /bə-də/. De plus, nous trouvons également des interactions significatives avec

F2 et F3, ce qui indique que l'explosion et l'ordre affectent à divers degrés les pentes des fonctions d'identification (Tableau 12). Enfin, certaines interactions doubles entre l'ordre, l'explosion et chacun des deux formants sont également significatives.

C'est pourquoi nous avons examiné séparément les données pour chaque groupe de sujets (chaque ordre) en fonction de la présence ou l'absence du bruit d'explosion (Figure 52 et 53). Les frontières /bə-də/ et /gə-bə/ sont plus stables à travers les facteurs d'explosion et d'ordre comparativement à la frontière /də-gə/. La région /b/ est la plus stable en taille (et c'est toujours la région la plus grande quels que soient les facteurs (Figures 52 et 53). En revanche, alors que c'est la région /d/ qui est plus large pour les sujets de l'ordre B2 (dans les deux conditions d'explosion), on peut remarquer que c'est la région /g/ qui est la plus large pour les sujets de l'ordre B1 (dans les deux conditions d'explosion) (Tableau 13).

| Oppositions | Tailles de régions attendues | Tailles obtenues : tous facteurs confondus | Tailles obtenues : Avec explosion, ordre B1 | Tailles obtenues : Avec explosion, ordre B2 | Tailles obtenues : Sans explosion, ordre B1 | Tailles obtenues : Sans explosion, ordre B2 |
|-------------|------------------------------|--|---|---|---|---|
| /bə/ | 120 | 161 | 156 | 157 | 155 | 169 |
| /də/ | 120 | 102 | 72 | 115 | 90 | 145 |
| /gə/ | 120 | 97 | 132 | 88 | 115 | 46 |

Tableau 13 Taille des régions attendues et observées tous facteurs confondus et en fonction de l'ordre et de l'explosion

AVEC EXPLOSION

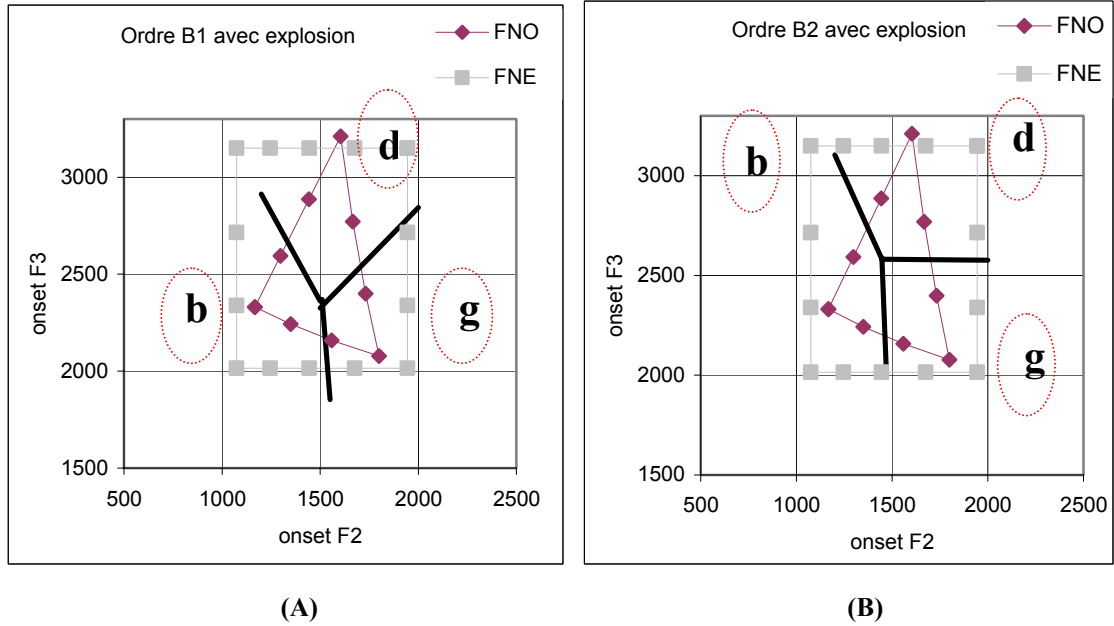


Figure 52 Division de l'espace perceptif pour les deux groupes (A : ordre B1, B : ordre B2) de sujets dans la condition 'avec bruit d'explosion' du continuum /bə-də-gə/. Les carrés gris représentent les valeurs des stimuli du continuum phonétique, les losanges rouges représentent les valeurs des stimuli du continuum phonologique.

SANS EXPLOSION

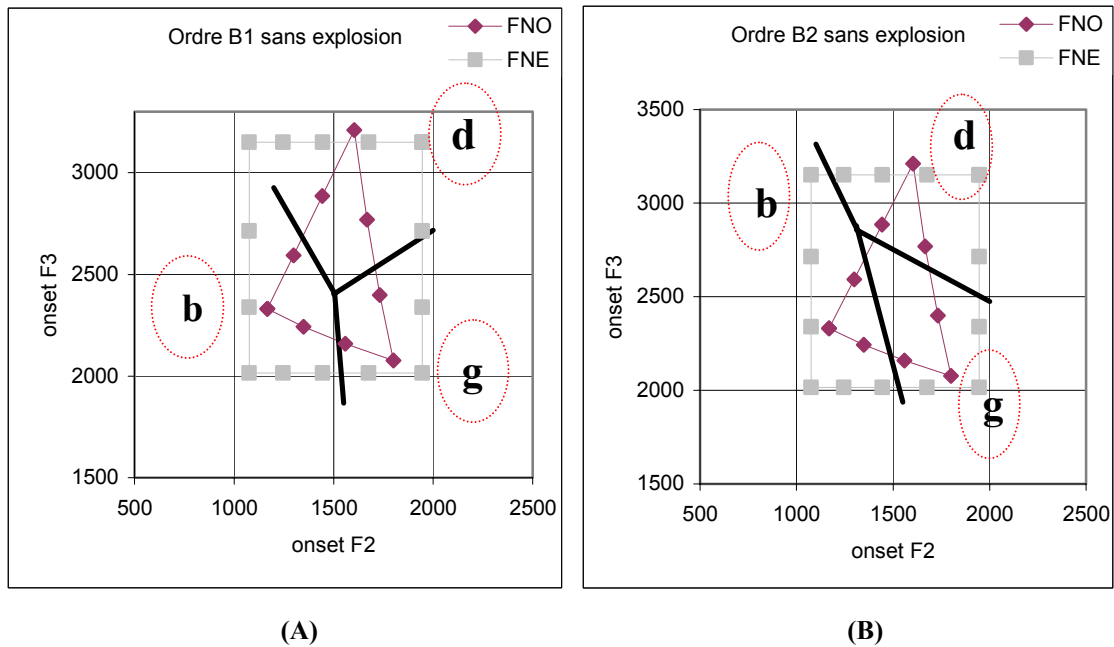


Figure 53 Division de l'espace perceptif pour les deux groupes (A : Ordre B1, B : Ordre B2) de sujets dans la condition 'sans bruit d'explosion' du continuum /bə-də-gə/. Les carrés gris représentent les valeurs des stimuli du continuum phonétique, les losanges rouges représentent les valeurs des stimuli du continuum phonologique.

La frontière obtenue pour /də-gə/ est la plus proche de l'orientation attendue (il apparaît une différence moyenne de 6°, voir Tableau 13), tous facteurs confondus, mais avec de fortes variations selon les facteurs d'explosion et d'ordre. Les différences moyennes entre orientations attendues et observées sont plus larges pour /bə-də/ (24°) et /gə-bə/ (17°).

Nos hypothèses de travail quant à l'orientation des frontières ne sont pas entièrement vérifiées et le degré de discordance varie selon l'opposition. Ceci introduit un biais dans la vérification de nos hypothèses sur la précision et la perception catégorielle : plus la discordance est large, plus le biais vers une moindre catégorialité des réponses sera important. Cependant, nos hypothèses portent sur des différences entre l'opposition /bə-də/ d'une part et les oppositions /gə-bə/ et /də-gə/ d'autre part. Comme les deux premières ne diffèrent que relativement peu quant au degré de discordance (qui est plus large que celui de /də-gə/), nous nous concentrerons sur les comparaisons entre /bə-də/ et /gə-bə/ pour interpréter les résultats obtenus avec le continuum phonologique.

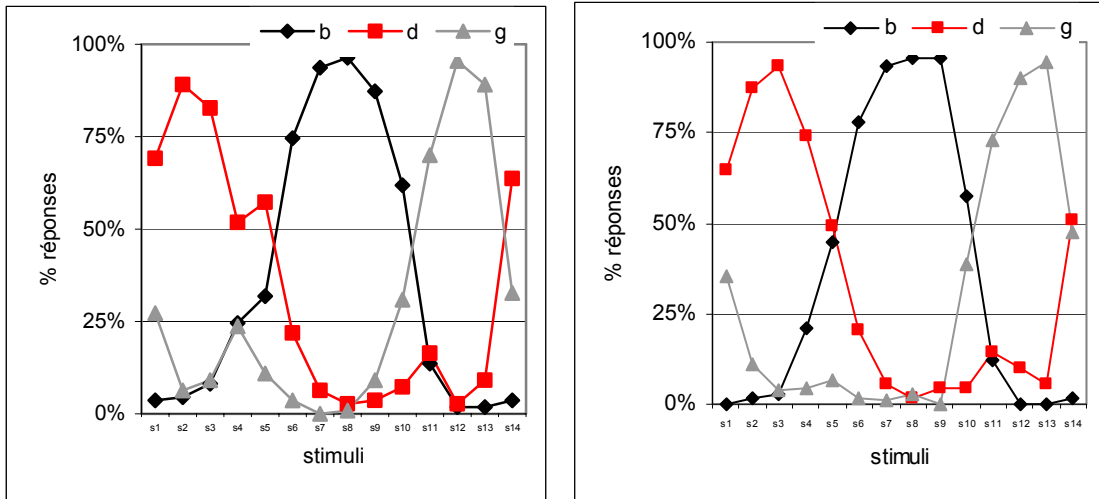
| Oppositions | Orientations attendues | Orientations obtenues : tous facteurs confondus | Orientations obtenues : Avec explosion, ordre B1 | Orientations obtenues : Avec explosion, ordre B2 | Orientations obtenues : Sans explosion, ordre B1 | Orientations obtenues : Sans explosion, ordre B2 |
|-------------|------------------------|---|--|--|--|--|
| /bə-də/ | 135° | 111° | 118° | 115° | 120° | 115° |
| /də-gə/ | 15° | 9° | 46° | 0° | 30° | -30° |
| /gə-bə/ | 255° | 272° | 274° | 272° | 275° | 284° |

Tableau 14 Coefficients angulaires attendus et observés pour les 3 oppositions

4.2.2 Hypothèses sur les pentes des fonctions d'identification

4.2.2.1 Pentas sur le continuum phonétique

ORDRE B1, CONTINUUM PHONETIQUE

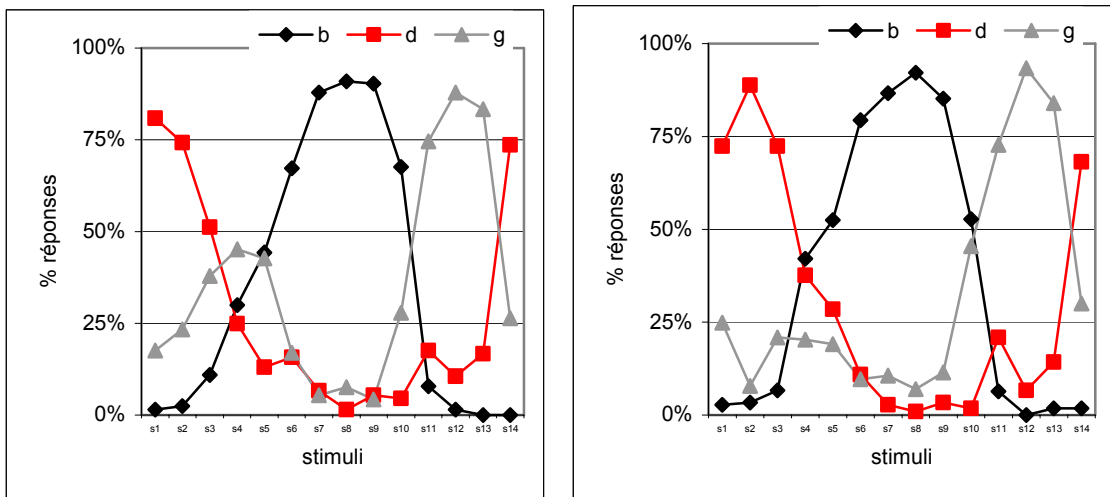


(A)

(B)

Figure 54 Précision catégorielle, ordre B1, continuum phonétique sans bruit d'explosion (A) et avec bruit d'explosion (B)

ORDRE B2, CONTINUUM PHONETIQUE



(A)

(B)

Figure 55 Précision catégorielle, ordre B2, continuum phonétique sans bruit d'explosion (A) et avec bruit d'explosion (B)

| Oppositions | Pentes FNE avec explosion | | Pentes FNE sans explosion | |
|-------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| | Moyenne | écart-type | Moyenne | écart-type |
| /bə-də/ | 0,25 | 0,19 | 0,19 | 0,11 |
| /də-gə/ | 0,57 | 0,37 | 0,41 | 0,23 |
| /gə-bə/ | 0,32 | 0,22 | 0,23 | 0,16 |

Tableau 15 Moyennes et écart-types des pentes du continuum phonétique avec et sans explosion

| Contrastes | Pentes FNE |
|--------------------|----------------------|
| /bə-də/ vs /də-gə/ | F(1,20)= 54.9 p<.001 |
| /bə-də/ vs /gə-bə/ | F(1,20)= 2.93 p=.10 |
| /də-gə/ vs /gə-bə/ | F(1,20)= 57,5 p<.001 |

Tableau 16 Résultats des contrastes dans l'ANOVA permettant d'évaluer la pente de chaque opposition en référence à l'opposition /bə-də/ ou à l'opposition /də-gə/

L'explosion et l'opposition ont un effet significatif sur les pentes (respectivement $F(1,20)=4,70$ $p<.05$; $F(2,40)=36,6$ $p<.001$). En revanche, l'ordre n'a pas d'effet significatif ($F(2,40)=1,10$; $p=.30$). L'interaction explosion x opposition est à la limite de la signification ($F(2,40)=3,21$ $p=.05$), et les interactions explosion x ordre, opposition x ordre et opposition x explosion x ordre sont non significatives (respectivement $F<1$). Des analyses de contraste ont été conduites afin de tester séparément les différences de pentes entre oppositions. Etant donné que les interactions opposition x explosion et opposition x ordre étaient tout au plus à la limite de la significativité, les contrastes ont été testés globalement (voir Tableau 15 pour les moyenne et écart-type de pentes par opposition et Tableau 16 pour les tests de contrastes entre oppositions). Ces analyses nous permettent de constater que la pente /bə-də/ est inférieure à la pente /də-gə/ qui est également inférieure à la pente /gə-bə/. Ces résultats sont en faveur des modèles d'ajout de structure et de couplage.

4.2.2.2 Pentas sur le continuum phonologique

ORDRE B1, CONTINUUM PHONOLOGIQUE

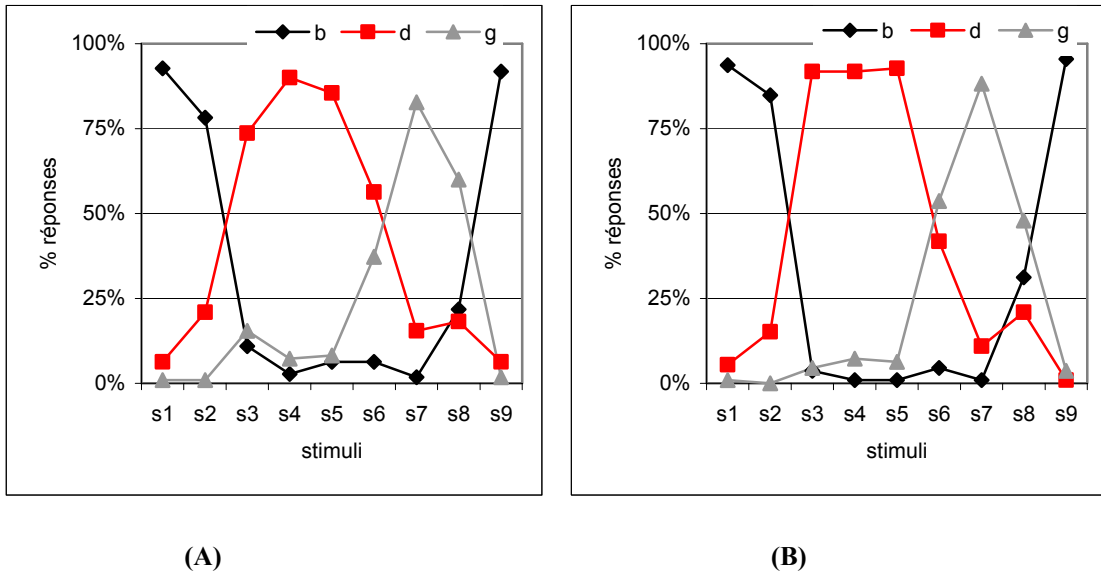


Figure 56 Précision catégorielle, ordre B1, continuum phonologique sans bruit d'explosion (A) et avec bruit d'explosion (B)

ORDRE B2, CONTINUUM PHONOLOGIQUE

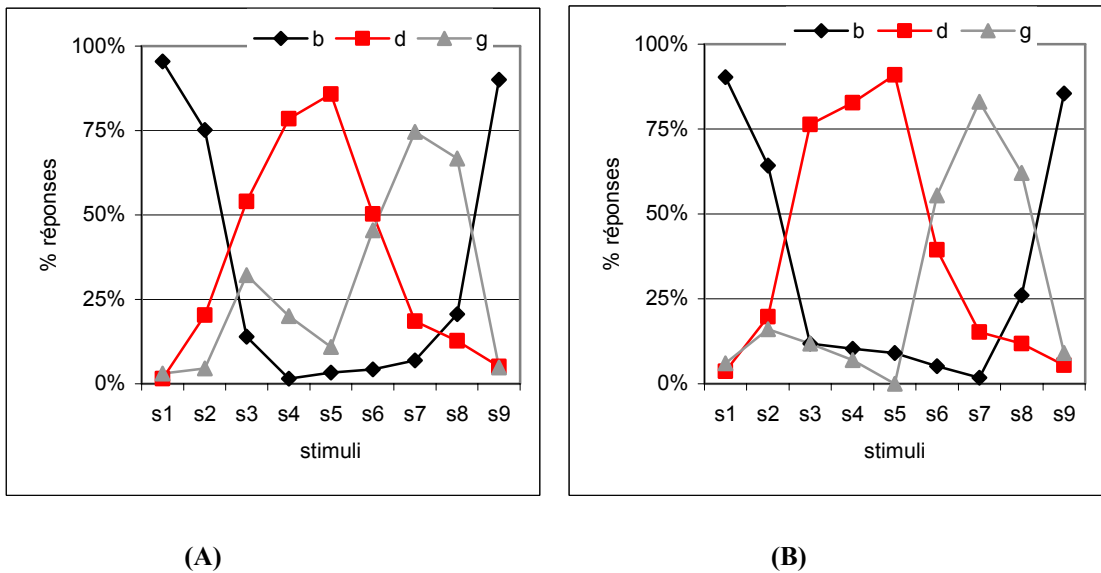


Figure 57 Précision catégorielle, ordre B2, continuum phonologique sans bruit d'explosion (A) et avec bruit d'explosion (B)

| Oppositions | Pentes FNO avec explosion | | Pentes FNO sans explosion | |
|-------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| | Moyenne | écart-type | Moyenne | écart-type |
| /bə-də/ | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,05 |
| /də-gə/ | 0,42 | 0,23 | 0,34 | 0,21 |
| /gə-bə/ | 0,42 | 0,23 | 0,37 | 0,20 |

Tableau 17 Moyennes et écart-types des pentes du continuum phonologique avec et sans explosion

| Contrastes | Pentes FNO |
|--------------------|----------------------|
| /bə-də/ vs /də-gə/ | F(1,20)= 42.8 p<.001 |
| /bə-də/ vs /gə-bə/ | F(1,20)= 51.6 p<.001 |
| /də-gə/ vs /gə-bə/ | F<1 |

Tableau 18 Résultats des contrastes dans l'ANOVA permettant d'évaluer la pente de chaque opposition en référence à l'opposition /bə-də/ ou à l'opposition /də-gə/

L'opposition a un effet significatif ($F(2,40)=43,6$ $p<.001$). Par contre ni l'explosion, ni l'ordre ne sont significatifs (respectivement $F(1,20)=2.29$; $p=.15$; $F<1$). L'interaction explosion x opposition n'est pas significative ($F(2,40)=2.86$ $p=.07$), ainsi que l'ensemble des autres interactions (toutes $F<1$). Des analyses de contraste ont été conduites afin de tester séparément les différences de pentes entre oppositions. Etant donné que les interactions étaient non significatives, les contrastes ont été testés globalement (voir Tableau 17 pour les moyenne et écart-type des oppositions et Tableau 18 pour les contrastes entre pentes). Les résultats sont en faveur du modèle d'ajout de structure.

4.2.3 Hypothèse sur les scores de discrimination

4.2.3.1 Perception catégorielle du continuum phonétique

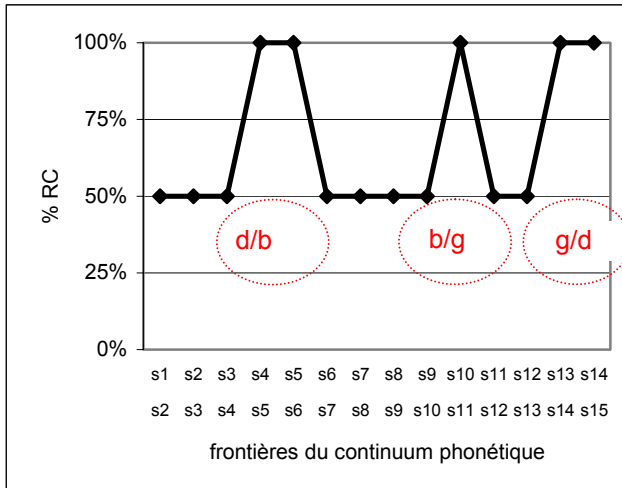
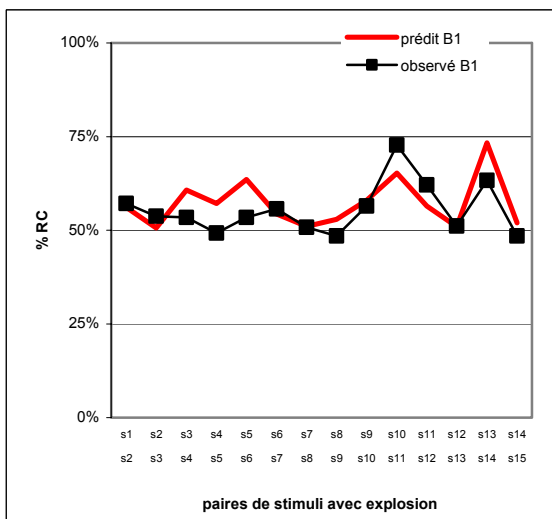
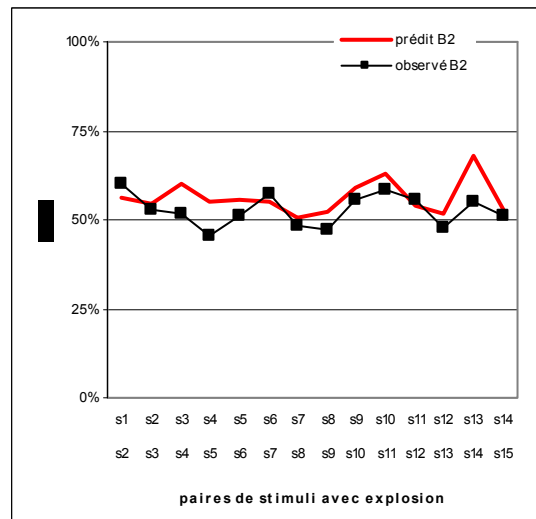


Figure 58 Frontières attendues sur le continuum phonétique

CONTINUUM PHONETIQUE, AVEC EXPLOSION



(A)



(B)

Figure 59 Discrimination prédite et observée du continuum phonétique en condition 'avec bruit d'explosion' pour les deux groupes (A : Ordre B1 ; B : Ordre B2)

CONTINUUM PHONETIQUE, SANS EXPLOSION

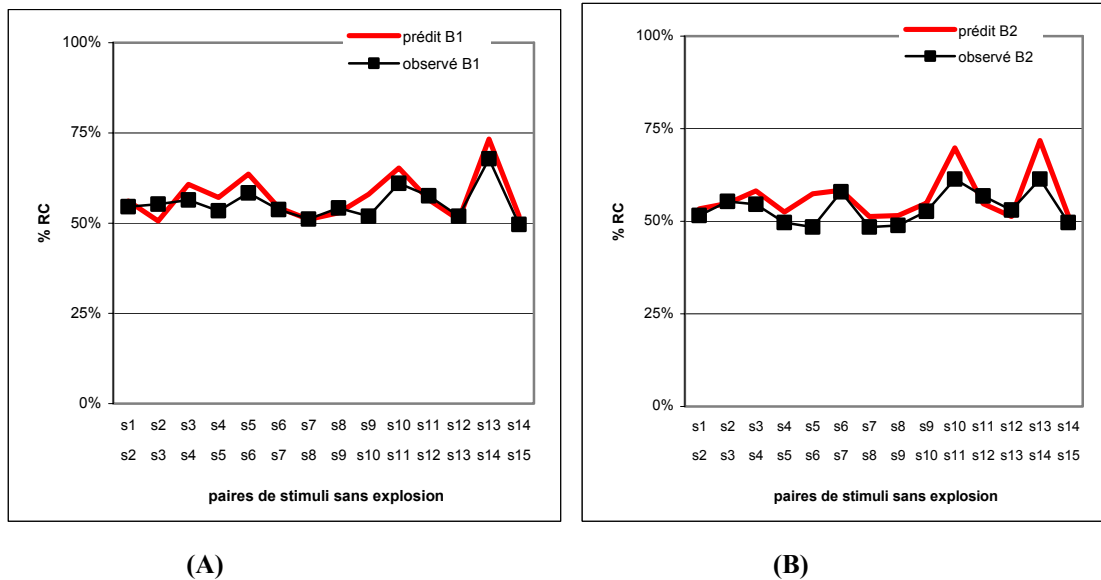


Figure 60 Discrimination prédite et observée du continuum phonétique sans explosion pour les deux groupes (A : Ordre B1 ; B : Ordre B2)

A. Continuum phonétique : scores de discrimination observés

Les scores de discrimination observés ont été traités à l'aide d'une ANOVA à 2 facteurs intra-sujets (paires et explosion) ainsi qu'un facteur inter-sujets (ordre). L'explosion et les paires de stimuli ont un effet significatif (respectivement $F(1,20)=10,24$ et $F(13,260)=8,42$; les deux $p<.01$). L'ordre n'a pas d'effet significatif ($F(1,20)=2,81$ $p=.11$). Alors que l'interaction explosion x paires de stimuli est significative ($F(13,260)=2$ $p<.02$), les interactions explosion x ordre et paires de stimuli x ordre ne le sont pas (respectivement $F(1,20)<1$ et $F(13,260)<1$). Enfin, la triple interaction explosion x paires de stimuli x ordre n'est pas significative ($F(13,260)<1$) (Figure 59 et 60).

Etant donné l'interaction significative explosion x paires de stimuli, les tests de différence par rapport au hasard ont été réalisés séparément pour les pics de discrimination avec et sans bruit d'explosion. Les résultats (Tableau 19) montrent que ces pics ont tous été discriminés au-delà du seuil du hasard. Ces résultats sont en faveur des modèles d'ajout de structure et de couplage.

| Explosion | Paires | t (21) | Significativité | Explosion | Paires | t (21) | Significativité |
|---------------------------|--------|--------|-----------------|---------------------------|--------|--------|-----------------|
| Avec bruit d'explosion | s2s3 | 2,73 | p<.05 | Sans bruit d'explosion | s2s3 | 3,01 | p<.01 |
| | s6s7 | 2,71 | p<.05 | | s6s7 | 2,46 | p<.05 |
| | s10s11 | 5,71 | p<.01 | | s10s11 | 4,15 | p<.01 |
| | s13s14 | 5,24 | p<.01 | | s13s14 | 4,36 | p<.01 |

Tableau 19 Test-t échantillon unique pour tester la discrimination au dessus de 50% (seuil du hasard) sur les pics discriminés.

B. Continuum phonétique : différences entre scores de discrimination observés et prédits

Les scores de discrimination observés et prédits ont été traités à l'aide d'une ANOVA à 3 facteurs intra-sujets (type de score, paires et explosion) et 1 facteur inter-sujets (l'ordre). L'explosion, le type de score et les paires de stimuli ont tous un effet significatif (respectivement $F(1,20)=8,60$; $F(1,20)=8,60$ et $F(13,260)=9,35$, les trois $p<.01$). En revanche, l'ordre n'a pas d'effet significatif ($F(1,20)=1,79$ $p=,19$). Les interactions explosion x type de score, explosion x paires de stimuli et type de score x paires de stimuli sont significatives (respectivement $F(1,20)=7,48$; $F(13,260)=2,29$ et $F(13,260)=2,29$; les trois $p<.01$), mais les autres interactions ne le sont pas (explosion x ordre et type de score x ordre (les deux $F(1,20)=1,91$ $p=,18$) et paires de stimuli x ordre ($F(13,260)<1$).

Hormis la triple interaction explosion x type de score x paires de stimuli qui est significative ($F(13,260)=1,87$ $p<.05$), les interactions explosion x type de score x ordre, explosion x paires de stimuli x ordre et type de score x paires de stimuli x ordre ne le sont pas (respectivement $F(1,20)<1$; $F(13,260)<1$ et $F(13,260)<1$). Enfin, la quadruple interaction explosion x type de score x paires de stimuli x ordre n'est également pas significative ($F(13,260)<1$).

Remarquons que l'interaction type de score x paires de stimuli est significative essentiellement en raison de la présence de 2 pics prédits dans la région /bə-də/, plutôt qu'en raison de la différence entre la discrimination prédite et observée aux frontières naturelles. L'analyse de contraste révèle que la différence entre types de score n'est pas significativement différente lorsque l'on compare les pics localisés aux frontières naturelles (confère Tableau 20). Néanmoins, le fait d'obtenir une différence

significative entre pics observés et prédits (effet type de score) va à l'appui des modèles d'ajout de structure et de couplage

| Contrastes Paire X vs Paire Y | Avec explosion Type de score x stimuli | Sans explosion Type de score x stimuli |
|----------------------------------|--|---|
| Type de score x stimuli | F(13,273)=2,02 p<.02 | F(13,273)=2,06 p<.02 |
| S2s3 vs s6s7 | F(1,21)=3,18 p=,08 | F(1,21)=1,27 p=,27 |
| S2s3 vs s10s11 | F(1,21)<1 | F(1,21)=4,22 p=.05 |
| S2s3 vs s13s14 | F(1,21)=2,63 p=,11 | F(1,21)=13,46 p<.01 |
| S6s7 vs s10s11 | F(1,21)<1 | F(1,21)=1,96 p=,17 |
| S6s7 vs s13s14 | F(1,21)<1 | F(1,21)=2,81 p=,10 |
| s10s11 vs s13s14 | F(1,21)<1 | F(1,21)<1 |

Tableau 20 Contrastes entre les types de scores les paires discriminées

4.2.3.2 Perception catégorielle du continuum phonologique

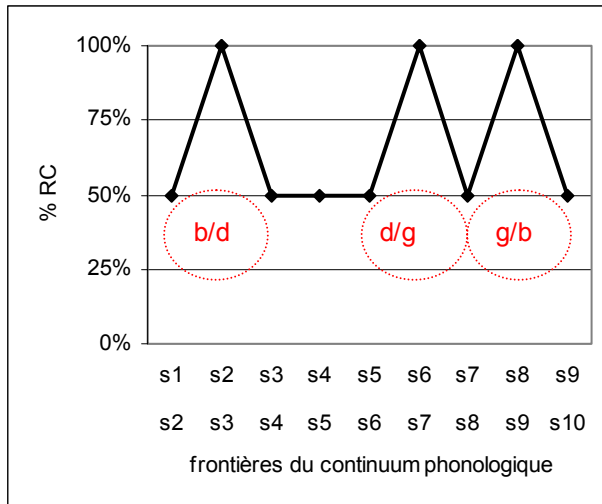
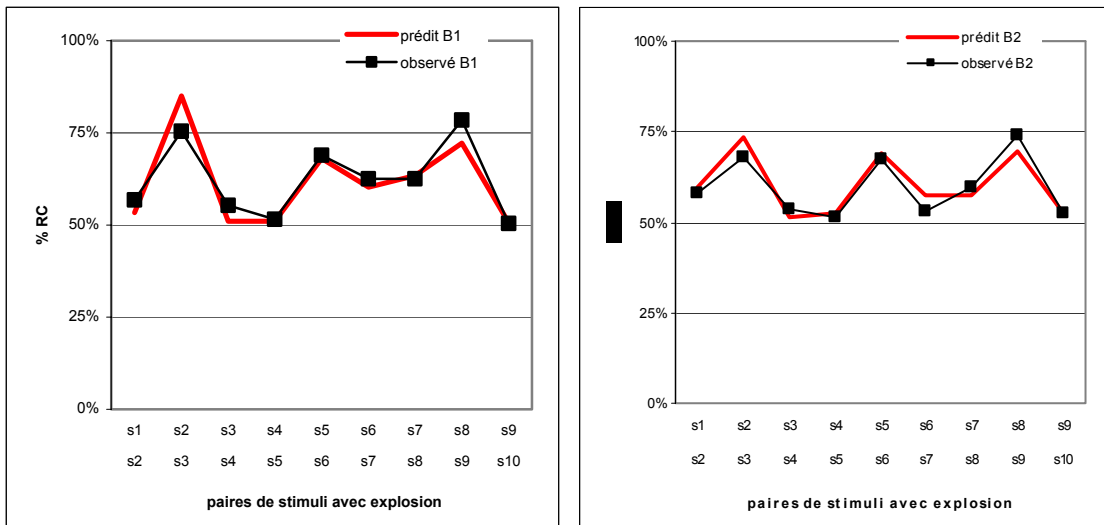


Figure 61 Frontières attendues sur le continuum phonologique

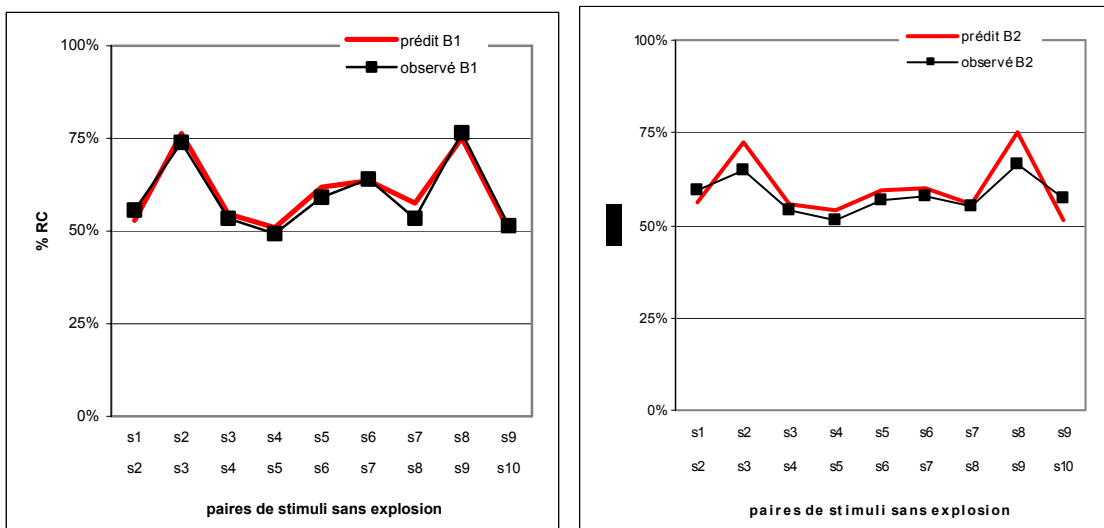


(A)

(B)

Figure 62 Discrimination prédite et observée du continuum phonologique avec explosion pour les deux groupes (A : Ordre B1, B: Ordre B2). Le premier pic correspond à la frontière /b-d/, le second à la frontière /d-g/, le troisième à la frontière /b-g/.

CONTINUUM PHONOLOGIQUE, SANS EXPLOSION



(A)

(B)

Figure 63 Discrimination prédite et observée du continuum phonologique condition sans burst pour les deux groupes de sujets (A : Ordre B1, B: Ordre B2). Le premier pic correspond à la frontière /b-d/, le second à la frontière /d-g/, le troisième à la frontière /b-g/.

A. Continuum phonologique : scores de discrimination observés

Les scores de discrimination observés ont été traités à l'aide d'une ANOVA à 2 facteurs intra-sujets (paires et explosion) et 1 facteur inter-sujets (l'ordre). Les paires de stimuli ont un effet significatif ($F(8,160)=12,11$ $p<.01$), l'explosion a un effet proche de la significativité ($F(1,20)=3,74$ $p=.06$). L'ordre n'a pas d'effet significatif ($F(1,20)=1,02$ $p<.32$). L'interaction explosion x paires de stimuli est significative ($F(8,160)=2,81$ $p<.01$). En revanche, les interactions paires de stimuli x ordre et explosion x ordre ne sont pas significatives (respectivement $F(8,160)=1,02$ $p=.41$ et $F(1,20)<1$). La triple interaction explosion x paires de stimuli x ordre n'est pas significative ($F(8,160)<1$).

L'ANOVA comportait également une analyse de contrastes permettant de comparer l'ampleur des pics de discrimination, et on peut remarquer l'effet significatif des stimuli avec le bruit d'explosion ($F(8,68)=10,51$ $p<.01$) et sans le bruit d'explosion ($F(8,68)=8,84$ $p<.01$). On peut voir la significativité de chaque contraste dans le Tableau 21.

| Contrastes | Avec explosion stimuli | Sans explosion stimuli |
|--------------------|------------------------|-------------------------|
| /bə-də/ vs /də-gə/ | $F(1,21)<1$ | $F(1,21)=9,24$ $p<.01$ |
| /bə-də/ vs /gə-bə/ | $F(1,21)=1,93$ $p=.17$ | $F(1,21)<1$ |
| /də-gə/ vs /gə-bə/ | $F(1,21)=5,86$ $p<.05$ | $F(1,21)=11,98$ $p<.01$ |

Tableau 21 Significativité des contrastes entre pics de discrimination observés.

B. Continuum phonologique : différences entre scores de discrimination prédits et observés

Les scores de discrimination prédits et observés ont été traités à l'aide d'une ANOVA à 3 facteurs intra-sujets (Type de score, Paires et Explosion) et 1 facteur inter-sujets (Ordre). L'explosion a un effet significatif ($F(1,20)=4,89$ $p=.03$) tout comme les paires de stimuli ($F(8,160)=16,73$ $p<.01$). En revanche, le type de score et l'ordre n'ont pas d'effet significatif (respectivement $F(1,20)<1$ et $F(1,20)=1,01$ $p=.32$). Les interactions explosion x ordre, type de score x ordre, paires de stimuli x ordre et explosion x type de score sont non significatives (respectivement $F(1,20)<1$, $F(1,20)<1$, $F(8,160)<1$, $F(1,20)=1,15$ $p=.29$).

En revanche, l'interaction explosion x paires de stimuli est significative ($F(8,160)=3,77$ $p<.01$). Toutes les triples interactions sont non significatives : explosion x type de score x paires de stimuli ($F(8,160)=1,55$ $p=.14$), explosion x type de score x ordre ($F(1,20)<1$), explosion x paires de stimuli x ordre ($F(8,160)<1$), type de score x paires de stimuli x ordre ($F(8,160)<1$). Enfin, la quadruple interaction explosion x type de score x paires de stimuli x ordre est également non significative ($F(8,160)<1$).

L'ANOVA comportait également une analyse de contrastes afin de comparer la différence de type de score entre chaque pic de discrimination. L'interaction explosion x type de score x paire n'étant pas significative, les contrastes entre pics ont été testés pour l'interaction type de score x paires.

On peut remarquer l'effet significatif de l'interaction type score x stimuli pour les pics de discrimination types d'explosion confondus ($F(8,344)=2,15$ $p<.05$). La significativité de chaque contraste est indiquée dans le Tableau 21. L'effet provient non pas d'une différence absolue entre pics observés et prédits entre oppositions mais bien d'une différence relative, le pic prédit étant supérieur à celui observé pour /bə-də/, tandis que le pic prédit est inférieur à celui observé pour /bə-gə/. Le fait de ne pas obtenir une différence significative entre pics observés et prédits (pas d'effet dus type de score) va à l'appui des modèles de changement de structure et de couplage.

| Contrastes | Avec et Sans Explosion Type de score x stimuli |
|--|---|
| Effet type de score x stimuli | $F(8,344)=2,15$ $p<.05$ |
| /bə-də/ vs /də-gə/ | $F(1,43)=3,51$ $p=.06$ |
| /bə-də/ vs /gə-bə/ | $F(1,43)=6,02$ $p<.05$ |
| /də-gə/ vs /gə-bə/ | $F(1,43)<1$ |

Tableau 22 Significativité des contrastes entre chaque pic concernant la différence de score (critère de PCR)

4.3 Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer la réorganisation de l'espace perceptif pour des phonèmes se distinguant dans leur lieu d'articulation, ce qui nous permettait d'examiner si les représentations phonologiques du lieu d'articulation résultaient de couplages entre

traits phonétiques. Jusqu'à présent, ce phénomène de couplage n'a été mis en évidence que pour le trait de voisement (Serniclaes et al., 2004 a et b)

Nous avons construit les continua de telle sorte que des pics de discrimination phonétique ou phonologique apparaissent. Il est parfois nécessaire d'utiliser des continua qui sont aussi proches que possibles de la direction des frontières, afin d'obtenir une juste évaluation des pics de discrimination. Il faut donc connaître la direction des frontières : nous pouvons imaginer qu'un système à 4 catégories utiliserait des frontières naturelles correspondant aux transitions plates de F2 et F3, avec des initiaux à 1500 et 2500 Hz respectivement pour les syllabes / C + vocoïde/. Pour un système à 3 catégories, l'espace se subdiviserait en 3 régions égales de manière optimale, la région 'vide', correspondant à la catégorie de lieu absente en français, serait partagée par ses voisins directs, c'est-à-dire les catégories labiales et apicales. La catégorie dorso-vélaire devrait à son tour s'étendre systématiquement dans les régions labiales et apicales. Selon ces hypothèses, les frontières devraient suivre 3 lignes traversant le F2 (1500 Hz) et le F3 (2500 Hz), séparés par des angles de 120° et des coefficients angulaires de 15° (frontière /də-gə/), 135° (frontière /bə-də/) et 255° (frontière /bə-gə/) relativement à l'axe de F2.

Et c'est ce que nous constatons : 3 frontières apparaissent, avec 3 catégories de lieu d'articulation, et comme attendu, la 4^{ème} catégorie 'vide' a été occupée par les catégories phonémiques adjacentes /b/ et /d/ (Figures 51, 52 et 53). On a pu constater que, malgré des valeurs assez éloignées de celles attendues, les coefficients angulaires des frontières sont équivalents, que le bruit d'explosion soit présent ou pas (Tableau 13). Par contre, le coefficient angulaire de la frontière de l'opposition /də-gə/ chez les sujets de l'ordre B2 est fortement déviant.

Cependant, les résultats montrent que l'espace perceptif se divise en 3 régions, mais pas de manière égale. La catégorie 'vide' a été 'partagée' afin d'aboutir à une représentation phonologique pertinente en français, suggérant l'existence d'un couplage entre prédispositions.

On a pu constater que l'explosion et l'ordre de passation ont eu des effets assez limités (effet à la limite de la significativité) sur les pentes des oppositions lors de

l'identification du continuum phonétique. L'analyse des pentes phonétiques nous a permis de constater que la pente /bə-də/ est inférieure à la pente /də-gə/ qui est également inférieure à la pente /gə-bə/. Ces résultats sont en faveur des modèles d'ajout de structure et de couplage.

Comme pour le continuum phonétique, l'explosion et l'ordre n'ont pas eu d'effet sur l'identification du continuum phonologique. En revanche, en ce qui concerne les pentes phonologiques, les résultats sont davantage en faveur du modèle d'ajout de structure.

Concernant la tâche de discrimination du continuum phonétique, d'une manière générale, on a pu constater que l'ordre de présentation des continua (ordre B1 ou B2) n'affectait pas la discrimination, alors que l'explosion était un facteur important pour la discrimination. De plus, on a pu distinguer des pics de discrimination aux frontières naturelles. De plus, l'on a constaté des pics prédits à proximité de ces frontières pour l'opposition /bə-də/. (voir Figure 46 pour le chevauchement de la frontière naturelle et Tableau 10 pour les valeurs formantiques des stimuli phonétiques). Ces résultats vont à l'appui des modèles d'ajout de structure et de couplage entre prédispositions.

En ce qui concerne la discrimination du continuum phonologique, d'une manière générale, l'ordre de présentation des continua n'a toujours pas d'effet sur la discrimination, et cette fois, la présence ou l'absence de l'explosion ne présente pas non plus d'effet sur la discrimination des continua (l'effet est proche de la significativité). De plus, les résultats correspondent également à nos attentes en ce sens que la perception de ce second continuum est phonologique. En effet, la perception est considérée comme phonologique s'il n'apparaît pas plus de 3 pics de discrimination sur le continuum, et si ces pics correspondent à des frontières phonologiques plutôt que phonétiques.

Et c'est ce que nous constatons. Les 3 pics de discrimination d'amplitude différente sur le continuum. L'analyse par contraste nous a permis de constater que, lors de la présence du bruit d'explosion, l'ampleur du pic de discrimination sur la frontière phonémique /bə-də/ n'était significativement pas différente du pic sur la frontière /də-gə/, mais elle était significativement plus faible que celle du pic sur la frontière /gə-bə/.

ce dernier étant significativement moins large que celui sur la frontière /də-gə/. Lorsque le bruit d'explosion était absent, le pic sur la frontière /bə-də/ était significativement plus fort que celui sur la frontière /də-gə/, il était équivalent à celui sur la frontière /gə-bə/, et ce dernier pic était significativement plus large que le pic de la frontière /də-gə/. On peut donc constater la 'force' du couplage entre prédispositions, étant donné que la frontière /bə-də/ qui est une nouvelle frontière issue des couplages entre prédispositions, a été aussi bien discriminée que les deux autres. Ces résultats vont à l'appui des modèles de changement de structure et de couplage entre prédispositions.

En résumé, l'ensemble des résultats obtenus dans la tâche d'identification sont en faveur du modèle d'ajout de structure, et donc à l'encontre du modèle de changement de structure. Ces résultats vont partiellement à l'appui du modèle de couplage entre prédispositions. En revanche, les résultats de la tâche de discrimination sont entièrement en faveur du modèle de couplages. Nos résultats infirment l'idée d'un simple ajout de structure, étant donné que les frontières naturelles sont différentes des frontières phonologiques. Nous avons pu constater que l'espace perceptif était réorganisé en 3 régions bien définies /bə-də-gə/, révélant ainsi une exploitation optimale du potentiel phonétique offert par des transitions de formants. De plus, notre hypothèse concernant les couplages entre prédispositions est validée car nous avons pu constater que les frontières naturelles sont restées discriminables, et que la frontière phonologique /bə-də/ est aussi discriminable que les deux autres. Le seul élément à l'encontre de ce modèle est que la pente de la fonction /bə-də/ sur le continuum phonétique est plus faible que celle de la fonction /gə-bə/. Ce aspect des résultats provient de l'intrusion de réponses /g/ dans la région phonologiquement vide en français, au voisinage de la frontière /bə-də/. Notons que ceci est dû aux résultats de certains sujets. L'origine de ces variations inter-individuelles méritera d'être explorée à l'avenir.

4.4 Conclusion

Ainsi, nos recherches sur la perception du lieu d'articulation chez l'adulte montrent que les percepts de lieu trouvent leur origine dans un couplage entre traits phonétiques.

Si les couplages ont des avantages fonctionnels, ils entraînent une forte complexification du développement perceptif. En effet, certaines frontières phonologiques viennent se poser à l'endroit où se trouvaient des catégories phonétiques, et inversement des catégories phonologiques chevauchant les frontières phonétiques. Ce bouleversement est la conséquence obligée de la réduction des catégories par couplage. Ce processus s'acquiert dans l'enfance pré-linguistique, entre 6 et 12 mois. Mais au vu de la complexité de ce processus, il ne serait pas étonnant qu'il soit déficient dans une partie de la population. C'est précisément ce point qui est au centre de notre travail sur le déficit phonologique des dyslexiques.

5 Etude 5 : Développement d'un instrument multimédia de remédiation de la dyslexie

Nous savons que les enfants dyslexiques présentent un déficit de perception catégorielle, et qu'il se caractérise par une faiblesse à discriminer la frontière phonémique et une discriminabilité accrue des unités à l'intérieur d'une même catégorie phonémique (Serniclaes et al., 2001). Ce déficit semble provenir d'une meilleure discrimination des différences allophoniques, non pertinentes pour opérer des distinctions lexicales (Serniclaes et al., 2004).

C'est ce mode particulier de perception du langage oral qui pourrait être à l'origine du déficit de lecture. En effet, la perception de la parole en unités phonétiques constitue un handicap considérable pour faire le lien entre avec les graphèmes, étant donné que ces deux types d'unités ne sont pas en correspondance biunivoque, même dans un système orthographique transparent. Le déficit de couplage aurait donc des implications directes dans l'acquisition du langage écrit, et répond ainsi parfaitement à la définition de la dyslexie. Il pourrait alors en constituer le noyau.

On peut rappeler deux études avec des résultats contradictoires portant sur des entraînements chez des enfants dyslexiques : alors que Hurford et Sanders (1990a) avaient constaté une forte amélioration des performances de discrimination phonémique chez des dyslexiques entraînés, Van Heghe (2001) n'a pas relevé d'amélioration pour le même type de population. L'objectif de notre travail est identique au leur, s'inscrivant davantage dans le cadre théorique de Van Heghe, avec une méthodologie différente toutefois

C'est donc à partir de l'hypothèse d'un déficit de couplage qu'a pris naissance notre projet de logiciel de remédiation de la dyslexie. L'objectif de ce programme était de remédier au déficit de lecture par un renforcement des couplages entre traits phonétiques.

Le logiciel visait au développement de la perception catégorielle :

- Par un apprentissage discriminant sélectif, dans le but d'accroître la perceptibilité des différences inter catégorielles et l'inhibition des différences intra catégorielles.
- En associant des changements qualitatifs sur différentes dimensions visuelles aux changements de catégorie phonologique sur des dimensions auditives.

5.1 Méthodologie

5.1.1 Population

10 enfants dyslexiques, âgés entre 8 et 10 ans (2 filles et 8 garçons), ont participé à cette expérience. Ces enfants suivaient des cours à l'école spécialisée de l'hôpital du Kremlin-Bicêtre⁶².

Nous avons divisé les enfants en 2 groupes de 5 enfants : un groupe d'entraînés et un groupe contrôle (groupe entraîné : 3 garçons, 2 filles ; groupe contrôle : 5 garçons). Cette dichotomie nous permettait de constater si les entraînements avaient une conséquence sur la capacité de catégorisation.

5.1.2 Matériel Perceptifs

5.1.2.1 Les continua d'entraînements

Continuum de lieu d'articulation /bə/ /də/ : ce continuum est composé de stimuli synthétiques, variant en fonction de la valeur initiale des transitions formantiques F2 - F3. Les stimuli proviennent du continuum phonologique /bə/ /də/ /gə/, utilisé avec des auditeurs adultes⁶³.

Continuum de voisement /də/ /tə/ : les stimuli utilisés proviennent du continuum utilisé dans l'étude avec les adolescents de 17 ans⁶⁴. Seuls les stimuli à -50, -10, +10 et +50 ms VOT ont été utilisés dans ce logiciel.

⁶² Service du Dr Catherine Billard, Unité de Rééducation Neuropsychologique et Motrice de l'Enfant, Hôpital du Kremlin-Bicêtre

⁶³ Pour une description de ce continuum, confère section 4.1.2.1

⁶⁴ Pour une description de ce continuum, confère section 3.1.3.1

5.1.2.2 Les continua de contrôle

Continuum de lieu d'articulation /ba/ /da/ : Ces signaux sont ceux utilisés en condition « parole » (PP) dans l'étude de Serniclaes et al. (2001).

Les stimuli étaient des sinusoïdes analogues à la parole, modulés en amplitude pour simuler la F0, et représentant une syllabe occlusive + /a/, variant sur un continuum de lieu d'articulation /ba/ /da/. La différence de lieu d'articulation entre les deux consonnes initiales a été créée en modifiant l'initial des fréquences de transition (SIN2 et SIN3), qui correspondent aux second et troisième formants de la parole naturelle (F2 et F3). L'initial de fréquence de SIN2 variant de 700Hz pour l'extrême /ba/ à 2075 Hz pour l'extrême /da/, en 5 pas égaux de 275Hz, aboutissant à un continuum de 6 stimuli. La fréquence de SIN3 variait de 1500Hz pour le point extrême /ba/ à 3875Hz pour le point extrême /da/, en 5 pas égaux de 475Hz. La fréquence finale de transition de SIN2 et SIN3 était fixée à 1300Hz et 2500Hz respectivement.

Continuum de voisement /dø/ /tø/ : ce continuum était celui utilisé dans nos autres études⁶⁵.

5.1.3 Procédures des tests perceptifs

Les 5 enfants entraînés ont été vus durant 5 semaines, pratiquement tous les jours de la semaine, pendant environ 30 minutes. Les cinq enfants du groupe contrôle n'ont été vus que 4 fois (pour les pré tests et post tests). La première semaine nous a permis de soumettre les pré tests à tous les enfants (Tableau 23).

Chaque continuum utilisé dans le logiciel de remédiation (bə-də/ et /də-tə/) était présenté durant 5 sessions. Après les sessions d'entraînement, les enfants ont été une nouvelle fois confrontés à tous les continua afin d'obtenir des données post entraînements (/ba-da/, /do-to/, /bə-də/ et /də-tə/).

⁶⁵ Pour une description des stimuli et de la procédure, confère la section 1.1.3.1

| | <i>Jour 1</i> | <i>Jour 2</i> | <i>Jour 3</i> | <i>Jour 4</i> |
|------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| <i>Semaine 1</i> | Pré test /do-to/ | Pré test /ba-da/ | Pré test /bə-də/ | Pré test /də-tə/ |
| <i>Semaine 2</i> | Training 1 /bə-də/ | Training 2 /bə-də/ | Training 3 /bə-də/ | Training 4 /bə-də/ |
| <i>Semaine 3</i> | Training 5 /bə-də/ | Post test 1 /bə-də/ | Post test 2 /bə-də/ | Training 1 /də-tə/ |
| <i>Semaine 4</i> | Training 2 /də-tə/ | Training 3 /də-tə/ | Training 4 /də-tə/ | Training 5 /də-tə/ |
| <i>Semaine 5</i> | Post test /də-tə/ | Post test /do-to/ | Post test /ba-da/ | |

Tableau 23 Planning des passations. Tous les enfants étaient testés dans la même journée.

5.1.3.1 Evaluation comportementale classique

Les continua /ba-da/ et /do-to/ ont été présentés avec une méthode comportementale classique, c'est-à-dire avec le logiciel Percep (développé par Carré⁶⁶), sans renforcement visuel. Pour chaque continuum, nous avons évalué le niveau de PrC, de PCR et d'EFP, et ce grâce aux données obtenues avec les tâches d'identification et de discrimination.

Lors de la tâche d'identification du continuum /ba-da/, chaque stimulus était présenté 10 fois. Dans la tâche de discrimination, les 6 stimuli étaient présentés dans des paires à 1 pas (5 paires composées de stimuli adjacents) et chaque paire était répétée 5 fois.

En ce qui concerne le continuum /do/ /to/, la tâche d'identification contenait 11 stimuli et chaque stimulus était répété 10 fois. La tâche de discrimination comprenait les 11 stimuli, présentés dans 9 paires à 2 pas (20 ms de différence VOT entre les signaux composant une paire) ; chaque paire était répétée 5 fois.

5.1.3.2 Fonctionnement du logiciel d'entraînement

Le logiciel de remédiation (créé par Sihem Habchi) comptait 10 étapes. Pour les 2 premières sessions d'entraînement de chaque continuum, les enfants passaient toutes les épreuves. Par la suite, ils étaient dispensés des épreuves de prétest du logiciel⁶⁷.

Quel que soit le continuum (/də-tə/ ou /bə-də/), le logiciel a été utilisé de la même façon. Les stimuli visuels utilisés représentaient un ourson et un lapin (dénommés

⁶⁶ <http://www.tsi.enst.fr/~carre/index.html>

⁶⁷ Voir les annexes pour une visualisation du logiciel

Oursonnet et Lapinot). Chacun des personnages était associé à un phonème. Pour le continuum /bə/ /də/, le lapin était associé à la syllabe /də/, car nous pensions que la vision des dents du lapin s'associait parfaitement à un lieu d'articulation dental. L'ourson, avec sa bouche arrondie, était associé au son /bə/. Dans le continuum /də-tə/, le lapin était toujours associé au son /də/ et l'ourson était cette fois ci associé au son /tə/.

(1) Identification prétest

Huit stimuli étaient présentés de manière aléatoire (un exemplaire de /bə/, et un exemplaire de /də/ répétés 4 fois chacun). Ces exemplaires étaient les extrêmes de continuum ; idem pour le continuum /də-tə/. Les enfants devaient appuyer sur une touche du clavier d'ordinateur pour répondre (gommette rouge ou verte selon la couleur attribuée aux stimuli). Dans cette phase, il n'y avait aucun renforcement visuel, que ce soit pendant l'écoute des stimuli ou comme feed back.

Si le sujet ne comprenait pas la consigne, il pouvait le signaler et le lapin reprenait son explication. Si l'enfant échouait (c'est-à-dire s'il ne produisait que des mauvaises réponses, ou s'il mettait trop de temps à répondre), le lapin le rappelait à l'ordre en disant « tu manques de concentration ».

Si les enfants réussissaient, le lapin les félicitait et les encourageait à passer à l'étape suivante.

(2) Discrimination prétest

Le prétest de discrimination comprenait 12 paires de stimuli (3 présentations de la même paire). En fait seuls les stimuli chevauchant la frontière phonémique (S2 et S3) font partie de la tâche de discrimination. Les paires S2S2, S3S3, S2S3 et S3S2 sont présentées 3 fois. L'ISI était de 500 ms et l'intervalle entre paires était de 1 seconde.

L'enfant devait appuyer sur une gommette bleue si les stimuli lui semblent identiques et sur une gommette jaune si les stimuli lui paraissaient différents.

Dans cette phase, il n'y avait aucun renforcement visuel, que ce soit pendant l'écoute des stimuli ou comme feed back.

(3) Entraînement passif de discrimination avec renforcement visuel

A cette étape, les enfants n'avaient qu'à écouter les paires de stimuli et regarder leurs homologues visuels (l'ourson ou le lapin). Huit paires étaient présentées dans un ordre aléatoire (4 paires « même » et 4 paires « différent »). Seule la paire S2 S3 (celle qui chevauche la frontière phonémique) était intégrée à l'entraînement passif. L'ISI était de 500 ms, et l'intervalle entre les paires était de 1 seconde.

(4) Entraînement passif d'identification avec renforcement visuel

Venait ensuite l'entraînement passif d'identification. Huit stimuli étaient présentés dans un ordre aléatoire (4 stimuli /bə/ et 4 stimuli /də/), toujours accompagné de leur homologue visuel. Cette fois, tous les stimuli étaient présents (S1 S2 S3 S4) et étaient espacés de 500 ms.

(5) Entraînement actif de discrimination avec renforcement visuel (avec Lapinot et Oursonnet)

Le sujet devait indiquer s'ils percevaient une différence entre les stimuli. Si les stimuli lui paraissaient identiques, ils devaient appuyer sur une gommette bleue collée sur le clavier de l'ordinateur, s'ils lui paraissaient différents, il devait appuyer sur une gommette jaune. Seule la paire S2S3 était intégrée à cette tâche. Le renforcement visuel était également présent à cette étape. Ainsi, l'ourson ou le lapin apparaissait en même temps que le son qu'il représentait. Cette épreuve comportait également un feed-back : si les enfants répondaient correctement, un des deux personnages signalait que la réponse était correcte en souriant, si la réponse était fautive, un des deux personnages signalait la réponse incorrecte par une grimace.

(6) Entraînement actif d'identification avec renforcement visuel

La tâche du sujet consistait à désigner le changement qualitatif, après un bref entraînement. Cette étape comportait également un renforcement et un feed-back visuel, qui se déroulaient de la même façon que dans la tâche de discrimination (étape 5).

(7) Entraînement actif de discrimination sans renforcement visuel

Cette étape est identique à l'étape 5, sauf que les stimuli sont présentés sans associés visuels. En revanche, les réponses correctes sont toujours renforcées (vision de l'ourson ou du lapin qui sourient si le sujet a répondu correctement lors de la présentation d'une paire de syllabes ; de même, apparition du lapin ou de l'ourson qui font triste mine si le sujet s'est trompé)

(8) Entraînement actif d'identification sans renforcement visuel

Cette tâche d'identification était identique à l'étape 6, sauf qu'elle ne comportait pas de renforcement visuel.

(9) Post test identification

Ce test était identique au prétest (mêmes stimuli et même nombre de présentations). Il nous permettait d'obtenir des données contrôles instantanément après les entraînements.

(10) Post test de discrimination

Ce test de discrimination se déroulait également selon les mêmes modalités que le prétest de discrimination, et avait également pour vertu de nous fournir des données contrôles immédiatement après les entraînements.

5.1.4 Procédures Statistiques

La méthode comportementale classique : la méthode comportementale classique nous a permis d'évaluer la précision catégorielle (PrC), la perception catégorielle (PCR) et l'effet de frontière phonémique (EFP) sur les 4 continua, avant et après les entraînements

Une ANOVA à mesures répétées conduite sur les scores de discrimination prédite et observée nous a permis d'analyser le critère de PCR pour les 4 continua. Pour les continua /bə-də/ et /də-tə/, l'ANOVA comprenait 3 facteurs: la session (prétest et post test), le type de score (prédits vs observés) et les paires de stimuli. L'effet des entraînements a été évalué sur la base de la triple interaction session x type de score x paires.

Pour les continua /ba-da/ et /do-to/, la même ANOVA à mesures répétées était conduite, mais le facteur inter-sujets qu'est le groupe (témoins vs entraînés) était également inclus. L'effet des entraînements sur la PCR a été testé sur la base de la quadruple interaction session x type de score x paires x groupe.

Le critère d'EFR a été testé par une ANOVA à mesures répétées avec deux facteurs : la session et les paires de stimuli, et le facteur inter-sujets groupe (témoins vs entraînés) si les analyses portaient sur les continua /ba-da/ et /do-to/. L'effet des entraînements sur la discrimination de la frontière phonémique a été testé sur la base de l'interaction session x paires pour les continua /bə-də/ et /də-tə/, ou de l'interaction session x paires x groupe pour les continua /ba-da/ et /do-to/.

Enfin, la PrC a été testée avec une ANOVA à mesures répétées. Elle comptait un facteur : la session (représentant les pentes individuelles à chaque session). Le facteur inter-sujets du groupe était une nouvelle fois inclus pour les continua /ba-da/ et /do-to/. L'effet des entraînements sur la PrC a été testé sur la base du facteur principal de la session pour les continua /bə-də/ et /də-tə/, ou de l'interaction session x groupe pour les continua /ba-da/ et /do-to/. Les pentes avaient été obtenues précédemment grâce à une régression logistique, et estimées pour chaque sujet pour toutes les sessions. Dans la régression logistique, la réponse était considérée comme la variable dépendante (/to/ pour le continuum /do-to/, /ba/ pour /ba-da/, /də/ pour /bə-də/ et /tə/ pour /də-tə/).

Phase d'entraînement : les scores d'identification et de discrimination recueillis lors des entraînements nous ont permis d'évaluer l'évolution de la précision catégorielle et de la discrimination de la frontière phonémique.

La PrC a été évaluée avec une ANOVA à mesures répétées, qui comprenait la session comme facteur fixe, le critère étant fourni par les pentes individuelles à chaque session d'entraînement. Les pentes individuelles avaient été obtenues précédemment grâce à une régression logistique, avec la réponse comme variable dépendante (/də/ pour /bə-də/ et /tə/ pour /də-tə/), et les sujets et les stimuli pour variables explicatives. L'évolution de la précision catégorielle a été testée sur la base du facteur principal qu'est la session.

Pour analyser l'évolution de la discrimination de la frontière phonémique, le pourcentage de réponses correctes à la frontière phonémique était calculé (non seulement pour le groupe, mais également de façon individuelle). Nous avons conduit une régression logistique avec un contraste Ecart First, ce contraste nous permettant de vérifier si la performance de discrimination à une session donnée différait significativement de la première session, session de référence.

5.2 Résultats

5.2.1 Continuum 1 : /bə-də/

5.2.1.1 Prétest et post tests : résultats

Perception catégorielle et EFP

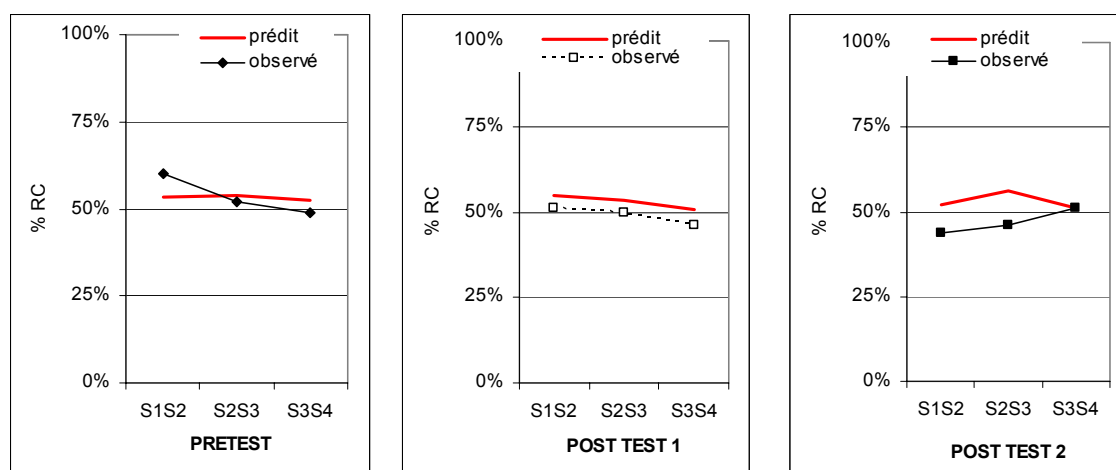


Figure 64 Discrimination prédite et observée du continuum /bə-də/ du groupe entraîné, prétest, post test 1 et 2

Il n'apparaît aucun effet significatif de tous les facteurs : pas d'effet de la session ($F(2,8) < 1$), ni des paires ($F(2,8) = 1,11$ $p = ,37$) ou du type de score ($F(1,4) = 1,74$ $p = ,25$). Les interactions session x paires ($F(4,16) < 1$), session x type de score ($F(2,8) = 2,21$ $p = ,17$) et paires x type de score ($F(2,8) < 1$) sont non significatives. Enfin, la triple interaction session x type de score x paires n'est pas significative ($F(4,16) = 1,40$ $p = ,27$) (Figure 63).

Pour le critère d'EFP, il n'apparaît pas d'effet de la session ($F(2,8) = 1,40$ $p = ,30$), ni des paires ($F(1,4) < 1$). L'interaction session x paires n'est pas significative ($F(2,8) < 1$).

Précision catégorielle

La session ne présente pas d'effet significatif ($F(2,8) < 1$). La précision catégorielle ne s'améliore pas au cours des sessions (Figure 65).

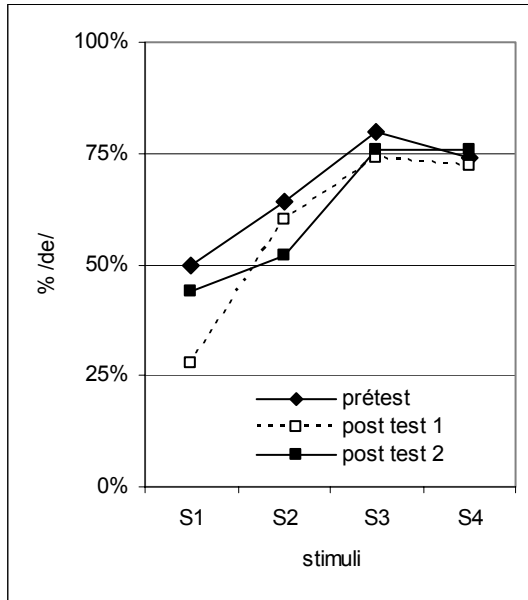
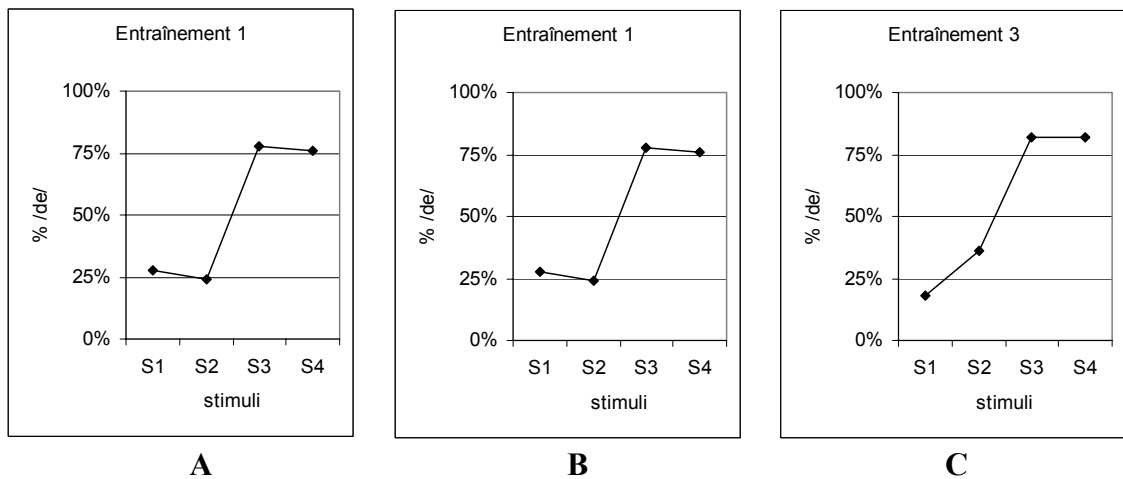


Figure 65 Fonctions d'identification des dyslexiques entraînés sur le continuum /bə/ /də/

5.2.1.2 Entraînements /bə-də/



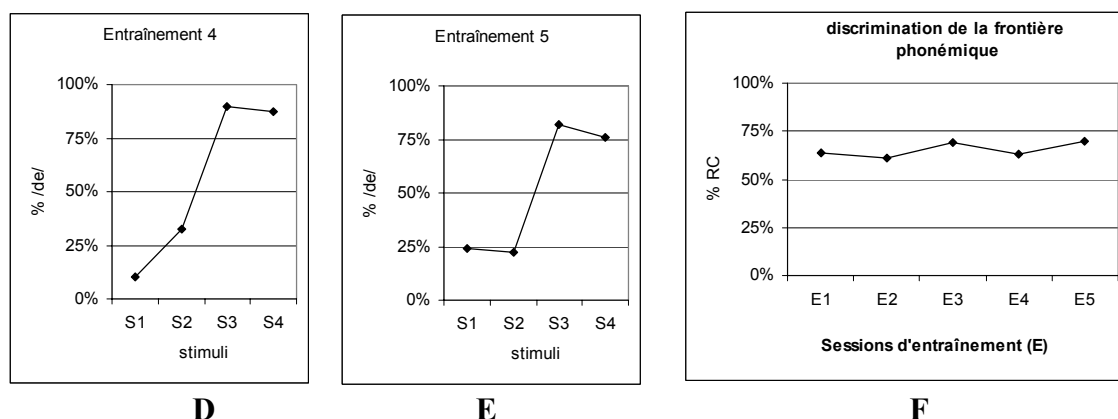


Figure 66 Fonction d'identification (A à E) et % de discrimination de la frontière phonémique (F) du continuum /bə/ /də/ à toutes les sessions d'entraînement, résultats du groupe des entraînés.

| GROUPE | E2 vs E1 | E3 vs E1 | E4 vs E1 | E5 vs E1 | Effet global session |
|---|----------|----------|----------|----------|----------------------|
| Contraste First (Ex vs E1) (significativité) | 0,29 | 0,42 | 0,67 | 0,29 | 0,63 |

Tableau 24 Résultats de la régression logistique permettant d'évaluer la performance de discrimination à la frontière phonémique à chaque entraînement, par référence à l'entraînement 1 (E1) (Figure 66F)

Les entraînements n'ont pas d'effet significatif sur la pente ($F(7,21) < 1$). La précision catégorielle ne s'améliore donc pas au cours des sessions, étant donné qu'elle est relativement cohérente tout au long des sessions (Figure 66).

En ce qui concerne l'évolution de la discrimination de la frontière phonémique, il n'apparaît aucun effet des entraînements ($p=0,63$), suggérant une homogénéité des performances de discrimination durant les entraînements. D'ailleurs, lors de l'évaluation individuelle de chacune des sessions, aucune d'entre elles ne ressort significativement différente de la session 1 (Tableau 24).

5.2.1.3 Résumé

Après analyse des résultats, nous ne constatons pas d'évolution de la perception catégorielle, malgré les entraînements spécifiques sur ce continuum.

Tout d'abord, en ce qui concerne le critère de PCR, nous pouvons observer que les scores observés de discrimination ne progressent pas entre le prétest et le post test

(scores oscillant entre 50% et 60% de RC). De plus, lors des entraînements, la discrimination de la frontière phonémique est relativement homogène, les performances se situant entre 61 et 71% de RC (Figure 66 F), et aucune des sessions d'entraînements ne paraissant significativement différente au niveau de la capacité de discrimination (Tableau 24).

Concernant le critère de précision catégorielle, on peut remarquer que les enfants identifient l'un des extrêmes du continuum à 50% de réponses /də/ lors du prétest et post test 2, suggérant une frontière phonémique déviante. Néanmoins, on remarque que ce stimulus recueille 75% de RC lors du premier post test, suggérant alors un recentrage de la frontière suite aux entraînements. Cependant, au vu des résultats du second post test, le recentrage n'est pas consolidé.

Les enfants présentent de meilleures performances lors des entraînements. En effet, les performances d'identification sont relativement bonnes, dès le début des entraînements. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle on ne constate pas d'évolution monotone des performances : la fonction d'identification est toujours relativement cohérente, avec cependant un déclin à la fin des entraînements (Figure 66 A à E).

Ainsi, au vu des résultats des post tests, on ne peut donc conclure à une évolution des performances, et les entraînements n'ont-ils pas eu de répercussions évidentes sur la capacité de perception catégorielle. Il est important de rappeler que les différences de performances d'identification et de discrimination de la frontière phonémique entre les prétest / post tests et les entraînements sont, en partie, la conséquence de l'emploi de procédures expérimentales différentes⁶⁸.

5.2.2 Continuum 2 : /də-tə/

5.2.2.1 Prétest et post test : résultats

Perception catégorielle et EFP

⁶⁸ Les prétests et post tests sont plus difficiles étant donné qu'ils ont été passés avec le logiciel Percep, dans lequel les conditions expérimentales sont plus difficiles. Les tests comprenaient davantage de stimuli (identification) ou de paires de stimuli (discrimination). De même, les stimuli ou paires étaient présentés avec des ISI plus courts. Cette plus grande difficulté dans la tâche pourrait expliquer les « mauvaises » performances des dyslexiques entraînés.

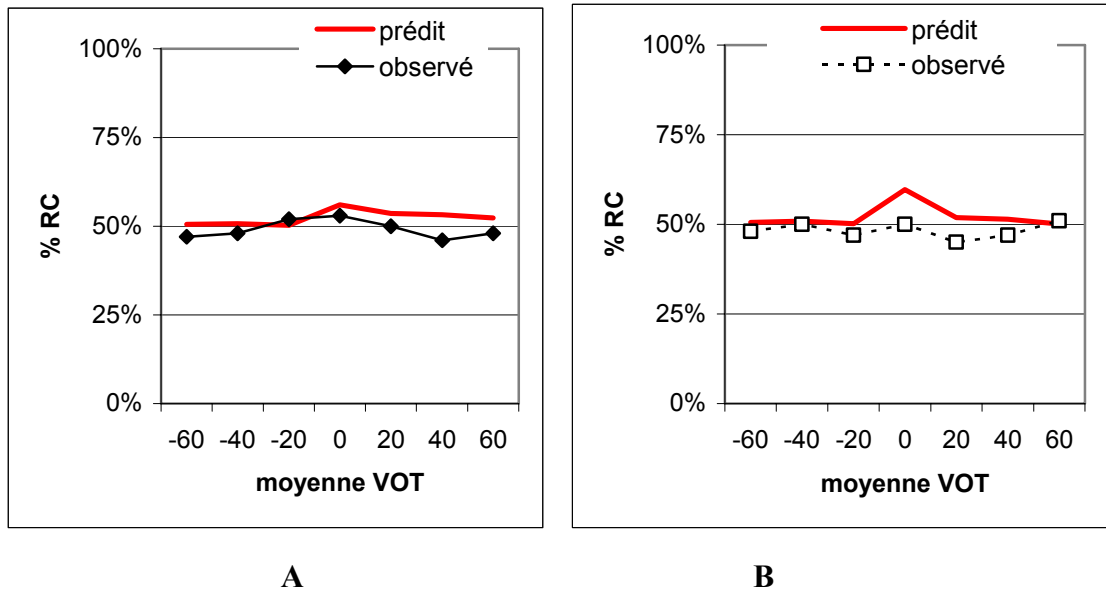


Figure 67 Discrimination prédite et observée des dyslexiques entraînés sur le continuum /də-tə/, prétest (A) et post test (B)

Seules les paires présentent un effet significatif ($F(6,24)= 3,04$ $p<.05$). Les effets de la session et du type de score ne sont pas significatifs (respectivement $F(1,4)<1$ et $F(1,4)=5,38$ $p=,08$). Les interactions session x type de score ($F(1,4)<1$), session x paires et type de score x paires sont également non significatives (les deux $F(6,24)<1$). Enfin, on voit également une absence d'effet de la triple interaction session x type de score x paires ($F(6,24)<1$) (Figure 67).

Pour l'EFP, il y a un effet significatif des paires ($F(1,4)=9,02$ $p<.05$). Il n'y a pas d'effet de la session ($F(1,4)<1$), ni de l'interaction session x paires ($F(1,4)<1$).

Précision catégorielle

La session n'a pas d'effet significatif sur la pente ($F(1,4)=1,05$ $p=,36$). Néanmoins, la pente est relativement bonne, et localisée à l'endroit attendu pour une frontière phonémique d'auditeurs français (entre 10 et 30 ms VOT) (Figure 68).

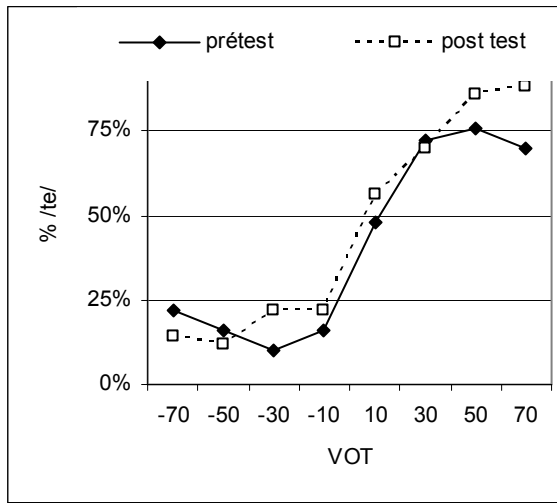


Figure 68 Fonctions d'identification des dyslexiques entraînés sur le continuum /də-tə/, pré et post tests

5.2.2.2 Entraînements /də-tə/ : résultats

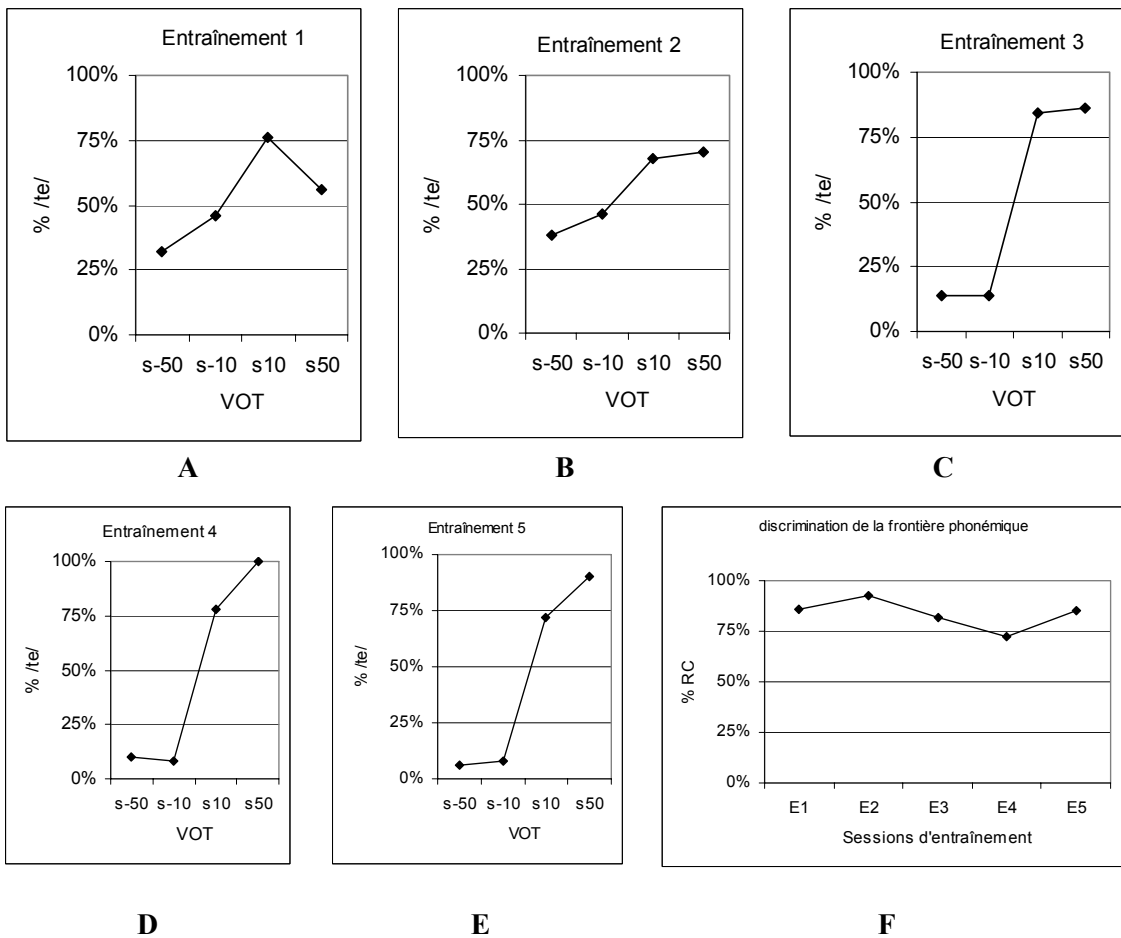


Figure 69 Précision catégorielle (A à E) et % de discrimination de la frontière phonémique (F) du continuum /də-tə/ à toutes les sessions, dyslexiques entraînés

| GROUPE | E2 vs E1 | E3 vs E1 | E4 vs E1 | E5 vs E1 | Effet global session |
|-----------------------------------|-------------|----------|---------------|----------|----------------------|
| Contraste First (Ex vs E1) | | | | | |
| Significativité | 0,01 | 0,36 | 0,0006 | 0,90 | 0,005 |

Tableau 25 Résultats de la régression logistique permettant d'évaluer la performance de discrimination à la frontière phonémique du continuum /də-tə/ à chaque entraînement, par référence à l'entraînement 1 (E1) (Figure 69F)

Les entraînements n'ont pas d'effet significatif sur la pente ($F(6,24)=1,52$ $p=,21$). En ce qui concerne la discrimination de la frontière phonémique, la globalité des sessions présente un effet significatif (Tableau 25), révélant non pas une évolution, mais plutôt une hétérogénéité des performances discriminatives de la frontière phonémique. On peut remarquer la significativité des sessions 2 et 4, provenant d'une hausse suivie d'une chute de performance par rapport à la session 1. Malgré cette hétérogénéité, on peut constater une très bonne performance de discrimination tout au long des entraînements, même dans la session la plus faible (75% de RC dans la session 4).

5.2.2.3 Résumé

Il n'apparaît aucune évolution de la capacité de perception catégorielle malgré les entraînements. En effet, concernant le critère de PCR, les scores observés de discrimination ne s'approchent des scores prédits et sont plats, indiquant une incapacité des dyslexiques à différencier les stimuli sur le continuum. On peut également constater que les scores prédits de discrimination sont plus élevés à la frontière phonémique lors du post test, suggérant une pente plus raide à la frontière phonémique lors du post test d'identification. Etant donné que les dyslexiques montraient une pente d'identification relativement bonne, il était prédit qu'ils pourraient discriminer les stimuli situés sur la frontière phonémique, mais ce n'est pas le cas. De plus, même s'il apparaît un effet significatif des paires, l'EFP est faible indiquant la faible discrimination de la frontière phonémique.

On ne constate pas non plus d'évolution de la PrC: les pentes d'identification se situe entre les stimuli -10 et +30 ms VOT lors des deux sessions, et la pente n'est pas plus raide lors du post test.

De même, on n'observe pas d'évolution significative des pentes lors des entraînements, même si les pentes d'identification sont relativement bonnes à partir de la troisième session. Il faut noter que nous avons connu des problèmes d'expérimentation à cause du logiciel pour la tâche d'identification lors des deux premières sessions. Ce problème a eu des répercussions sur les performances des sujets et explique en majeure partie les performances générales d'identification des deux premières sessions d'entraînement.

De même, la frontière phonémique est, dès le début des entraînements, fortement discriminée. Cependant, les performances, même si elles sont très bonnes, sont hétérogènes : par exemple, lors de la session 2, les enfants discriminent la frontière phonémique à hauteur de 93% de RC, alors qu'en session 4, ils la discriminent à hauteur de 73% de RC. Lors des autres sessions, la discrimination se situe aux alentours de 85% de RC. Mais cette bonne capacité constatée lors des entraînements n'a pas permis aux dyslexiques d'améliorer leurs performances sur un continuum de même type, mais comprenant des différences acoustiques plus fines.

5.2.3 Continuum 3 : /ba-da/

5.2.3.1 Prétest et post test : résultats

On attendait une pente d'identification entre les stimuli S3 et S4, ainsi qu'un pic de discrimination sur la paire S3S4, composée de stimuli qui chevauchent la frontière phonémique. Nous attendions également une différence dans les performances d'identification et de discrimination en post test en raison de l'entraînement dont a bénéficié un des groupes.

Perception catégorielle et EFP

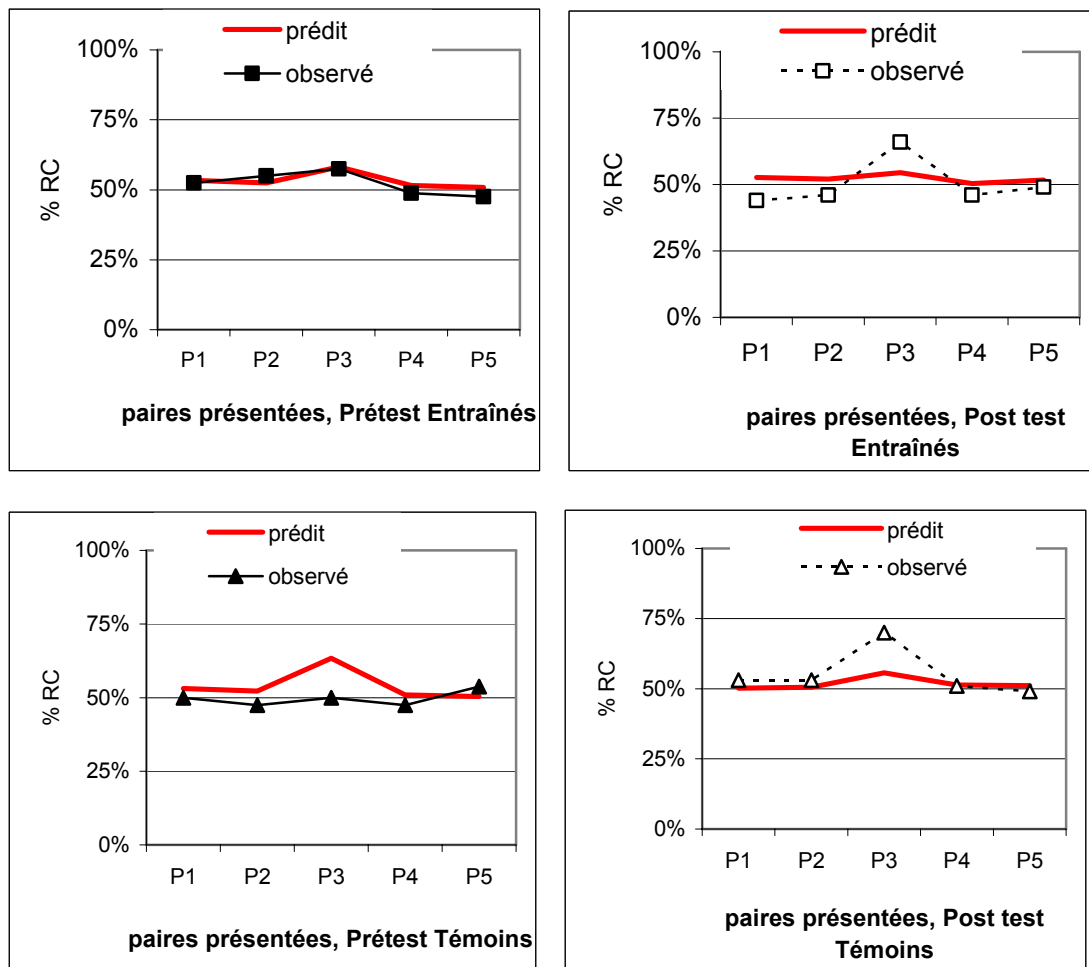


Figure 70 Discrimination prédite et observée du continuum /ba-da/ chez les dyslexiques entraînés (haut) et témoins (bas), prétest et post test

Les paires de stimuli présentent un effet significatif ($F(4,32)=6,45$ $p<.01$), mais la session, le type de score et le groupe ne présentent pas d'effet significatif (les trois $F(1,8)<1$) (Figure 70).

Toutes les interactions sont non significatives : session x groupe ($F(1,8)=1,54$ $p=.25$), session x type de score ($F(1,8)=1,32$ $p=.28$), session x paires ($F(4,32)=1,11$ $p=.36$), type de score x paires ($F(4,32)<1$), type de score x groupe ($F(1,8)<1$), paires x groupe ($F(4,32)<1$).

Hormis la triple interaction session x type de score x paires qui est significative ($F(4,32)=3,09$ $p<.05$), toutes les autres triples interactions sont non significatives : session x type de score x groupe ($F(1,8)=2,29$ $p=.17$), session x paires x groupe

($F(4,32) < 1$), type de score x paires x groupe ($F(4,32) < 1$). Enfin, la quadruple interaction session x type de score x paires x groupe n'est pas significative ($F(4,32) < 1$).

En ce qui concerne l'EFP, les paires ont un effet significatif ($F(1,8) = 10,06$ $p = .01$), mais la session et le groupe ne sont pas significatifs (respectivement $F(1,8) = 2,86$ $p = ,12$ et $F(1,8) < 1$). De plus, aucune des interactions n'est significative : session x paires ($F(1,8) = 3,39$ $p = ,10$), session x groupe ($F(1,8) = 1,41$ $p = ,27$), paires x groupe ($F(1,8) < 1$). On remarque également l'absence d'effet de la triple interaction session x paires x groupe ($F(1,8) < 1$).

Précision catégorielle

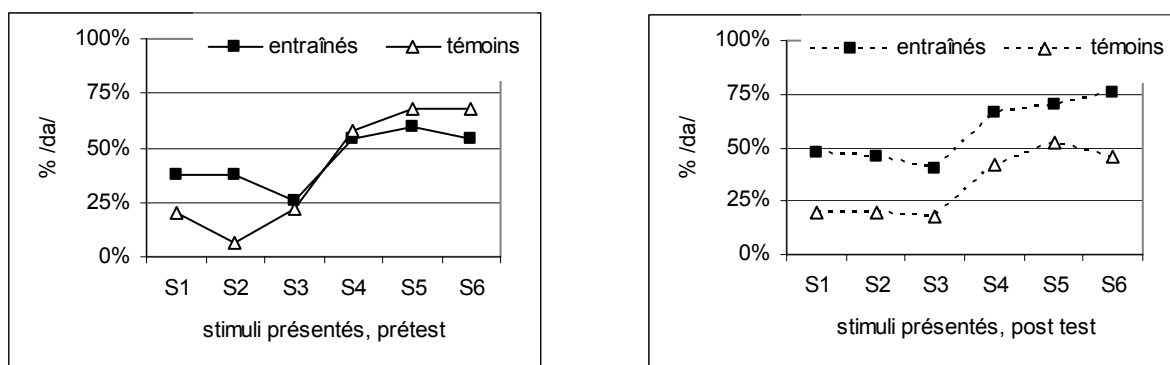


Figure 71 Fonctions d'identification du continuum /ba-da/ chez les dyslexiques entraînés et témoins, prétest et post test

On peut remarquer l'absence d'effet de la session et du groupe (respectivement $F(1,8) = 1$ $p = ,34$ et $F(1,8) = 2,26$ $p = 17$), ainsi que de l'interaction session x groupe ($F(1,8) = 2,90$ $p = ,12$) (Figure 71).

5.2.3.2 Résumé

L'utilisation de ce continuum devait nous renseigner sur l'effet des entraînements sur la perception catégorielle. Or, bien que les performances de catégorisation sur le continuum évoluent, on ne peut pas affirmer que les entraînements en soient la cause. En effet, alors que les scores observés de discrimination étaient plats lors du prétest dans les deux groupes, ils présentent de meilleures performances lors du post test, avec

un pic de discrimination à la frontière phonémique. Nous pouvons d'ailleurs observer une évolution de l'EFP lors du post test, mais qui ne ressort pas significative (absence d'effet de l'interaction paires x session) : alors qu'en prétest, les entraînés et témoins présentent respectivement un EFP de 7% et un EFP nul (0%), les deux groupes présentent 20% d'EFP lors du post test (effet significatif des paires). En revanche, le critère de PC relative n'est pas rempli : hormis pour les dyslexiques entraînés lors du prétest, les scores observés dans la discrimination sont toujours très éloignés des scores prédits. De même, la précision catégorielle ne semble pas s'améliorer entre les deux sessions. Les deux groupes ne montrent pas de pente d'identification, et l'identification des stimuli extrêmes est aléatoire. Ainsi, les résultats obtenus ne confirment pas l'hypothèse du bénéfice des entraînements sur la capacité de perception catégorielle. Il semble que le large pic de discrimination observé en post test pour les deux groupes soit la conséquence d'un effet 're-test'.

5.2.4 Continuum 4 : /do-to /

5.2.4.1 Evolution comportementale classique

Perception catégorielle et EFP

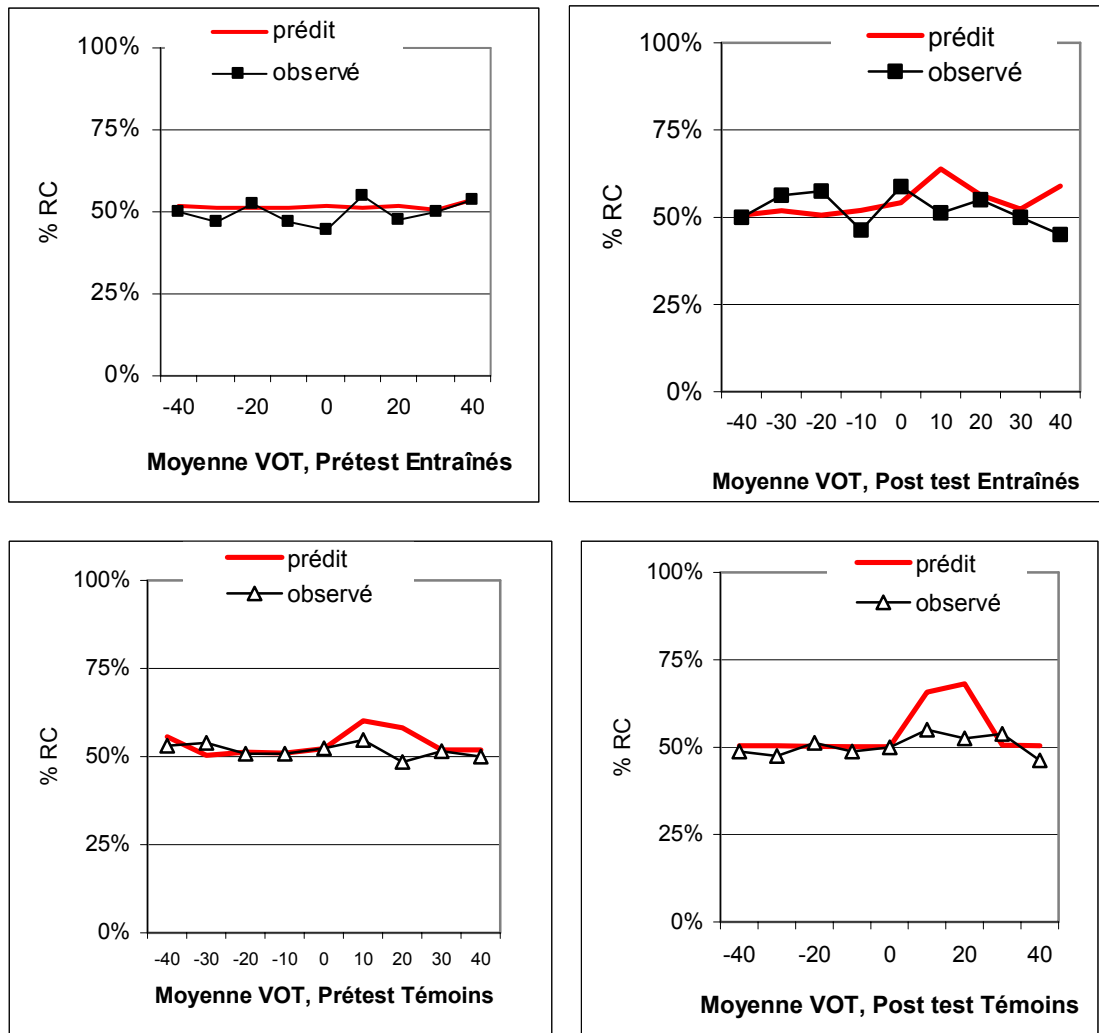


Figure 72 Discrimination prédite et observée du continuum /do-to/ chez les dyslexiques entraînés (haut) et témoins (bas), prétest et post test

En ce qui concerne la discrimination (Figure 72), l'effet du type de score est significatif ($F(1,6)=7,73$ $p<.05$), et l'effet des paires est proche de la significativité ($F(8,48)=2,08$ $p=,056$). En revanche, le groupe et la session ne ressortent pas significatifs (respectivement $F(1,6)<1$ et $F(1,6)=1,89$ $p=,21$).

Les interactions ne sont pas significatives : session x groupe ($F(1,6)=3,76$ $p=,10$), type de score x groupe ($F(1,6)<1$), paires x groupes ($F(8,48)<1$), session x type de score ($F(1,6)<1$), session x paires ($F(8,48)=1,05$ $p=,41$), type de score x paires ($F(8,48)=1,57$ $p=,17$). Les interactions triple ne sont également pas significatives : session x type de score x groupe ($F(1,6)<1$), session x paires x groupe et type de score x paires x groupe (les deux $F(8,48)<1$), session x type de score x paires ($F(8,48)=1,02$ $p=,37$).

Enfin, la quadruple interaction session x type de score x paires x groupe n'est pas significative ($F(8,48)<1$).

En ce qui concerne l'EFP (Figure 72), la session, les paires et le groupe ne présentent pas d'effet significatif (respectivement $F(1,6)=3,72$ $p=,10$; et les deux $F(1,6)<1$).

De plus, aucune des interactions n'est significative : session x groupe ($F(1,6)=3,78$ $p=,10$), paires x groupes et session x paires (les deux $F(1,6)<1$).

Enfin, on peut remarquer l'absence d'effet significatif de la triple interaction session x paires x groupe ($F(1,6)=2,05$ $p=,20$).

Précision catégorielle

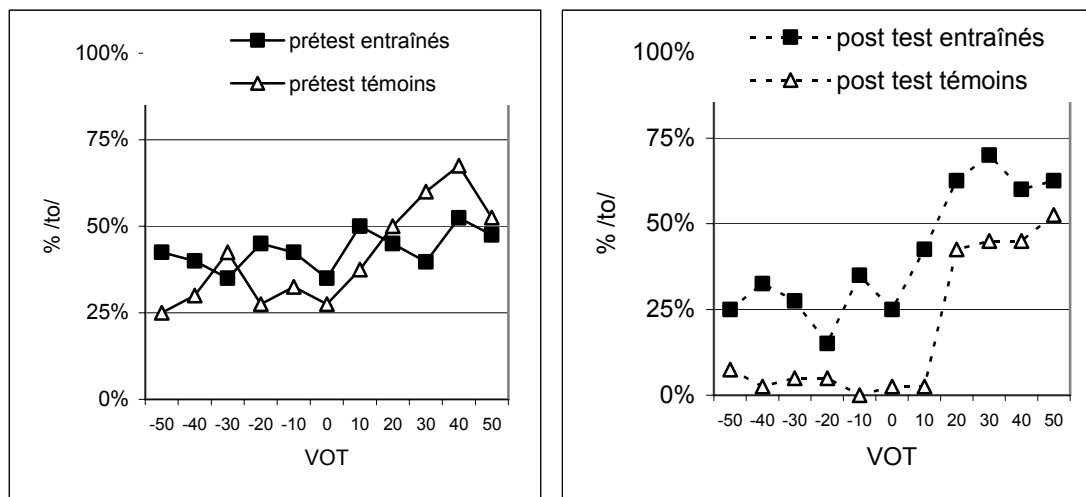


Figure 73 Fonctions d'identification du continuum /do-to/ des dyslexiques entraînés et témoins, prétest et post test

L'effet de la session est proche de la significativité ($F(1,6)=4,93$ $p=,06$). L'effet du groupe est non significatif ($F(1,6)<1$). De plus, l'interaction session x groupe ne présente pas d'effet significatif ($F(1,6)<1$) (Figure 73).

5.2.4.2 Résumé

On ne constate pas d'évolution de la perception catégorielle entre les deux sessions quel que soit le groupe. En effet, si l'on s'attache à la PCR, on voit que les scores observés de discrimination n'approchent pas les scores prédits. On a pu constater une grande différence entre les scores prédits et les scores observés de discrimination, et ce constat est valable pour les deux groupes dans les deux sessions : pour les entraînés, lors du post test, une discrimination de la frontière phonémique était prédite à partir de leur catégorisation (+10 ms VOT), mais ce ne sont pas les mêmes paires qu'ils discriminent réellement (-20 et 0 ms VOT); en ce qui concerne les enfants témoins, on observe le même phénomène dans les deux sessions : la discrimination de la frontière phonémique est prédite (+10 ms VOT), mais leur capacité de discrimination observée est bien plus faible que ce qui a été prédit (elle est aléatoire tout au long du continuum). De plus, concernant l'EFP, on voit que la frontière phonémique n'est pas, ou peu, discriminée en prétest et en post test. La seule 'évolution' se situe au niveau de la précision catégorielle, dans le sens où les fonctions d'identification sont un peu plus raides en post test pour les deux groupes de sujets (on peut noter l'effet de la session qui est proche de la significativité $p=,06$).

Les résultats sont donc peu concluants en matière d'évolution de la capacité de catégorisation et du bénéfice des entraînements sur la perception. En revanche, nous pouvons observer un phénomène intéressant en post test : les dyslexiques entraînés présentent une tendance à percevoir le continuum de manière allophonique. Ces enfants exhibent 2 pics de discrimination de même amplitude, le premier se situant sur la paire à -20 ms VOT, le second à 0 ms VOT, paire se situant aux alentours de la frontière phonémique.

En somme, on observe un changement dans le pattern de discrimination entre le prétest et le post test, et l'on pourrait penser que les entraînements ont eu des répercussions sur leur perception, mais malheureusement, pas celles que l'on attendait.

5.3 Discussion

Cette étude avait pour objectif de déterminer si les capacités de perception catégorielle pouvaient s'améliorer chez des enfants dyslexiques à la suite d'entraînements perceptifs sur des continua de voisement et de lieu d'articulation. Plus précisément, il s'agissait tout d'abord de vérifier si les enfants dyslexiques entraînés montraient de meilleures performances que des enfants dyslexiques non entraînés dans leur capacité de PRC, de PCR et d'EFP. Cette hypothèse a été étudiée en comparant les performances d'identification et de discrimination des deux groupes de sujets sur les continua /ba-da/ et /do-to/. De plus, l'analyse des performances pré et post-test des dyslexiques sur les continua sur lesquels ils ont été entraînés, ainsi que l'évaluation des performances d'identification et de discrimination de la frontière phonémique dans les entraînements spécifiquement, nous ont permis d'affiner notre diagnostic. Cette analyse a porté sur les continua /b_ə-d_ə/ et /d_ə-t_ə/.

Nous avons pu constater une évolution de la capacité de catégorisation sur le continuum /ba-da/, mais cette évolution n'est pas la conséquence des entraînements. En effet, ce sont les deux groupes de sujets qui se sont améliorés : qu'ils aient été entraînés ou pas, ils ont discriminé de façon robuste la frontière phonémique lors de la seconde évaluation, ce qui n'était absolument pas le cas lors de la première évaluation. Ces résultats suggèrent donc que ce ne sont pas les entraînements qui sont la cause de cette évolution. Il semble que cette meilleure catégorisation du continuum /ba-da/ soit la conséquence d'un effet 're-test' : étant donné que les enfants ont passé le prétest et le post test à peu de temps d'intervalle, il est possible que ce facteur ait joué sur la capacité de catégorisation.

Les résultats obtenus avec le continuum /do-to/ sont d'une toute autre nature. Conformément à nos attentes, seuls les enfants entraînés révélaient un pattern de perception différent lors du post test. Mais ce ne sont pas des différences au niveau d'une meilleure perception que nous avons pu constater. En effet, cette perception, au lieu d'être catégorielle, était davantage allophonique : 2 pics de discrimination sont apparus en post test (un pic à -20 ms VOT, et un autre à 0 ms VOT). On s'est alors interrogé sur la raison de l'apparition de cette perception allophonique : s'est-elle développée en raison des entraînements ou était-ce un mode de perception déjà

disponible chez les enfants dyslexiques et qui aurait été exacerbé du fait des entraînements ?

Le fait d'avoir déjà observé ce mode de perception chez des enfants dyslexiques dans plusieurs études indépendantes (Bogliotti, 2003 et 2004 ; Serniclaes et al., 2004 a et b) suggère qu'elle est une caractéristique forte de la dyslexie. De plus, l'analyse des résultats individuels (que nous ne présentons pas ici) révèle que ce mode de perception est apparu dès le prétest chez certains individus, et de façon plus forte en post test, qu'ils aient été entraînés ou non. Toutes ces constatations nous assurent que ce ne sont pas les entraînements de notre étude qui sont la cause de l'apparition de la perception allophonique. Une chose est sûre : la perception allophonique est très résistante à la remédiation. En revanche, il nous reste à explorer dans quelle mesure les entraînements ont pu amplifier ou renforcer ce mode de perception, ou seulement sa manifestation dans des évaluations comportementales.

Les continua /bə-də/ et /də-tə/ nous ont permis d'affiner notre diagnostic quant à l'évolution ou la modification du pattern de perception catégorielle après les entraînements.

Il n'est apparu aucune évolution de la perception catégorielle sur le continuum /bə-də/ : malgré les entraînements d'apprentissage discriminant de la frontière phonémique, les sujets n'ont pas été capables de mieux la discriminer lors du post test. Si l'on s'intéresse spécifiquement aux résultats d'identification et de discrimination obtenus dans les entraînements, la précision catégorielle et la discrimination de la frontière phonémique n'ont pas évolué au cours des sessions d'entraînement. Nous pouvons tirer le même type de conclusion pour le continuum /də-tə/ : la discrimination de la frontière phonémique ne s'améliore pas régulièrement, malgré les entraînements spécifiques de ce continuum. Lors de l'évaluation comportementale classique, seule la tâche d'identification a fourni quelques résultats : les enfants ont réussi à catégoriser le continuum, une pente d'identification s'inscrivant entre les stimuli à +10 et +30 ms VOT. Mais on ne peut pas parler d'évolution de la précision catégorielle. De plus, les enfants ont eu des difficultés à distinguer les stimuli : la courbe de discrimination est totalement plate en prétest et en post test. Il est probable que la plus grande demande

mémorielle induite dans la tâche de discrimination soit la cause de cette mauvaise performance comparativement à leur capacité à identifier les stimuli de ce continuum. L'apprentissage discriminant ne montre également pas d'évolution de la perception catégorielle (précision catégorielle et discrimination de la frontière phonémique).

5.4 Conclusion

En somme, l'hypothèse d'un déficit de perception catégorielle s'est vue une nouvelle fois confirmée, et il semble qu'un mode de perception allophonique soit à l'origine du déficit des dyslexiques. En effet, l'analyse des résultats nous a permis de constater ce mode de perception allophonique, suggérant que la perception allophonique est une caractéristique fiable de la dyslexie. Malheureusement, il semble que l'apprentissage discriminant n'ait pas atteint l'objectif fixé : au lieu de renforcer les frontières phonémiques chez les enfants dyslexiques, nous avons sinon renforcé, du moins révélé, des frontières allophoniques. La perception allophonique semble donc être très résistante à la remédiation. Dès lors, la question qui se pose à présent est de savoir comment remédier à la perception allophonique, et la réponse devrait s'appuyer sur une meilleure perception des traits phonologiques au cours de la prime enfance. Si la remédiation de la perception allophonique aboutissait à des résultats concluants, il serait intéressant d'évaluer si les performances en lecture et en écriture s'améliorent conjointement.

DISCUSSION GENERALE

Nos études avaient pour objectif d'évaluer la perception catégorielle de la parole (PC) et les liens qu'elle entretient avec l'apprentissage de la lecture et les difficultés de cet apprentissage. Trois critères ont été utilisés pour examiner la PC : la perception catégorielle relative, l'effet de frontière phonémique et la précision catégorielle. Cinq études ont été effectuées (3 sur le trait de voisement, 1 sur le lieu d'articulation et 1 sur le voisement et le lieu) : une étude longitudinale dans laquelle ont été suivis de 6 à 8 ans des enfants qui étaient non lecteurs à 6 ans (étude 1), deux études comparatives entre dyslexiques et normolecteurs (10 ans : étude 2 ; 17 ans : étude 3), une étude d'entraînement de la PC avec des dyslexiques (étude 5) et une étude portant sur des adultes qui avait pour visée de réévaluer l'hypothèse que la PC résulterait d'un couplage entre prédispositions. La discussion générale est organisée autour de 6 points :

1. L'effet de l'âge et de l'apprentissage de la lecture sur la PC
2. L'effet du niveau de lecture sur la PC
3. La persistance du déficit de PC
4. La fiabilité du déficit de PC
5. Les couplages entre prédispositions
6. Est-il possible d'améliorer la PC chez des dyslexiques ?

1. Effet de l'âge et de l'apprentissage de la lecture sur la perception catégorielle

Nous avons conduit une étude longitudinale afin d'évaluer les effets de l'âge et de l'apprentissage de la lecture sur la perception catégorielle de la parole (Etude 1, voir section 1). 33 enfants, non lecteurs au début de l'étude, ont été évalués pendant 3 ans (entre 6 et 8 ans) sur leur capacité d'identification et de discrimination d'un continuum de VOT /do-to/. Afin de mieux comprendre l'évolution des processus de catégorisation, leur capacité de perception a été analysée à l'aide de plusieurs critères : la perception catégorielle relative⁶⁹ (PCR : différence entre les scores de discrimination prédits à partir des données d'identification et les scores de discrimination observés, Liberman et al., 1957), l'effet de frontière phonémique (EFP : différence de discrimination entre les stimuli qui chevauchent la frontière phonémique et ceux situés à l'intérieur d'une

⁶⁹ Il est important de différencier la PCR (Perception Catégorielle Relative, Liberman et al., 1957) et la capacité de perception catégorielle de la parole en général que nous nommons ici PC.

catégorie phonémique, Wood, 1976), et la précision catégorielle (PrC : la pente de la fonction d'identification, Simon et Fourcin, 1978).

Notre étude a non seulement révélé l'effet de l'âge sur la catégorisation phonémique, mais a également montré l'effet massif de l'apprentissage de la lecture sur cette capacité. A 6 ans, alors que les enfants étaient non lecteurs, ils ne sont pas parvenus à catégoriser le continuum, quel que soit le critère examiné. En revanche, ils se sont montrés bien meilleurs les années suivantes. Par exemple, l'EFP se situait aux alentours de 6 % à 7 ans, et de 17 % à 8 ans. Des évolutions identiques ont été relevées pour la PCR et la PrC (section 1.2). Il est donc apparu un effet de l'âge sur la capacité de perception de la parole. Il est important de noter une l'évolution entre l'âge de 6 et 7 ans, ce qui coïncide avec l'apprentissage de la lecture, mais une plus forte évolution encore entre les âges de 7 et 8 ans.

Nos résultats corroborent ceux d'autres études qui avaient constaté un développement progressif de la catégorisation phonémique entre 6 et 12 ans et l'âge adulte (Hazan et Barrett, 2000 ; Burnham et al., 1991). Mais à la différence de notre étude, ces deux études n'ont porté que sur les fonctions d'identification. Ainsi, Hazan et Barrett (2000) ont pu montrer une progression des scores en fonction de l'âge dans une tâche d'identification de contrastes occlusifs (/k-/g/ et /d-/g/) et fricatifs (/s-/z/ et /s-/ʃ/). De même, Burnham et al. (1991) en analysant la localisation de la frontière et les scores catégoriels (la précision de la frontière) pour un continuum de VOT (/ba - pa - p^ha/) a rapporté des résultats similaires avec des auditeurs bien plus jeunes (des nourrissons et des enfants d'âge préscolaire). Dans cette étude, a également été mis relief le fait que la perception des sons non natifs s'affaiblissait au moment précis où les enfants avaient besoin de se concentrer spécifiquement sur les sons de leur langue maternelle pour apprendre à lire.

Notre étude, qui n'avait pas pour but de tester la perception des sons non natifs, a bien montré la forte incidence qu'ont l'apprentissage de la lecture et la maîtrise de la lecture sur la perception catégorielle. En effet, comme nous l'avons déjà dit, nous avons constaté une évolution de la capacité de catégorisation entre les âges de 6 et 7 ans, et c'est justement entre ces deux périodes d'évaluation que les enfants avaient appris à lire ; mais la plus forte évolution a été observée entre 7 et 8 ans, et il semble que l'expérience en lecture ait fortement influé sur l'évolution de la PC.

Pour apprendre à lire dans une écriture alphabétique, il faut apprendre à relier les graphèmes aux phonèmes correspondants (CGP), ce qui implique des représentations phonologiques bien spécifiées. Mais une particularité de la lecture est qu'elle entraîne elle-même les capacités dont elle use. Si une capacité cognitive participe à la lecture, il est possible qu'elle se trouve développée par la lecture. Et c'est probablement ce phénomène que nous observons entre 6 et 7 ans : l'apprentissage de la lecture, en consolidant les CGP, permettrait aux enfants de disposer de catégories phonémiques mieux définies. Cette meilleure définition des catégories phonémiques ne peut qu'avoir un fort impact sur la capacité d'identification et de discrimination, et c'est ce que nous avons observé dans notre étude. Pour comprendre ce résultat, nous pouvons nous référer à la littérature sur la relation entre capacités de lecture et de segmentation phonémique, cette relation illustrant bien le phénomène de réciprocité. En effet, plusieurs auteurs ont constaté que le développement de la lecture et le développement de la conscience phonémique entretenaient une relation de facilitation mutuelle (Morais et al., 1984). Ainsi, les capacités d'analyse phonémique des enfants, qui sont très faibles avant l'apprentissage de la lecture, s'accroissent considérablement avec cet apprentissage (Liberman, Shankweiler, Fisher & Carter, 1974). Tel n'est pas le cas pour les capacités d'analyse syllabique (Liberman, et al., 1974). Ce phénomène ne peut s'expliquer par la simple maturation puisque des résultats identiques ont été obtenus dans des comparaisons entre adultes analphabètes et ex-analphabètes (Morais et al. (1979). Si la conscience phonémique s'améliorait spontanément au cours du développement, les adultes illettrés auraient dû faire preuve d'un certain niveau de conscience phonémique. Ce n'est pas le cas.

Ces études indiquent que l'apprentissage de la lecture a une incidence sur la conscience phonémique, qui serait en grande partie le produit de l'apprentissage de la lecture. Toutefois, les études longitudinales ont permis de relever, avant l'apprentissage de la lecture, un déficit en analyse phonémique chez de futurs dyslexiques (Wimmer, 1996 ; Sprenger-Charolles et al., 2000. Ces différents travaux suggèrent que les relations entre les capacités d'analyse phonémique et la lecture sont bi-directionnelles, ce qui expliquerait pourquoi le déficit en analyse phonémique des dyslexiques ne se compenserait jamais totalement (cf. les études avec des dyslexiques adultes : Bruck, 1992 ; Fawcett et Nicolson, 1994).

Les relations entre la conscience phonémique et la lecture seraient donc bi-directionnelles au niveau de l'axe syntagmatique (segmentation en phonèmes). On peut envisager qu'il en est de même au niveau de l'axe paradigmatique (catégorisation phonémique).

Comme le stipulent Serniclaes, Ventura, Morais & Kolinsky (soumis), la maîtrise de la PC est une condition biologique nécessaire à plusieurs espèces, et il peut apparaître différents types de catégorisation selon les espèces (comme par exemple le fait de catégoriser des variations acoustiques pertinentes à la parole pour l'homme), des facteurs développementaux donnant substance à une telle prédisposition. Mais il est important de considérer que le développement de la PC peut également être la conséquence de l'acquisition de la littéracie, ou d'une manière plus générale, d'une éducation, sous la forme d'expérience (facteur environnemental), en dehors de tout facteur biologique. Ainsi, dans leur étude comparative avec des adultes illettrés et des adultes lettrés tardivement, Serniclaes et al. ont évalué l'influence de l'éducation et de la littéracie sur le développement de la perception catégorielle (PCR et EFP) et de la précision catégorielle (PrC). Ils ont constaté que les illettrés avaient uniquement un déficit de PrC. En plus, ces sujets montraient une forte tendance à la lexicalisation pour identifier les phonèmes. Ces résultats suggèrent que la capacité de PrC serait plutôt la conséquence de l'apprentissage de la lecture que celle du développement perceptif. En effet, vu que les illettrés n'ont pas acquis la lecture, ils ne disposent pas de correspondances graphèmes-phonèmes robustes. Or il est difficile d'identifier un phonème si l'on n'en possède pas la représentation mentale. En revanche, pour déterminer si deux sons sont différents, on peut se baser sur leurs propriétés acoustiques, ce qui n'exige pas nécessairement la connaissance parfaite des CGP (bien que cette connaissance puisse influencer le niveau de réponse correcte lors d'une tâche de discrimination).

L'étude de Burnham et al. (2002), grâce au mode de scolarisation australien, fournit des arguments en faveur de cette influence spécifique de l'expérience en dehors de tout facteur développemental. Ils ont comparé les performances de discrimination des sons natifs et non natifs du même continuum de VOT [ba - pa - p^ha] (déjà utilisé dans l'étude de Burnham et al., 1991, mais avec une procédure d'identification) chez des

enfants de même âge chronologique, mais avec une expérience de la langue écrite et de scolarisation différentes⁷⁰. Les auteurs ont pu mettre en évidence l'effet de l'apprentissage de la lecture, indépendamment de l'effet de l'âge. En effet, les enfants des 4 groupes discriminaient mieux les oppositions natives que les non natives. Selon Burnham, cette différence permet de mesurer la capacité de perception des oppositions spécifiques à la langue maternelle qui ne différerait pas en fonction de l'âge, mais en fonction de l'expérience quand l'âge était égal. Ainsi, les enfants de 5 ans sans expérience de la langue écrite percevaient les sons non natifs à un niveau équivalent des enfants de 5 ans ayant 6 mois d'expérience de l'écrit, mais ils percevaient plus faiblement les sons natifs comparativement aux autres groupes.

Il semble donc que les 6 premiers mois d'expérience scolaire améliorent les capacités de perception pour les sons natifs, mais n'influencent pas la perception des sons non natifs. Les compétences maîtrisées après les 6 premiers mois d'expérience scolaire pourraient, soit être requises pour, soit résulter du développement de perception des oppositions spécifiques à la langue maternelle. Burnham et al. ont stipulé que ces compétences pouvaient être reliées à la lecture étant donné qu'ils ont constaté que la perception des sons natifs variait selon l'expérience scolaire et la capacité d'analyse phonémique.

Ces deux études permettent de penser que le facteur développemental a une moindre incidence que les potentialités d'apprentissage. Il serait intéressant d'évaluer une nouvelle fois des enfants non lecteurs. Des études du type de celle de Burnham sont malheureusement difficiles à mettre en place en France, étant donné que tous les enfants sont scolarisés au même âge, et ont à peu près le même âge chronologique lorsqu'ils apprennent à lire.

Néanmoins, bien que le facteur apprentissage de la lecture (un facteur environnemental) soit difficilement isolable de celui de l'âge dans notre étude, nos résultats vont dans ce sens. En effet, l'évolution de la PC entre 6 et 7 ans, et la 'plus forte' évolution des capacités de perception de la parole entre 7 et 8 ans, nous confortent dans l'idée que des facteurs environnementaux comme l'apprentissage de la lecture, mais également la maîtrise de la lecture seraient davantage la cause du développement de la perception

⁷⁰ 4 groupes expérimentaux : A) 5 ans d'âge chronologique sans expérience de scolarisation ; B) 5 ans d'âge chronologique et 6 mois d'expérience de scolarisation ; C) 6 ans d'âge chronologique et 6 mois d'expérience de scolarisation ; D) 6 ans d'âge chronologique et 18 mois d'expérience de scolarisation.

catégorielle. Il serait intéressant de vérifier si la PrC s'est davantage développée que la PCR et l'EFP. Si c'était le cas, cela signifierait que la maîtrise d'une capacité (en l'occurrence, la maîtrise de la lecture) et plus importante encore que son apprentissage (ici, l'apprentissage de la lecture). De plus, ces résultats permettent d'imaginer que, une fois la lecture acquise, les effets de la lecture et de l'âge vont agir de concert sur les capacités de perception de la parole. Des études menées de manière conjointe mais avec d'autres stimuli ont rapporté le même type de résultats (Messaoud-Galusi, 2003).

Cependant, les données recueillies montrent que les enfants de notre étude sont loin d'avoir atteint une perception mature telle celle de sujets adultes, ce qui suggère que la maturité perceptive survient de manière tardive. La seule étude disponible dans la littérature qui évalue les capacités de perception de la parole pour de nombreuses tranches d'âge (entre 6 et 12 ans) est celle de Hazan et Barrett (2000), mais les auteurs n'ont utilisé que le critère de PrC, critère d'évaluation qui s'est montré le moins robuste dans la littérature. Une étude incluant des adolescents normolecteurs, et utilisant tous les critères d'évaluation (PCR, EFP et PrC) semble nécessaire pour une meilleure connaissance du développement perceptif et de l'époque à laquelle la perception devient mature.

En somme, les trois critères d'évaluation de la PC nous ont permis de confirmer nos hypothèses : l'âge et l'apprentissage de la lecture ont fortement influencé les capacités de perception de la parole des enfants. L'effet de l'apprentissage de la lecture est sans doute le plus important étant donné son impact dans un court laps de temps. C'est la raison pour laquelle il nous a paru pertinent d'évaluer le rôle précis du niveau de lecture sur les performances de PC, en comparant dyslexiques et bons lecteurs.

2. Un effet du niveau de lecture sur la perception catégorielle

La comparaison entre 10 dyslexiques et 11 bons lecteurs de 10 ans a permis d'évaluer l'effet du niveau de lecture sur la PC et de mieux connaître la nature du déficit de PC des dyslexiques, son origine ainsi que son implication directe dans l'acquisition de la lecture. Dans cette étude, comme dans la précédente, les capacités d'identification et de discrimination d'un continuum de VOT /do-to/ ont été évaluées à l'aide des 3 critères d'évaluation : perception catégorielle relative (PCR : différence entre les scores de discrimination prédits à partir des données d'identification et les scores de

discrimination observés), effet de frontière phonémique (EFP : différence de discrimination entre les stimuli qui chevauchent la frontière phonémique et ceux situés à l'intérieur d'une catégorie phonémique), et précision catégorielle (PrC : la pente de la fonction d'identification).

Nous avons constaté de fortes différences dans les performances de perception phonémique entre les bons lecteurs et les dyslexiques quel que soit le critère d'évaluation. Une forte différence de PCR est apparue entre les deux groupes : les bons lecteurs montraient un large pic de discrimination à la frontière phonémique du français (aux paires à +10 et +20 ms de moyenne VOT), très proche du pic de discrimination prédit à partir des données d'identification. De plus, ils présentaient un fort EFP avec 69% de discrimination intercatégorielle (la frontière phonémique) et 53% de discrimination intracatégorielle (les paires à l'intérieur d'une même catégorie phonémique). Par contre, les dyslexiques ont eu davantage de difficulté à distinguer les phonèmes : non seulement leur pic de discrimination à la frontière phonémique était plus faible que celui prédit par les données d'identification, et moins large que celui des bons lecteurs, en plus, ils présentaient un très faible EFP (3% ; 55% de discrimination intercatégorielle et 52% de discrimination intracatégorielle). Le critère de PrC rendait moins compte de cette différence, étant donné que ce n'est pas dans la pente d'identification que les 2 groupes différaient, mais dans la localisation de la frontière, avec une plus grande variabilité inter-individuelle chez les dyslexiques.

Nos résultats reproduisent ceux observés dans d'autres études qui ont rapporté un déficit de PC chez les dyslexiques avec un seul critère d'évaluation : la précision catégorielle (Godfrey et al, 1981 ; Werker et Tees, 1987 ; Brandt et Rosen, 1981 ; Reed, 1989 ; Manis et al, 1996 ; Blomert et Mitterer, 2003), la perception catégorielle relative (Godfrey et al., 1981 ; Werker et al., 1987), ou encore l'effet de frontière phonémique (Brandt et Rosen, 1981 ; DeWeirdt, 1988 ; Reed, 1989). C'est sans doute en raison de l'utilisation d'un seul critère d'évaluation que certaines études n'ont pas pu mettre en évidence ce déficit de perception catégorielle chez des dyslexiques ou chez des mauvais lecteurs (par exemple, seul le critère de précision catégorielle (PrC) avait été utilisé dans les études de Manis et al, 1997 et de Joanisse et al., 2000).

Les études de Serniclaes et al. (2001 et 2004) avaient fourni des précisions quant au déficit de PC des dyslexiques, qui discriminaient moins bien les paires

intercatégorielles, mais mieux les paires intracatégorielles, que les normolecteurs. Comme dans ces 2 études, les dyslexiques que nous avons examinés révélèrent un mode de perception allophonique : ils présentaient un pic de discrimination à la paire de -20 ms de moyenne VOT, non prédit à partir de l'identification, suggérant qu'ils percevaient des différences entre des variants d'un même phonème alors que cette différence n'était pas pertinente pour leur langue. Ces résultats corroborent ceux de Serniclaes et al. (2001, 2004 a et b) qui avaient constaté une perception allophonique chez des dyslexiques de 13 ans sur un continuum de lieu d'articulation /ba-da/ (2001) et chez des dyslexiques de 9 ans sur un continuum de VOT (2004). Ce déficit de perception pourrait provenir d'une absence, ou d'une faiblesse, de couplage phonologique au cours du développement perceptif (Serniclaes, 2000). En effet, le fait que les dyslexiques de notre étude aient aussi bien perçu la frontière phonétique de voisement (-20 ms VOT) que la frontière phonémique (+10 et +20 ms VOT) suggère qu'ils n'ont pas développé de couplage entre les prédispositions de voisement et d'aspiration. Leur développement perceptif se limiterait à sélectionner les prédispositions pertinentes dans leur langue maternelle, sans pour autant procéder aux couplages entre prédispositions allophoniques (c'est-à-dire celles qui sont redondantes). La perception allophonique n'empêcherait pas que la perception soit catégorielle, mais cette dernière se baserait sur des allophones plutôt que sur des phonèmes. Alors que l'accès au lexique ne devrait pas poser de problème dans le langage oral (bien qu'il soit plus lourd en termes de traitement de l'information), le déficit de couplage phonologique a des implications directes pour l'acquisition du langage écrit. Le langage écrit requiert des catégories phonémiques bien spécifiées, et les représentations allophoniques constituent un handicap considérable pour l'établissement des correspondances graphèmes-phonèmes. En effet, pour que ces correspondances s'établissent correctement, les représentations phonologiques doivent être bien définies. Si celles-ci ne sont pas bien définies, les associations entre les graphèmes et les phonèmes seront difficiles à établir, même dans un système orthographique transparent (nous avons déjà vu que le degré d'opacité de l'orthographe influençait fortement l'apprentissage de la lecture : plus l'orthographe est transparente, meilleures sont les performances en lecture, voir pour une synthèse, Sprenger-Charolles, 2003). Par exemple, un enfant qui perçoit les allophones /b/, /p/ et /p^h/ au lieu des phonèmes /b/ et

/p/, aura des difficultés à attribuer le même symbole graphique ‘p’ aux phonèmes /p/ et /p^h/, étant donné qu’il considère ces deux allophones comme des catégories phonémiques distinctes

De plus, l’hypothèse de la perception allophonique s’accorde parfaitement avec les autres déficits observés chez les dyslexiques. En effet, ce mode de perception est susceptible d’avoir de lourdes répercussions sur la conscience phonologique, déficitaire chez les dyslexiques, puisqu’il implique la manipulation des phonèmes qui n’existeraient pas dans leur processus de décodage phonologique. Elle contribuerait également au déficit de mémoire à court terme phonologique, également observé chez les dyslexiques. En effet le nombre d’unités de décodage est beaucoup plus élevé avec un système perceptif qui se fonde sur des allophones au lieu de phonèmes, entraînant une surcharge mnésique.

Enfin, cette hypothèse permet de comprendre pour quelle raison les dyslexiques ont des performances fortement altérées dans l’acquisition de la lecture et de l’écriture sans connaître de troubles notoires dans la production de la parole. En effet, la perception de la parole peut tout aussi bien se concevoir avec des unités autres que les phonèmes. En somme la perception allophonique offre une nouvelle explication de la dyslexie en termes de traitements phonologiques déviants.

3. La persistance du déficit de PC

L’étude avec les enfants de 10 ans nous a permis de confirmer le déficit de PC des dyslexiques, et qu’il était une caractéristique fiable de la dyslexie. Ainsi, afin d’examiner si ce déficit était persistant, nous avons conduit une troisième étude avec des normolecteurs et dyslexiques de 17 ans, déjà évalués dans une étude longitudinale depuis l’âge de 5 ans (Sprenger-Charolles et al., 2000). Leur capacité d’identification et de discrimination a été examinée à l’aide d’un continuum VOT /də-tə/. Dans cette étude, nous avons évalué la différence de perception catégorielle, et l’éventuelle apparition d’une perception allophonique grâce aux critères utilisés dans les études précédentes : perception catégorielle relative (PCR, différence entre discrimination prédite à partir des scores d’identification et discrimination observée), effet de frontière phonémique (EFP, différence de discrimination des paires intercatégorielles et des

pires intracatégorielles) et précision catégorielle (PrC, pente de la fonction d'identification).

Seul le critère de précision catégorielle (PrC) a permis de mettre en relief un déficit de perception catégorielle chez les dyslexiques de 17 ans. Même si les différences n'étaient pas significatives, on a pu toutefois observer que les dyslexiques présentaient une perception catégorielle relative (PCR) et un effet de frontière phonémique (EFP) plus faibles que les normolecteurs.

Ces résultats nous laissent perplexes : en effet, alors que c'est le déficit de PrC qui paraissait le moins robuste dans la littérature, c'est le seul qui apparaisse chez les dyslexiques âgés.

On peut émettre deux suppositions pour expliquer le déficit de PrC chez les dyslexiques de 17 ans. Tout d'abord, dans les Etudes 2 et 5, nous avons constaté la présence de la perception allophonique uniquement sur le critère de PCR. Or la perception allophonique pourrait affecter autant la PCR que la PrC, en déstabilisant la frontière d'identification, c'est-à-dire en générant des fluctuations entre les deux frontières, l'une phonémique et l'autre allophonique.

D'autre part, les résultats de Serniclaes et al. (soumis) obtenus dans une étude comparative avec des illettrés et d'ex-illettrés alphabétisés tardivement nous permet d'envisager pour quelle raison seul un déficit de PrC apparaît chez les dyslexiques de 17 ans. En effet, les auteurs n'ayant constaté qu'un déficit de précision catégorielle (PrC) chez les illettrés comparativement aux lettrés, en ont conclu que ce déficit était le résultat de la méconnaissance de la lecture et d'une absence de scolarisation. Cette interprétation permet de soutenir l'hypothèse que le développement des processus de catégorisation des sons de la parole est non seulement la résultante d'un facteur biologique, mais également d'un facteur « environnemental » (éducation, scolarisation ou encore expérience de la littéracie). De plus, seul le déficit de PCR pourrait être au cœur du déficit de perception de la parole des dyslexiques (et être la cause de leur problème de lecture) alors que le déficit de PrC, qui serait davantage la résultante d'un mauvais apprentissage, voire d'un mauvais exercice de la lecture. Ainsi chez des dyslexiques plus âgés, l'influence de ce facteur environnemental pourrait se retranscrire dans leur PrC. Si on tient compte des influences bi-directionnelles entre la lecture et la

perception de la parole, on peut supposer qu'un déficit de PC ait handicapé les dyslexiques dans l'acquisition des correspondances graphèmes-phonèmes, expliquant leurs difficultés de lecture, qui, en tant que facteur environnemental, ont pu avoir, en retour, une incidence sur leurs capacités de PrC. Cette hypothèse permettrait également d'expliquer que le déficit de PCR est une caractéristique plus fiable de la dyslexie développementale que le déficit de PrC (Serniclaes, Bogliotti et al., 2004), qui a néanmoins été retrouvé dans plusieurs études (Reed, 1989 ; Manis et al., 1997 ; Joanisse et al., 2000 ; Blomert et Mitterer, 2003).

Il se peut également que l'absence de différence entre les normolecteurs et les dyslexiques constatée dans notre étude soit due à l'âge des sujets (17 ans) et à la méthode : des observations comportementales ne tenant compte, en plus, que de la précision de la réponse, pas du temps de traitement. Il est possible que, chez des dyslexiques âgés, le déficit de PC ne se manifesterait plus que sur le temps de traitement, voire sur les corrélats neuronaux. C'est bien ce que suggèrent les résultats de l'étude de Dufor et al. (soumis), dans laquelle ont été examinés les performances de discrimination d'un continuum /ba-da/ à l'aide d'une procédure TEP (Tomographie par Emissions de Positron) chez des dyslexiques adultes comparativement à des normolecteurs.

4. Fiabilité du déficit de perception catégorielle

Nos résultats avec les enfants de 10 ans révèlent que la discrimination de la frontière phonémique (EFP) permet de classer correctement près de 80% des sujets en fonction de leur niveau de lecture, suggérant ainsi toute l'importance d'une bonne capacité de catégorisation (cf. section 2.2.4). Des résultats semblables (environ 75 % de classification correcte) ont été obtenus par Maasen et al. (2001). De plus, les résultats obtenus avec les dyslexiques de 17 ans révèlent que la précision catégorielle (PrC) permet de classer correctement 74% des sujets en fonction de leur niveau de lecture. Ce résultat est étonnant étant donné que le critère de PrC est celui qui s'est révélé le moins robuste lors de l'évaluation de la perception de la parole dans la littérature (Manis et al., 1996 ; Joanisse et al., 2000). Les capacités de perception catégorielle semblent donc fournir des indicateurs fiables des capacités de lecture.

5. Les couplages entre lieu d'articulation

Les 3 études précédentes portaient toutes sur le voisement. Dans l'étude 4, nous avons tenté de valider le modèle des couplages entre prédispositions phonétiques pour un continuum de lieu d'articulation /bə-də-gə/.

Cette étude évaluant les capacités d'identification et de discrimination de sujets adultes a permis de confirmer que le processus de couplages n'était pas spécifique au voisement, et qu'il se manifestait également pour le lieu d'articulation. En particulier, cette expérience a montré que la frontière /bə-də/ résultait d'un couplage entre prédispositions : la 4^{ème} catégorie de lieu d'articulation, 'vide' et non pertinente en français, s'est vue divisée par les catégories phonémiques adjacentes et attribuée les deux identités phonémiques /bə/ et /də/.

L'existence de couplage entre traits de lieu d'articulation nous laisse supposer que les dyslexiques devraient également percevoir des phonèmes contrastant au niveau du lieu d'articulation de manière allophonique. Ainsi, notre dernière étude a porté sur la remédiation de la perception de la parole, autant sur des oppositions de voisement que de lieu d'articulation.

6. Les effets d'entraînements sur la catégorisation phonémique

Dans cette étude, ont été évaluées les performances d'identification et de discrimination de 2 continua de voisement (/do-to/ et /də-tə/) et de 2 continua de lieu d'articulation (/ba-da/ et /bə-də/) chez des enfants dyslexiques (10) de 8 à 10 ans. 5 de ces dyslexiques ont bénéficié d'entraînements spécifiques d'apprentissage de la frontière phonémique pour deux continua (un de lieu d'articulation /bə-də/ et un de voisement /də-tə/) à l'aide d'un logiciel de remédiation. Cette étude avait pour objectif de vérifier si les enfants dyslexiques entraînés montraient de meilleures performances que ceux non entraînés dans leur capacité de PrC, de PCR et d'EFP. Elle nous a également permis de déterminer si les capacités de perception catégorielle des enfants dyslexiques pouvaient s'améliorer à la suite d'entraînements perceptifs sur des continua de

voisement et de lieu d'articulation, et ainsi d'affiner notre diagnostic quant à l'évolution ou la modification du pattern de perception catégorielle après les entraînements.

Hurford et Sanders (1990a) avaient constaté une évolution des capacités de perception après des entraînements perceptifs, à l'inverse de Van Heghe (2001). Nos résultats se situent entre les résultats de ces deux études. On a constaté un effet des entraînements et une évolution des performances de perception, mais pas celles qu'on attendait. En effet, lors du post test, on a constaté une forte perception allophonique chez les dyslexiques entraînés. Ainsi, non seulement nous avons pu confirmer une nouvelle fois que la perception allophonique était une caractéristique fiable de la dyslexie, mais en plus, qu'il était très difficile d'y remédier.

L'échec de notre entraînement peut éventuellement s'expliquer par le fait que nous n'avons pas associé aux exercices oraux des exercices inter-modaux (oral-écrit) qui auraient pu permettre de renforcer sélectivement les catégories phonémiques pertinentes, et non les variantes allophoniques.

En conclusion, notre travail a permis de mettre en évidence les effets de l'âge et/ou de l'apprentissage de la lecture, et du niveau de lecture sur les capacités de perception de la parole. Nous avons également répliqué le déficit de perception catégorielle des dyslexiques, tout en spécifiant sa nature: il semble provenir d'un mode de perception allophonique. Ce mode de perception résulterait d'une déficience du couplage entre prédispositions phonétiques au cours du développement perceptif. Enfin, nous avons pu constater que le déficit de perception allophonique était très résistant à la remédiation.

A la suite de notre travail, plusieurs questions restent en suspens. Tout d'abord, il convient de s'interroger sur le fait qu'aucune trace de perception catégorielle n'ait été observé chez les enfants non lecteurs quel que soit le critère d'évaluation (que ce soit sur un continuum de voisement, comme c'est le cas dans mon étude, ou sur un continuum de lieu d'articulation comme c'est le cas dans l'étude de Messaoud-Galusi, 2004, ou encore chez Delahaye, 2004 avec une cohorte de 200 enfants). Nous avons envisagé une cause méthodologique, mais des capacités de catégorisation phonémique avec des enfants non lecteurs de même âge ont tout de même été constatés dans la littérature (Burnham et al., 2002) et, plus généralement, les enfants sont capables, avant l'apprentissage de la lecture, de différencier des paires minimales. Cette question reste ouverte.

La deuxième question concerne l'absence de déficit de PCR et d'EFP constatée chez les dyslexiques de 17 ans, et la présence d'un déficit en PrC. Comme on l'a vu dans la littérature, la précision catégorielle (PrC) n'est pas le déficit le plus prépondérant chez les sujets dyslexiques : certaines études, en usant uniquement de ce critère, ne sont pas parvenus à mettre en évidence le déficit de perception de la parole chez des enfants dyslexiques. Les résultats de notre étude soulèvent donc deux points importants : tout d'abord, l'utilisation des 3 critères d'évaluation semble indispensable pour la mise en évidence et la meilleure évaluation du déficit, ou des capacités, de perception catégorielle. De plus, l'outil d'évaluation est primordial, et il semble que la neuroimagerie soit un outil plus approprié pour analyser les performances de sujets adultes normaux ou pathologiques, des déficits qui peuvent sembler avoir été compensés au niveau comportemental, ne l'étant en fait que très partiellement.

Enfin, il serait intéressant de renouveler notre expérience de remédiation, tout en entraînant les CGP, et, à la suite, d'analyser les effets sur la lecture et l'écriture. Etant entendu que le degré d'opacité de l'orthographe ajoute une difficulté supplémentaire dans la mise en correspondance grapho-phonémique (voir l'étude de Paulesu et al., 2001 sur l'influence de l'opacité de l'orthographe chez des normolecteurs et des dyslexiques adultes italiens, français et anglais, pour une synthèse, voir Sprenger-Charolles, 2003), il pourrait être intéressant de soumettre notre logiciel de remédiation à des enfants de différents milieux linguistiques, différant fortement dans le degré d'opacité de l'orthographe.

Bibliographie

- Abramson A. & Lisker L.** (1972) Voice Time perception in Spanish word initial stops, *Journal of Phonetics*, 1, 1-8
- Abramson A. & Lisker L.** (1970) Discriminability along the voice onset continuum: Cross language tests : *Proceedings of the Sixth International Congress of Phonetic Sciences*, Prague, Czech Republic, pp 569-573.
- Adlard A. & Hazan V.** (1998) Speech perception in children with specific reading difficulties (dyslexia), *Quarterly journal of experimental psychology*, v. 51, pp 153-77.
- Alegria J., Pignot E., & Morais J.** (1982) Phonetic analysis of speech and memory codes in beginning readers, *Memory and cognition*, 10, pp 451-456.
- Amitay S., Ben G., Banai K. et Ahissar M.** (2002) Disabled readers suffer from visual and auditory impairments but not a from a specific magnocellular deficit, *Brain*, 125 part 10, 2272-2285
- Aslin R., Pisoni D., Hennessy B. & Perrey A.** (1981) Discrimination of voice onset time by human infants: New findings and implications for the effect of early experience, *Child Development*, 52, p. 1135-1145.
- Aslin R. & Pisoni B.** (1980) Some developmental processes in speech perception, *Child Psychology*, 2, Perception ed. Yeni-Khomsian and Ferguson (Academic NewYork, pp 67-96
- Aslin R., Hennessy B., Pisoni D. and Perey A.,** (1979) Individual infants' discrimination of voice onset time : Evidence for three modes of voicing, *Society For Research in Child Development*, San Francisco.
- Beauvois MF. & Derouesné J.** (1979) Phonologica alexia: three dissociations, *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 42, 115-1124
- Best CT. & McRoberts GW.** (2003) Infant perception of non-native consonant contrasts that adults assimilate in different ways, *Language and Speech*, 46, pp 183-216.
- Best CT., McRoberts GW. & Goddell E.** (2001) American listeners' perception of non native consonant contrasts varying in perceptual assimilation to English phonology, *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, pp 775-794.
- Best CT. & Avery RA.** (1999) Left hemisphere advantage for click consonants is determined by linguistic significance, *Psychological Science*, 10, 65-69.
- Best CT., McRoberts GW., Lafleur R. & Silver-Isenstadt J.** (1995) Divergent developmental patterns for infants' perception of two non native consonant contrasts, *Infant Behavior and Development*, 18, 339-350
- Best CT.** (1994) The emergence of native language phonological influence in infants : a perceptual assimilation model in H.Nusbaum, J.Goodman & C.Howard eds. The transition from speech sounds to spoken words, pp 167-224, Cambridge MIT Press.
- Best CT., McRoberts GW. & Sithole NM.** (1988) The phonological basis of perceptual loss for non native contrasts : maintenance of discrimination among zulu clicks by english-speaking adults and infants, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 14, 345-360
- Best CT. , Morrongiello B. & Robson R.** (1981) Perceptual equivalence of acoustic cues in speech and non-speech perception, *Perception and Psychophysics*, 29, p. 191-211.

- Blomert L. & Mitterer H.** (2003) The fragile nature of the speech-perception deficit in dyslexia : natural vs. synthetic speech, *Brain and Language*, 89, pp 21-26.
- Bogliotti C.** (2003) Relation between categorical perception of speech and reading acquisition, *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Science*, Barcelona ; Spain, pp 885-888 in Solé, Recaesens et Romero Eds.
- Brady S.A., Shankweiler D. & Mann V.A.** (1983) Speech perception and memory coding in relation to reading ability, *Journal of Experimental Child Psychology*, 35, 345-367
- Brandt J. & Rosen J.J** (1980) Auditory phonemic perception in dyslexia : categorical identification and discrimination of stops consonants, *Brain and Language*, 9, 324-337
- Bradley L. & Bryant P.** (1983) Categorizing sounds and learning to read : a causal connection, *Nature*, 301, pp 419-421
- Bradley L. & Bryant P.** (1985) Rhyme and reason in reading and spelling, MI : University of Michigan Press : Ann Arbor
- Bruck M., Genesee F. & Caravolas M.** (1997) A cross linguistic study of early reading acquisition, in B. Blachman ed, Foundations of reading acquisition and dyslexia : implications for early intervention, pp145-162.
- Bruck M.** (1992) Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits, *Department Psychology*, 28(5), pp 874-886
- Bryant P. & Impey L.** (1986) The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexic children, *Cognition*, 24, pp 121-137
- Bryant P. & Bradley L.** (1985) Children's reading problem, New York : Basil Blackwell
- Burnham D., Earnshaw L.J & Clark J.E** (1991) Development of categorical identification of native and non native bilabial stops : infants, children and adults, *Journal of Child Language*, 18, pp 231-260
- Burnham D.** (1986) Developmental loss of speech perception : exposure to and experience with a first language, *Applied Psycholinguistics*, 7, pp 207-239
- Burnham D., Tyler M. & Horlyck S.,** (2002) Periods of speech perception development and their vestiges in adulthood, in P. Burmeister, T. Piske, and A. Rohde, eds., An integrated view of language development: Papers in honor of Henning Wode: Trier, Germany, Wissenschaftlicher Verlag Trier, pp 281-300.
- Burns EM. & Ward WD.** (1978) Categorical perception, phenomenon or epiphenomenon : evidence from experiments in the perception of melodic musical intervals, *Journal of Acoustical Society of America*, 63, pp 456-468
- Bus AG. & Van Ijzendoorn MH.** (1999) Phonological awareness and early reading : a meta-analysis of experimental training studies, *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 403-414
- Byrne B., Freebody P. & Gates A.** (1992) Longitudinal data on the relations of word reading strategies to comprehension, reading time and phonemic awareness, *Reading Research Quarterly*, 27, pp 141-151.
- Carré R., Liénard S., Marsico E. & Serniclaes W.** (2002) On the role of the "schwa" in the perception of plosive consonants, in J.L.H Hansen & B. Pellom Eds. 7th International conference on Spoken Language Processing, 1681-1684
- Castles A. & Coltheart M.** (2004) Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read, *Cognition*, 91, pp 77-111
- Castles A. & Coltheart M.** (1996) Cognitive correlates of developmental surface dyslexia: a single case study, *Cognitive Neuropsychology*, 13, pp 25-50.

- Chiappe P., Stringer R., Siegel L.S. & Stanovich K.E** (2002) Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults, *Reading and Writing : an Interdisciplinary Journal*, 15, pp 73-107.
- Chiappe P., Chiappe D.L., & Siegel L.S.** (2001) Speech perception, lexicality, and reading skill *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, pp 58-74.
- Coltheart M., Rastle K., Perry C., Langdon R., & Ziegler J.** (2001) DRC : A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud, *Psychological Review*, 108, 204-256.
- Coltheart M., Curtis B., Atkins P. & Haller M.** (1993) Models of reading aloud : dual-route and parallel-distributed processing approaches, *Psychological Review*, 10, 589-608
- Coltheart M., Masterson J., Byng S., Prior M. & Riddoch J.** (1983) Surface dyslexia, *Quarterly journal of Experimental Psychology*, 35, 469-495
- Cornelissen P.L, Hansen P.C, Bradley L. & Stein J.** (1995) Analysis of perceptual confusions between 9 sets of consonant vowel sounds in normal and dyslexics adults, *Cognition*, 59, 275-306
- Cossu G., Shankweiler D., Liberman I.Y. & Gugliotta M.** (1995) Visual and phonological determinants of misreading in a transparent orthography, *Reading and Writing : an interdisciplinary journal*, 7, 235-256
- Cutting J.E. & Rosner B.S.** (1974) Categories and boundaries in speech and music, *Perception & Psychophysics*, 16, 564-570
- Deltour J.J. & Hupkens D.** (1980) Test de vocabulaire actif et passif pour les enfants de 5 à 8 ans, Issy-les-Moulineaux, France, E.A.P
- DeWeirdt W.** (1988) Speech perception and frequency discrimination in good and poor readers, *Applied Psycholinguistics*, 9, 163-183
- Dufor O., Serniclaes W., Balduyck L., Sprenger-Charolles L. & Démonet J.F.** (soumis) Learning of phonemic categorical perception in dyslexia : a speech perception study using PET
- Dunn, Theriault-Wallen & Dunn** (1993) EVIP : Echelle de Vocabulaire en Images Peabody
- Ehri L., Nunes S., Willows D., Schuster B., Yaghoub-Zadeh Z. & Shanahan T.** (2001) Phonemic awareness instruction helps children learn to read : Evidence from the national reading panel's meta-analysis, *Reading Research Quarterly*, 36, pp250-287
- Ehri L.** (1992) Reconceptualising the development of sight word reading and its relationship to recoding, PB Gough, LC Ehri & R. Treiman eds *Reading Acquisition*, Hillsdale, Erlbaum & associates, 107-143
- Ehri L.** (1989) Movement into word reading and spelling. How spelling contributes to reading in JM Mason (dir.) *Reading and Writing Connections*, Boston, MA, Allyn & Bacon
- Ehri L. & Wilce L.** (1983) Movement into reading : Is the first stage of printed word learning visual or phonetic ?, *Reading Research Quarterly*, 20, 163-179.
- Eilers R.E., Gavin W.J & Wilson W.R** (1980) Effect of early experience on speech discrimination by infants : a reply, *Child Development*, 51, 113-117
- Eilers R.E., Gavin W.J & Wilson W.R** (1979) Linguistic experience and phonemic perception in infancy : a cross linguistic study, *Child Development*, 50, 14-18
- Eilers R.E., Wilson W.R & Moore J.M.** (1977) Development of changes in speech discrimination in infants, *Journal of Speech and Hearing Research*, 20, 766-780

En premier lieu, je tiens à remercier Liliane Sprenger Charolles et Willy Serniclaes, qui m'ont encadré dans des conditions plus que favorables tout au long de ma thèse. Je ne peux que retenir leur gentillesse et leur disponibilité, ainsi que le savoir qu'ils m'ont transmis.

Un grand merci à Souhila Messaoud-Galusi, Danielle Béchenec et à Anne-Charlotte Schepens pour le long (...) recueil de données, ainsi qu'à Elisabeth Samain, expérimentatrice et expérimentée à ses heures perdues, pour l'aide et le soutien précieux qu'elle a pu m'apporter. Merci à Sihem pour la création du logiciel de remédiation.

Agradecimientos a Vicky...

Et puis un grand merci à tous les chercheurs du Leaple : Christian Hudelot, Jean-Pierre Jaffré, Marie-Thérèse Vasseur, Michael Baker, Christophe Parisse pour les bons mots échangés au café et autres repas à la cantine.

Je n'oublie pas tous les enfants du 20^{ème} arrondissement de Paris, les dyslexiques de l'hôpital du Kremlin-Bicêtre, les adolescents, les adultes et ami(e)s qui ont passé toutes ces épreuves de perception et de lecture. Sans eux, rien n'aurait été possible !

Un grand merci à mes parents...

Et à mon frère qui a su supporter le véritable capharnaüm des derniers jours...

Merci à tout ceux qui ont évité le plus possible de prononcer la phrase magique : « alors, elle est écrite cette thèse ? » ou sa variante « alors t'as fini ? » : Chloé (également pour ses remarques et questions de spécialiste), Ansyl (pour les soirées détente activité manuelle), Marinette (pour le côté mélomane), Cécile, Emeraude, Audrey, les statisticiens (Apple'pote, Flocon et Max), et Elke pour son « kit de premier secours au travail de thèse ».

Et tous ceux que j'ai oublié....

Et un grand merci aux deux relecteurs : Juliette (qui était peut être secondée par le cerveau d'une autre mistinguette) et Martin (grand perdant du jeu de la phrase magique, mais grand gagnant du soutien pour la fin....).

- Hatcher P., Hulme C. & Ellis A.** (1994) Amelioring early reading failure by intergrating the teaching of reading and phonological skills : the phonological linkage hypothesis, *Child Development*, 65, 41-57
- Hazan V. & Barrett S.** (2000) The development of phonemic categorization in children aged 6-12, *Journal of Phonetics*, 28, 377-396.
- Hazan V. & Rosen S.** (1991) Individual variability in the perception of cues contrasts in initial stops, *Perception & Psychophysics*, 49(2), 187-200
- Hurford D.P. & Sanders R.E.** (1990a) Assessment and remediation of a phonemic discrimination deficit in reading disabled second and fourth graders, *Journal of Experimental Child Psychology*, 50, 396-415.
- Hurford D.P.** (1990b) Training phonemic segmentation ability with a phonemic discrimination intervention in second and third grade children with reading disabilities, *Journal of Learning Disabilities*, 23, 564-569
- Iverson P., Kuhl P.K., Akahane R., Diesch E., Tohkura Y., Kettermann A., & Siebert C.** (2003) A perceptual interference account of acquisition difficulties for non-native phonemes, *Cognition*, 87, B47-B57
- Jakobson R.** (1968) Child language, aphasia and phonological universals, Keiler, trans. La Hague : Mouton.
- Jakobson R.** (1963) Essais de linguistique générale, Eds. De Minuit
- Joanisse M.F, Manis F., Keating P. & Seidenberg M.S.** (2000) Language deficits in dyslexic children : Speech perception, phonology, and morphology, *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 30-60.
- Jorm A., Share D., McLean R., & Mathews R.** (1984) Phonological recoding skill and learning to read : A longitudinal study, *Applied Psycholinguistics*, 5, 201-207.
- Jusczyk P.W., Pisoni D.B., Walley A. & Murray J.** (1980) Discrimination of relative onset time of two-component tones by infants, *JASA*, 67, 262-270.
- Jusczyk P.W., Rosner B.S., Cutting J.E., Foard C.F. & Smith L.B.** (1977) Categorical perception of non speech sounds by 2 month old infants, *Perception & Psychophysics*, 21, 50-54.
- Kronbichler, Utzler & Wimmer** (2002) Dyslexia : verbal impairments in the absence of magnocellular impairments, *Neuroreport*, 13, 617-620
- Kuhl P.** (1993) Effects of linguistic experience in the first half-year of life : Implication for a theory of infant speech development, in B. de Boysson-Bardies, S. de Schonen, P. Jusczyk, P. McNeilage, and J. Morton, eds., Developmental neurocognition: Speech and face processing in the first year of life: Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Kuhl P.** (1991) Human adults and human infants show a perceptual magnet effect for the prototypes of speech categories, monkeys do not, *Perception and Psychophysics*, 50, 93-107
- Kuhl P.** (1979) Speech perception in early infancy : perceptual constancy for spectrally dissimilar vowel categories, *Journal of Acoustical Society of America*, 66, 1168-1179
- Kuhl P. et Miller J.** (1978) Speech perception by the chinchilla : Identification functions for synthetic VOT stimuli, *JASA*, 63, 905-917
- Kuhl P. et Miller J.** (1975) Speech perception by the chinchilla : voiced – voiceless distinction in alveolar plosive consonants, *Science*, 190, 69-72
- Lane** (1965) Motor theory of speech perception : a critical review, *Psychological Review*, 72, 275-309

- Lasky R.E., Syrdal-Lasky A. & Klein R.E.** (1975) VOT discrimination by four and six and a half month infants from Spanish environments, *Journal of Experimental Child Psychology*, 20, 215-225
- Lecocq P.** (1991) Apprentissage de la lecture et dyslexie, Eds. Bruxelles : Mardaga
- Lefavrais P.** (1965) Test de l'Alouette, Paris, E.C.P.A
- Liberman A.M. & Mattingly A.G.** (1985) The motor theory of speech perception revised, *Cognition*, 21, 1-36
- Liberman A.M., Shankweiler D.P., Fisher W.F. & Carter B.** (1974) Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child, *Journal of experimental child psychology*, 18, 201-212
- Liberman A.M., Cooper F.S., Shankweiler D.P. & Studdert-Kennedy M.** (1967) Perception of the speech code, *Psychological Review*, 74, 431-461
- Liberman A.M., Harris K.S., Hoffman H.S. & Griffiths B.C.** (1957) The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries, *Journal of Experimental Psychology*, 54, 358-368.
- Lisker L. & Abramson A.S.** (1970) The voicing dimension : some experiments in comparative phonetics, Proceedings of the 6th International Conference of Phonetics Sciences. Prague Academia, pp 563-567
- Lisker L. & Abramson A.S.** (1964) A cross language of voicing study in initial stops : acoustical measurements, *Word*, 20, 384-422
- Lovegrove W. & Breimeyer B.G.** (1993) The roles of sustained and transient channels in reading and reading disabilities, in D. M. Willows, eds., Visual processes in reading and reading disabilities, pp 95-110, Erlbaum.
- Lundberg I. & Høien T.** (1990) Pattern of information processing skills and word recognition strategies in developmental dyslexia, *Scandinavian Journal of Educational Research*, 34, 231-240
- Maddieson I.** (1984) Patterns of sounds, Cambridge : Cambridge University Press
- Manis F., Mc Bride-Chang C., Seidenberg M.S., Keating P., Doi L.M., Munson B. & Petersen A.** (1997) Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia, *Journal of Experimental Child Psychology*, 66, 211-235
- Mann V. & Liberman I.Y.** (1984) Phonological awareness and verbal short term memory, *Journal of Learning Disabilities*, 17, 592-599
- Mann V. & Wimmer H.** (1992) Phoneme awareness and pathways to literacy : a comparison of German and American children, *Reading and Writing*, 15, 653-682
- Marsh G., Friedman M., Welsh V. & Desberg P.** (1981) A cognitive developmental theory of reading acquisition, *Reading Research : Advances to Theory and Practice*, 3, 199-219
- Marshall C., Snowling M. & Bailey P.** (2001) Rapid auditory processing and phonological abilities in normal readers and readers with dyslexia, *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 44, 925-940
- Masonheimer P., Drum P. & Ehri L.** (1984) Does environmental print identification lead children into word reading, *Journal of Reading Behavior*, 16, 257-271.
- Maassen B., Groenen P., Crul T., Assman-Hulsmans C. & Gabreëls F.** (2001) Identification and discrimination of voicing and place-of-articulation in developmental dyslexia, *Clinical Linguistics and Phonetics*, 15, 319-339.
- Mattingly I.G., Liberman A.M., Syrdal A.K. & Halwes T.** (1971) Discrimination in speech and non speech modes, *Cognitive Psychology*, 2, 131-137

- Messaoud-Galusi S.** (2003) The effect of age and reading level on perceptual weighting strategy, Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Science, Barcelona ; Spain, pp 1971-1974 in Solé, Recaesens et Romero Eds.
- Mody M., Studdert-Kennedy M. & Brady S.** (1997) Speech perception in poor readers : auditory processing or phonological coding ?, *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 199-231
- Morais J. & Kolinsky R.** (1995) The consequences of phonological awareness, De Gelder et Morais Eds. Speech and Reading : a comparative approach, pp317-334. Hove, Erlbaum, Taylor et Francis
- Morais J., Alegria J. & Content A.** (1987) The relationship between segmental analysis and alphabetic literacy : an interactive review, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 7, 415-437
- Morais J., Bertelson P., Cary L. & Alegria J.** (1986a) Literacy training and speech segmentation, *Cognition*, 2, 45-64
- Morais J., Bertelson P., Cary L. & Alegria J.** (1986b) Speech mediated retention in dyslexics, *Perceptual and Motor Skills*, 62, 119-126
- Morais J., Cluytens M. & Alegria J.** (1984) Segmentation abilities of dyslexics and normal readers, *Perceptual and Motor Skills*, 58, 221-222
- Morais J., Cary L., Alegria J. & Berthelson P.** (1979) Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously ?, *Cognition*, 7, 323-331.
- Morton J.** (1989) An information processing account of reading acquisition, in Galaburda Eds. From reading to neurons, pp 43-66, Cambridge MIT Press.
- Nicolson R.I., Fawcett A.J., Berry E.L., Jenkins I.H, Dean P. & Brooks D.J** (1999) Motor learning difficulties and abnormal cerebellar activation in dyslexic adults, *The Lancet*, 353, 43-47.
- Nittrouer S., Manning C. & Meyer G.** (1993) The perceptual weighting of acoustic cues changes with linguistic experience, *Journal of the Acoustical Society of America*, 94, S1865
- Nittrouer S. & Miller M.E.** (1997) Predicting developmental shifts in perceptual weighting schemes, *Journal of Acoustical Society of America*, 101, 2253-2266
- Pastore R.E., Ahroon W.A., Baffuto K.J., Friedman C., Puleo J.S. & Fink E.A** (1977) Common-factor model of categorical perception, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 3, 686-696
- Paulesu E., Demonet J.F., Fazio F., McCrory E., Chanoine V., Cappa S.F., Cossu G., Habib M., Frith C.D. & Frith U.** (2001) Dyslexia: cultural diversity and biological unity, *Science*, 291, 2165-2167.
- Perea M. & Gotor A.** (1997) Associative and semantic priming effects occur at very short stimulus onset asynchronies in lexical decision and naming, *Cognition*, 62, 223-240
- Perfetti C.A.** (1987) Language, speech and print : some asymmetries in the acquisition of literacy, in R. Horowitz & SJ Samuels eds Comprehending oral and written language, pp 355-369, New York : Academic Press
- Perfetti C.A.** (1985) Reading ability, New York : Oxford Press
- Phillips C.** (2001) Levels of representation in the electrophysiology of speech perception, *Cognitive Science*, 25, 711-731
- Pisoni D., Aslin R., Perey A. & Hennessy B.** (1982) Some effects of laboratory training on identification and discrimination of voicing contrasts in stop consonants, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 8, 297-314

- Pisoni D.** (1977) Identification and discrimination of the relative onset time of two components tones : Implications for voicing perception in stops, *JASA*, 61, 1352-1361
- Plaut D.C., McClelland J.L., Seidenberg M.S & Patterson K.** (1996), Understanding normal and impaired word reading : computational principles in quasi regular domains, *Psychological Review*, 103, 56-115
- Polka L., Colantonio C. & Sundara M.** (2001) A cross language comparison of /d/ /ð/ perception : Evidence for a new developmental pattern, *JASA*, 109, 2190-2201
- Polka L. & Werker J.** (1994) Developmental changes in perception of non native vowel contrasts, *Journal of Experimental Child Psychology : Human Perception and Performance*, 20, 421-435.
- Polka L.** (1992) Characterizing the influence of the native experience on adults speech perception, *Perception and Psychophysics*, 52, 37-52
- Polka L.** (1991) Cross-language speech perception in adults : phonemic, phonetic, and acoustic contributions, *Journal of the Acoustical Society of America*, 89, 2961-2977
- Pollack I. & Pisoni D.B** (1971) On the comparison between identification and discrimination tests in speech perception, *Psychon.Science*, 24, 299-300
- Rack J.P., Snowling M.J. & Olson R.K.** (1992) The non word reading deficit in developmental dyslexia : a review, *Reading Research Quarterly*, 27, 29-53
- Raven** (1976) Coloured progressive matrices. Set A, AB, B, Oxford, U.K : Oxford Psychologists tests.
- Ramus F.** (2003) Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction ?, *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212-218.
- Ramus F., Pidgeon E. & Frith U.** (2003a) The relationship between motor control and phonology in dyslexic children, *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44:5, 712-722
- Ramus F., Rosen S., Dakin S.C., Day B.L., Castellote J.M., White S. & Frith U.** (2003b) Theories of developmental dyslexia : insights from a multiple case study of dyslexic adults, *Brain*, 126, 841-865
- Rosen S. & Howell P.** (1987) Auditory, articulatory, and learning explanations of categorical perception in speech in *Categorical Perception*, 4, 113-160
- Read C., Zhang Y., Nie H. & Ding B.** (1986) The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic reading, *Cognition*, 24, pp 31-44
- Reed M.A.** (1989) Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in dyslexic children, *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 270-282
- Remez R.E., Cutting J.E. & Studdert-Kennedy M.** (1980) Cross series adaptation using song and string, *Perception & Psychophysics*, 27, 524-530
- Rosen S.** (2003) Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything?, *Journal of Phonetics*, 31, 509-527.
- Rosen S. & Manganari E.** (2001) Is there a relationship between speech and non speech auditory processing in children with dyslexia ?, *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 44, pp 720-736.
- Ruff S., Cardebat D., Marie N. & Démonet JF.** (2002) Enhanced response on the left frontal cortex to slowed down speech in dyslexia : a fMRI study, *Neuroreport*, 13, 1285-1289
- Schulte-Körne G., Deimel W., Bartling J. & Remschmidt H.** (1998) Auditory processing and dyslexia : evidence for a specific speech processing deficit, *Neuroreport*, 9, 337-340

- Seidenberg M. & McClelland J.** (1989) A distributed developmental model of word recognition and naming, *Psychological Review*, 96, 523-568
- Serniclaes W., Van Heghe S., Mousty P., Carré R. & Sprenger-Charolles L.** (2004a) Allophonic mode of speech perception in dyslexia, *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, pp 336-361
- Serniclaes W., Bogliotti C., Messaoud-Galusi S. & Sprenger-Charolles L.** (2004b) Allophonic perception in developmental dyslexia: origin, reliability and implications of the categorical perception deficit, *Meeting of the Society for the Scientific Study of Reading*, Amsterdam.
- Serniclaes W.** (2003) Dyslexie et perception phonologique, *Glossa*, 86, 4-17.
- Serniclaes W., Sprenger-Charolles L., Carré R. & Démonet JF.** (2001) Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia, *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 44, 384-399.
- Serniclaes W.** (2000) La perception de la parole , in P. Escudier, and J. L. Schwartz, eds., La parole : Des modèles cognitifs aux machines communicantes: Paris, HERMES Science Publications, pp 159-190.
- Serniclaes W.** (1987) Etude expérimentale de la perception du trait de voisement des occlusives du français, Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles. Téléchargeable à <http://www.vjf.cnrs.fr/umr8606/DocHtml/PAGEPERSON/Werniclaes.htm>
- Seymour P. & Elder L.** (1986) Beginning reading without phonology, *Cognitive Neuropsychology*, 3(1), 1-36
- Share D., Jorm A., Maclean R. & Matthews R.** (2002) Temporal processing and reading disability, *Reading and Writing*, 15, -178.
- Share D.** (1995) Phonological Recoding and self-teaching : sine qua non of reading acquisition, *Cognition*, 55, 151-218
- Share D., Jorm A., McLean R. & Matthews R.** (1984) Sources of individual differences in reading acquisition, *Journal of Educational Psychology*, 76, 309-324.
- Shaywitz S.** (1998) Current concepts : dyslexia, *The new England journal of medicine*, 338(5), 307-312
- Simon C. & Fourcin A.J.** (1978) Cross-Language study of speech-pattern learning *Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 925-935.
- Snowling M.** (2001) From language to reading and dyslexia, *Dyslexia*, 7, 1, 37-46
- Snowling M., Goulandris N. & Defty N.** (1996) A longitudinal study of reading development in dyslexic children, *Journal of Educational Psychology*, 88, 653-669.
- Snowling M., Stackhouse J. & Rack J.** (1986) Phonological dyslexia and dysgraphia : a developmental analysis, *Cognitive Sciences*, 3(3), 309-339
- Skottun B.C. & Parke L.A.** (1999) The possible relationship between visual deficits and dyslexia : examination of a critical assumption, *Journal of Learning Disabilities*, 32, 2-5
- Sprenger-Charolles L. & Colé P.** (2003) Les principaux modèles d'apprentissage de la lecture, Lecture et Dyslexie : Approche cognitive: Paris, Dunod.
- Sprenger-Charolles L., Colé P., Lacert P., & Serniclaes W.** (2000) On subtypes of developmental dyslexia : Evidence from processing time and accuracy scores, *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54, 88-104.
- Sprenger-Charolles L., Siegel L. & Bechenec D.** (1998b) Phonological mediation and semantic and orthographic factors in reading and spelling, *Journal of Experimental Child Psychology*, 68, 134-155

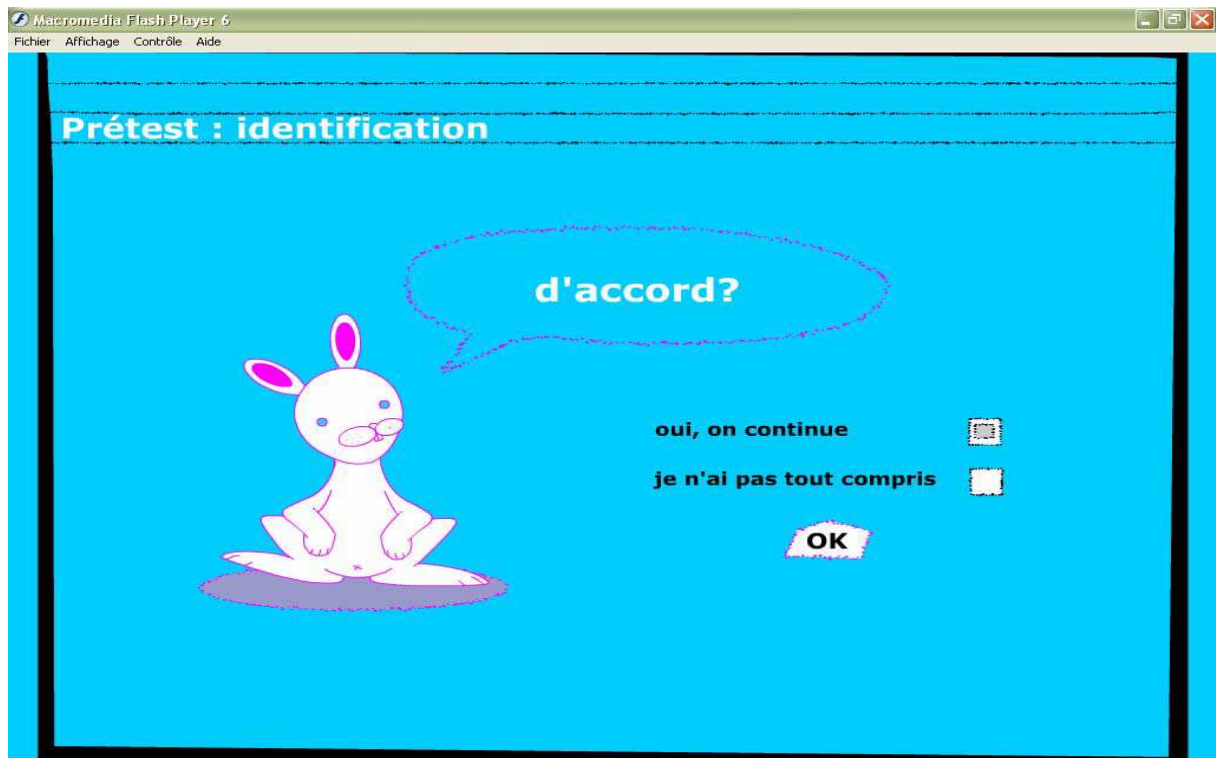
- Sprenger-Charolles L. & Siegel L.** (1997) A longitudinal study of the effects of the syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French, *Applied Psycholinguistics*, 54, 88-104
- Sprenger-Charolles L. & Bonnet P.** (1996) New doubts on the importance of the logographic stage, *Current Psychology of Cognition*, 15, 173-208
- Sprenger-Charolles L. & Casalis S.** (1996) Lire. Lecture / Ecriture : acquisition et troubles du développement, Paris PUF (Psychologie et Sciences de la pensée)
- Sussman H.M.** (2001) Vowel perception by adults and children with normal language and specific language impairment Based on steady states or transitions ?, *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 1173-1180.
- Stanovich K.E.** (2000) Progress in understanding reading : scientific foundations and new frontiers, New York, Guilford Press
- Stanovich K.E.** (1986) Matthew effects in reading : Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy, *Reading Research Quarterly*, 21, 360-406.
- Stein J.** (2001) The magnocellular theory of developmental dyslexia, *Dyslexia*, 7, 12-36
- Stein J. & Walsh V.** (1997) To see but not to read : the magnocellular theory of dyslexia, *Trends in Neuroscience*, 20, 147-152
- Stevens K.N. & Blumstein S.E.** (1981) The search for invariant acoustic correlates of phonetic features, Perspectives on the study of speech in PD Eimas & JL Miller eds, Hillsdale : Erlbaum, 1-38
- Stevens K.N. & Klatt D.H.** (1974) Role of formant transitions in the voiced-voiceless distinction of stops, *JASA*, 55, 653-659
- Stevens K.N. & Blumstein S.E.** (1978) Invariant cues for place of articulation in stop consonants, *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 1358-1368.
- Streeter L.A.** (1976) Language perception of 2 months old infants show effects of both innate mechanisms and experience, *Nature London*, 259, 39-41
- Studdert-Kennedy M. & Mody M.** (1995) Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired : A critical review of the evidence, *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 508-514.
- Swets J.A., Dawes R.M. & Monahan J.** (2000) Better decisions through science, *Scientific American*, 70-75
- Swets J.A.** (1978) ROC Analysis applied in the evaluation of medical imaging techniques, *Investigate Radiology*, 14, 109-120
- Talcott J.B., Hansen P.C., Assoku E.L. & Stein J.F.** (2000) Visual motion sensibility in dyslexia : evidence for a temporal and energy integration deficits, *Neuropsychologia*, 38, 935-943
- Tallal P.** (1980) Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children, *Brain and language*, 9, 182-198
- Tallal P. & Piercy M.** (1974) Developmental aphasia : rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception, *Neuropsychologica*, 11, 69-74
- Tallal P. & Piercy M.** (1973) Defects of nonverbal auditory perception in children with developmental aphasia, *Nature*, 241.
- Temple C. & Marshall J.** (1983) A case of study of developmental phonological dyslexia, *British Journal of Psychology*, 74, 517-533.
- Treuhub S.** (1976) The discrimination of foreign speech contrasts by infants and adults, *Child Development*, 47, 466-472

- Tunmer W.E. & Lally K.** (1986) The effects of letter-name knowledge and phonological awareness on computer-based instruction in decoding for pre-readers, *12th Australian Reading Association Conference*, Perth, Western Australia.
- Tunmer W.E. & Nesdale A.R.** (1985) Phonemic segmentation skill and beginning reading, *Journal of Educational Psychology*, 77.
- Van Heghe S.** (2001) Evaluation comparative des effets de deux entraînements à la discrimination catégorielle sur les habiletés de la perception catégorielle et métaphonologiques des enfants dyslexiques, *Mémoire de Licence de Sciences Psychologiques et de l'Education*, Université Libre de Bruxelles.
- Van Ijzendoorn M. & Bus A.** (1994) Meta-analytic confirmation of the non word reading deficit in développemental dyslexia, *Reading Research Quarterly*, 29, 266-275
- Werker J., Lloyd V., Pegg J., & Polka L.** (1996) Putting the baby in the bootstraps : toward a more complete understanding of the role of the input in infant speech processing, in J. Morgan, and K. Demuth, eds., *Signal to Syntax*: Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Werker J. & Polka L.** (1993a) Developmental changes in speech perception : new challenges and new directions, *Journal of Phonetics*, 21, 83-101.
- Werker J. & Polka L.** (1993b) The ontogeny and developmental significance of language-specific phonetic perception, in B. de Boysson-Bardies, S. de Schonen, P. Jusczyk, P. McNeilage, and J. Morton, eds., *Developmental neurocognition: Speech and face processing in the first year of life*: Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp 275-288.
- Werker J.** (1992) Cross-language speech perception : developmental change does not involve loss, in *Speech perception and word recognition*, ed. Goodman and Nusbaum, Cambridge, MIT press.
- Werker J. & Lalonde C.** (1988) Cross-language speech perception : initial capabilities and developmental change, *Developmental Psychology*, 24, 672-683
- Werker J. & Tees R.** (1987) Speech perception in severely disabled and average reading children, *Canadian journal of psychology*, 41, 48-61
- Werker J. & Tees R.** (1984a) Cross-Language Speech Perception : evidence for perceptual reorganization during first year of life, *Infant Behavior and Development*, 7, 49-63
- Werker J. & Tees R.** (1984b) Phonemic and phonetic factors in adult cross-language speech perception, *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 1866-1878.
- Werker J., Gilbert J., Humphrey K. & Tees R.** (1981) Developmental aspects of cross-language speech perception, *Child Development*, 52, 349-353
- Williams L.** (1977a) The voicing contrast in Spanish, *Journal of Phonetics*, 5, 169-184
- Wimmer H., Mayringer H. & Landerl K.** (1998) Poor reading : a deficit of skill-automatization or a phonological deficit ?, *Scientific Studies of Reading*, 2, 321-340
- Wimmer H.** (1996) The early manifestation of developmental dyslexia : evidence from German children, *Reading and Writing : an interdisciplinary journal*, 8, 171-188
- Wimmer H.** (1994) Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system, *Applied Psycholinguistics*, 14, 1-33
- Wood C.** (1976) Discriminability, response bias, and phoneme categories in discrimination of voice onset time, *JASA*, 63, 1223-1225
- Yap R. & Van der Leij A.** (1994) Testing the automatization deficit hypothesis of dyslexia via a dual-task paradigm, *Journal of Learning Disabilities*, 27, 660-667

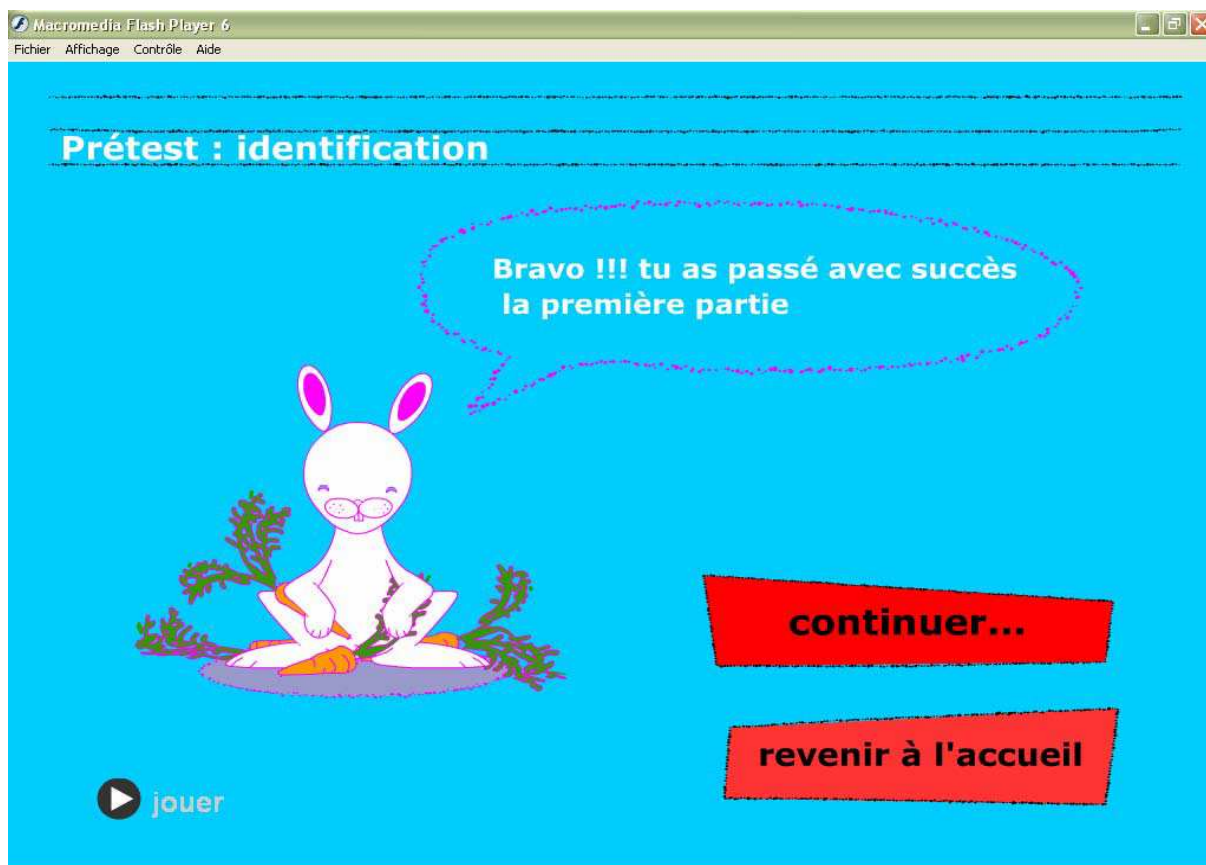
Annexes



Consigne pour le prétest d'identification avec Lapinot



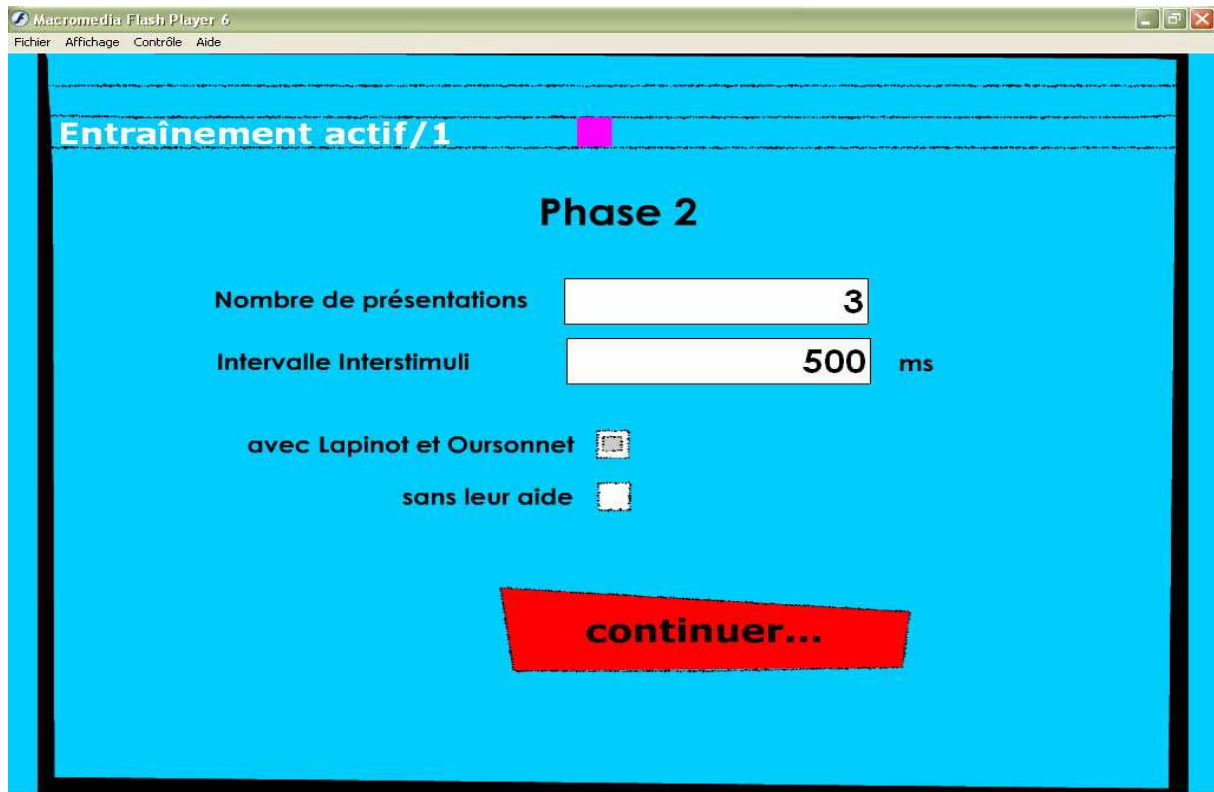
Assurance de la bonne intégration des consignes. On peut voir toute l'interactivité du programme



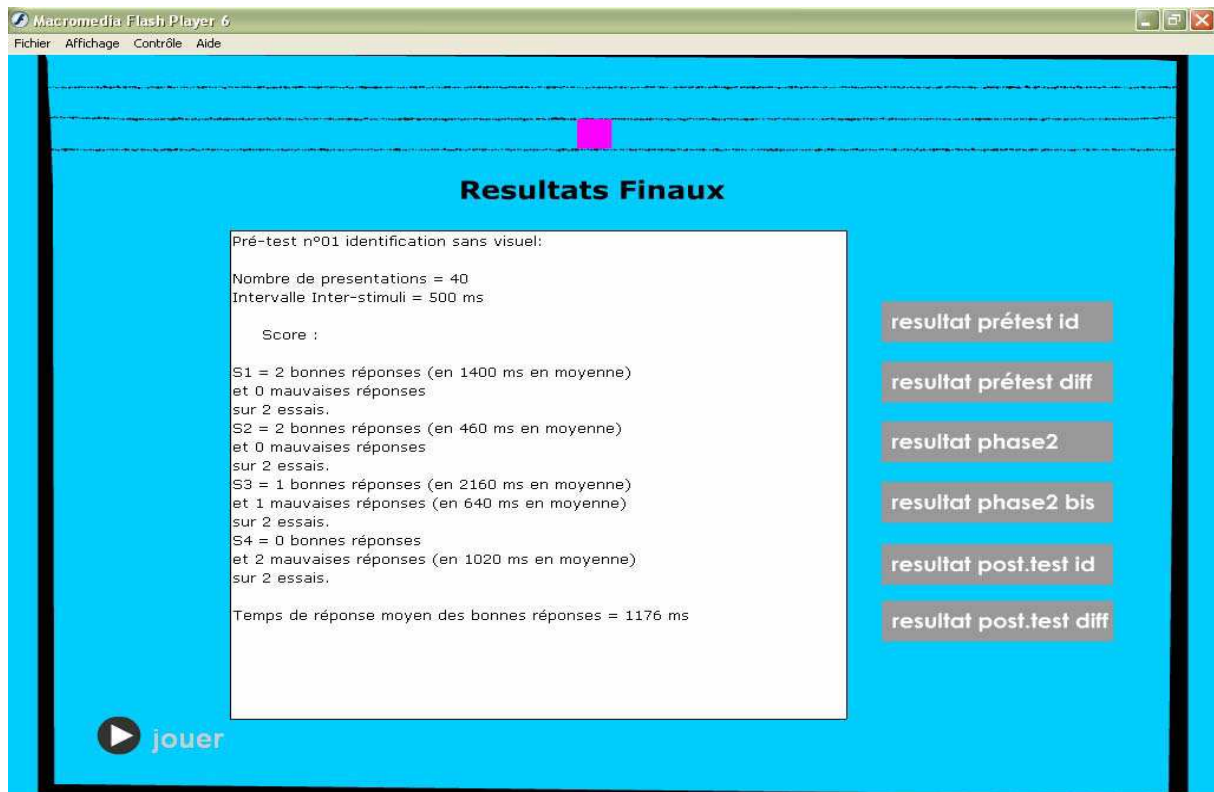
Encouragement de l'enfant. Cette phase assure l'expérimentateur quant à la capacité d'identification des enfants dyslexiques.



Consigne des entraînements passifs avec renforcement visuel.



Choix du nombre de présentations des stimuli, de l'ISI et de la présence ou l'absence du renforcement visuel



Obtention des résultats

- (i) L'affichage des consignes était trop rapide. Les enfants, dyslexiques, n'avaient pas le temps de lire, et donc de comprendre, ce qu'on leur demandait. L'expérimentateur devait alors répéter à haute voix les consignes, et ce pour toutes les épreuves du logiciel (identification et discrimination, à toutes les phases). Ce problème est à résoudre impérativement.
- (ii) Lors des consignes des tâches de discrimination, il n'y avait pas de sons illustrant la similarité ou la différence entre les syllabes. Les stimuli extrêmes pourraient être présentés lors de cette consigne.
- (iii) Lors de la tâche d'identification, les stimuli étaient émis trop rapidement. En effet, le stimulus suivant la réponse de l'enfant au stimulus précédent était envoyé trop précocement.
- (iv) Lors des entraînements passifs, il est nécessaire de multiplier le nombre de présentations des stimuli ou des paires de stimuli
- (v) Nous avons eu des problèmes dans le recueil de données des entraînements actifs. Les résultats de ces épreuves avec et sans renforcement visuel n'étaient parfois pas enregistrés entièrement. En effet, le logiciel n'enregistre que les derniers tests passés dans la phase entraînement actif, en l'occurrence l'identification et la discrimination sans renforcement actif. Les données avec renforcement visuel sont alors perdues.
- (vi) La remarque précédente entraîne une autre remarque. L'expérimentateur devrait pouvoir accéder à une feuille de résultat de chaque épreuve, et ce, à tout moment de l'expérience. Ainsi, il ne serait pas nécessaire de faire dérouler tout le logiciel pour faire passer une épreuve qui se situerait en fin de phase.
- (vii) Pour l'instant, on ne peut pas modifier le nombre de présentations dans les deux tâches de prétest et post test.

| | s-50 ms | s-40 ms | s-30 ms | s-20 ms | s-10 ms | s 0 ms | s 10 ms | s 20 ms | s 30 ms | s 40 ms | s 50 ms |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| GSM1 | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| GSM2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| GSM3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GSM4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM5 | 6 | 7 | 5 | 5 | 3 | 6 | 7 | 4 | 5 | 7 | 6 |
| GSM6 | 3 | 3 | 6 | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 2 |
| GSM7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GSM8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM9 | 9 | 7 | 6 | 5 | 5 | 9 | 8 | 6 | 6 | 4 | 8 |
| GSM10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM11 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 7 | 5 | 4 | 8 | 4 | 9 |
| GSM12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GSM13 | 7 | 7 | 10 | 10 | 9 | 10 | 9 | 9 | 6 | 8 | 6 |
| GSM14 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| GSM15 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 7 |
| GSM16 | 6 | 6 | 4 | 5 | 4 | 2 | 6 | 8 | 5 | 5 | 4 |
| GSM17 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 |
| GSM18 | 7 | 6 | 6 | 1 | 4 | 1 | 6 | 5 | 5 | 7 | 8 |
| GSM19 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 9 | 10 | 10 | 8 |
| GSM20 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| GSM21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| GSM22 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM23 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| GSM24 | 5 | 6 | 8 | 9 | 7 | 5 | 6 | 7 | 5 | 8 | 7 |
| GSM25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM26 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM27 | 5 | 6 | 7 | 4 | 4 | 6 | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| GSM28 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM29 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 5 | 6 | 3 | 5 |
| GSM30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GSM31 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| GSM32 | 2 | 5 | 2 | 2 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 | 8 |
| GSM33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| GSM1 | 52% | 51% | 50% | 50% | 51% | 50% | 51% | 50% | 52% |
| GSM2 | 52% | 51% | 51% | 50% | 50% | 51% | 50% | 50% | 50% |
| GSM3 | 50% | 52% | 51% | 50% | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM4 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM5 | 51% | 52% | 52% | 51% | 58% | 52% | 52% | 55% | 51% |
| GSM6 | 55% | 52% | 63% | 55% | 51% | 52% | 50% | 58% | 50% |
| GSM7 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM8 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM9 | 55% | 52% | 51% | 58% | 55% | 55% | 52% | 52% | 52% |
| GSM10 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM11 | 51% | 52% | 51% | 52% | 52% | 55% | 55% | 50% | 51% |
| GSM12 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM13 | 55% | 55% | 51% | 50% | 50% | 51% | 55% | 51% | 50% |
| GSM14 | 50% | 50% | 50% | 51% | 50% | 51% | 51% | 50% | 51% |
| GSM15 | 50% | 52% | 51% | 55% | 55% | 50% | 58% | 58% | 51% |
| GSM16 | 52% | 51% | 50% | 55% | 52% | 68% | 51% | 55% | 51% |
| GSM17 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 50% |
| GSM18 | 51% | 63% | 52% | 50% | 52% | 58% | 51% | 52% | 55% |
| GSM19 | 51% | 50% | 51% | 51% | 50% | 51% | 50% | 51% | 52% |
| GSM20 | 51% | 51% | 52% | 52% | 58% | 51% | 52% | 50% | 50% |
| GSM21 | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 50% |
| GSM22 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM23 | 50% | 52% | 52% | 50% | 51% | 50% | 51% | 52% | 50% |
| GSM24 | 55% | 55% | 51% | 58% | 51% | 52% | 51% | 51% | 52% |
| GSM25 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM26 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM27 | 52% | 52% | 55% | 52% | 52% | 51% | 52% | 52% | 51% |
| GSM28 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM29 | 51% | 52% | 52% | 51% | 51% | 52% | 58% | 52% | 51% |
| GSM30 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM31 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM32 | 50% | 55% | 55% | 50% | 51% | 51% | 51% | 51% | 63% |
| GSM33 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| GSM1 | 47% | 47% | 47% | 50% | 50% | 53% | 50% | 50% | 50% |
| GSM2 | 53% | 38% | 47% | 66% | 56% | 50% | 47% | 50% | 41% |
| GSM3 | 50% | 56% | 50% | 31% | 38% | 41% | 44% | 56% | 50% |
| GSM4 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM5 | 34% | 50% | 31% | 59% | 50% | 63% | 50% | 59% | 44% |
| GSM6 | 63% | 44% | 53% | 41% | 53% | 59% | 63% | 38% | 53% |
| GSM7 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM8 | 50% | 50% | 56% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM9 | 53% | 56% | 41% | 53% | 50% | 53% | 44% | 47% | 59% |
| GSM10 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM11 | 53% | 47% | 56% | 56% | 44% | 44% | 47% | 50% | 56% |
| GSM12 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM13 | 44% | 59% | 50% | 53% | 53% | 41% | 44% | 44% | 53% |
| GSM14 | 59% | 50% | 69% | 53% | 53% | 50% | 44% | 53% | 34% |
| GSM15 | 53% | 47% | 50% | 47% | 63% | 75% | 53% | 56% | 53% |
| GSM16 | 47% | 47% | 44% | 50% | 47% | 44% | 44% | 44% | 47% |
| GSM17 | 50% | 50% | 53% | 50% | 53% | 53% | 59% | 47% | 50% |
| GSM18 | 47% | 41% | 53% | 47% | 44% | 56% | 50% | 53% | 44% |
| GSM19 | 56% | 44% | 50% | 53% | 41% | 59% | 47% | 56% | 50% |
| GSM20 | 53% | 31% | 50% | 53% | 47% | 75% | 50% | 66% | 47% |
| GSM21 | 50% | 53% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM22 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM23 | 50% | 47% | 50% | 50% | 50% | 59% | 47% | 50% | 47% |
| GSM24 | 44% | 41% | 56% | 41% | 38% | 34% | 38% | 34% | 50% |
| GSM25 | 50% | 50% | 47% | 47% | 47% | 47% | 50% | 50% | 47% |
| GSM26 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM27 | 47% | 41% | 63% | 47% | 56% | 44% | 41% | 44% | 47% |
| GSM28 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM29 | 47% | 56% | 47% | 53% | 50% | 47% | 50% | 44% | 56% |
| GSM30 | 50% | 56% | 53% | 34% | 50% | 47% | 50% | 47% | 53% |
| GSM31 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| GSM32 | 47% | 44% | 44% | 47% | 31% | 38% | 53% | 47% | 47% |
| GSM33 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |

| | s-50 ms | s-40 ms | s-30 ms | s-20 ms | s-10 ms | s 0 ms | s 10 ms | s 20 ms | s 30 ms | s 40 ms | s 50 ms |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| CP1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 5 | 2 |
| CP2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| CP3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 7 | 5 | 3 |
| CP4 | 5 | 5 | 4 | 6 | 5 | 5 | 5 | 7 | 3 | 5 | 6 |
| CP5 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| CP6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 6 | 9 | 8 | 9 | 9 |
| CP7 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 3 | 7 | 8 | 4 | 7 |
| CP8 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 | 4 | 2 |
| CP9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CP10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CP11 | 4 | 2 | 6 | 2 | 3 | 4 | 7 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| CP12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 0 | 2 |
| CP13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| CP14 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 4 | 4 | 8 | 10 |
| CP15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| CP16 | 5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 3 | 4 | 6 | 5 |
| CP17 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| CP18 | 4 | 2 | 6 | 6 | 7 | 4 | 7 | 4 | 6 | 4 | 5 |
| CP19 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 5 | 9 | 9 | 10 |
| CP20 | 6 | 7 | 9 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8 | 5 |
| CP21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 | 8 | 9 | 10 |
| CP22 | 4 | 4 | 3 | 1 | 4 | 4 | 7 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| CP23 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 | 4 | 9 | 5 | 8 | 8 |
| CP24 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 0 | 3 | 4 | 5 |
| CP25 | 5 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 | 8 | 6 | 6 | 5 | 9 |
| CP26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 |
| CP27 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| CP28 | 3 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 2 |
| CP29 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| CP30 | 9 | 8 | 8 | 8 | 10 | 9 | 7 | 4 | 7 | 7 | 7 |
| CP31 | 9 | 9 | 9 | 8 | 9 | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 9 |
| CP32 | 4 | 1 | 3 | 5 | 9 | 7 | 6 | 7 | 5 | 5 | 3 |
| CP33 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| CP1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 52% | 52% | 55% | 50% |
| CP2 | 51% | 52% | 50% | 55% | 51% | 51% | 51% | 51% | 51% |
| CP3 | 51% | 50% | 51% | 50% | 50% | 58% | 75% | 51% | 58% |
| CP4 | 51% | 51% | 51% | 51% | 50% | 52% | 52% | 52% | 55% |
| CP5 | 52% | 50% | 52% | 51% | 63% | 55% | 52% | 50% | 50% |
| CP6 | 51% | 51% | 51% | 51% | 68% | 82% | 52% | 50% | 51% |
| CP7 | 52% | 52% | 50% | 51% | 55% | 58% | 63% | 55% | 51% |
| CP8 | 51% | 52% | 52% | 52% | 52% | 51% | 52% | 58% | 51% |
| CP9 | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 50% | 51% | 50% | 50% |
| CP10 | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 50% | 51% | 50% | 50% |
| CP11 | 52% | 50% | 55% | 52% | 58% | 51% | 55% | 50% | 51% |
| CP12 | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 58% | 52% | 58% | 51% |
| CP13 | 50% | 50% | 50% | 50% | 63% | 100% | 63% | 50% | 50% |
| CP14 | 52% | 51% | 51% | 51% | 51% | 55% | 58% | 58% | 68% |
| CP15 | 50% | 50% | 50% | 51% | 63% | 75% | 58% | 51% | 50% |
| CP16 | 58% | 51% | 55% | 58% | 55% | 55% | 55% | 55% | 51% |
| CP17 | 51% | 52% | 51% | 50% | 51% | 75% | 75% | 51% | 50% |
| CP18 | 52% | 58% | 51% | 52% | 50% | 50% | 51% | 50% | 51% |
| CP19 | 50% | 51% | 51% | 50% | 51% | 63% | 82% | 58% | 51% |
| CP20 | 55% | 52% | 52% | 52% | 50% | 50% | 51% | 51% | 51% |
| CP21 | 50% | 50% | 50% | 50% | 58% | 100% | 58% | 51% | 52% |
| CP22 | 51% | 55% | 51% | 55% | 55% | 51% | 52% | 50% | 51% |
| CP23 | 51% | 51% | 51% | 55% | 51% | 82% | 51% | 51% | 55% |
| CP24 | 52% | 51% | 50% | 51% | 52% | 58% | 50% | 58% | 52% |
| CP25 | 51% | 51% | 50% | 50% | 52% | 51% | 52% | 51% | 55% |
| CP26 | 50% | 50% | 50% | 51% | 51% | 51% | 50% | 51% | 68% |
| CP27 | 50% | 51% | 50% | 51% | 50% | 50% | 52% | 51% | 50% |
| CP28 | 55% | 50% | 52% | 55% | 52% | 51% | 50% | 52% | 52% |
| CP29 | 50% | 51% | 55% | 51% | 55% | 55% | 68% | 58% | 58% |
| CP30 | 51% | 50% | 52% | 51% | 55% | 63% | 50% | 55% | 50% |
| CP31 | 50% | 51% | 50% | 50% | 50% | 52% | 51% | 50% | 51% |
| CP32 | 51% | 58% | 68% | 52% | 55% | 50% | 51% | 52% | 52% |
| CP33 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|
| CP1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 53% | 50% | 53% | 50% |
| CP2 | 38% | 59% | 38% | 63% | 34% | 47% | 34% | 63% | 44% |
| CP3 | 44% | 50% | 50% | 56% | 59% | 72% | 84% | 63% | 59% |
| CP4 | 53% | 59% | 53% | 44% | 56% | 66% | 41% | 69% | 53% |
| CP5 | 53% | 59% | 53% | 44% | 56% | 59% | 56% | 47% | 69% |
| CP6 | 59% | 53% | 50% | 50% | 50% | 53% | 59% | 50% | 47% |
| CP7 | 59% | 59% | 50% | 50% | 50% | 63% | 41% | 47% | 59% |
| CP8 | 56% | 56% | 53% | 47% | 63% | 41% | 66% | 53% | 50% |
| CP9 | 50% | 50% | 50% | 59% | 47% | 53% | 41% | 44% | 50% |
| CP10 | 50% | 50% | 53% | 50% | 50% | 50% | 50% | 47% | 50% |
| CP11 | 66% | 59% | 63% | 44% | 66% | 44% | 44% | 59% | 44% |
| CP12 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 56% | 47% | 50% | 44% |
| CP13 | 53% | 47% | 50% | 47% | 91% | 100% | 100% | 75% | 56% |
| CP14 | 53% | 59% | 47% | 50% | 59% | 69% | 66% | 47% | 50% |
| CP15 | 53% | 44% | 44% | 53% | 56% | 59% | 66% | 41% | 47% |
| CP16 | 59% | 53% | 59% | 50% | 53% | 69% | 44% | 47% | 56% |
| CP17 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 81% | 69% | 53% | 47% |
| CP18 | 53% | 53% | 56% | 44% | 44% | 50% | 47% | 34% | 50% |
| CP19 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 88% | 94% | 63% | 50% |
| CP20 | 59% | 47% | 69% | 59% | 63% | 53% | 38% | 47% | 44% |
| CP21 | 50% | 47% | 47% | 44% | 53% | 81% | 91% | 59% | 53% |
| CP22 | 63% | 56% | 63% | 44% | 56% | 56% | 63% | 44% | 56% |
| CP23 | 41% | 53% | 50% | 53% | 50% | 66% | 56% | 50% | 31% |
| CP24 | 41% | 72% | 38% | 63% | 44% | 53% | 47% | 53% | 50% |
| CP25 | 53% | 66% | 50% | 59% | 38% | 56% | 25% | 44% | 28% |
| CP26 | 47% | 50% | 50% | 50% | 53% | 53% | 47% | 59% | 50% |
| CP27 | 63% | 50% | 47% | 56% | 50% | 44% | 56% | 50% | 66% |
| CP28 | 56% | 50% | 53% | 50% | 59% | 81% | 66% | 69% | 56% |
| CP29 | 53% | 47% | 50% | 53% | 53% | 66% | 63% | 56% | 44% |
| CP30 | 44% | 53% | 38% | 50% | 47% | 72% | 66% | 47% | 56% |
| CP31 | 50% | 53% | 44% | 56% | 50% | 56% | 44% | 38% | 44% |
| CP32 | 63% | 59% | 53% | 50% | 69% | 41% | 56% | 41% | 47% |
| CP33 | 47% | 59% | 50% | 50% | 53% | 44% | 53% | 47% | 50% |

| | s-50 ms | s-40 ms | s-30 ms | s-20 ms | s-10 ms | s 0 ms | s 10 ms | s 20 ms | s 30 ms | s 40 ms | s 50 ms |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| CE1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 9 | 10 | 10 |
| CE2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| CE3 | 4 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 10 | 7 | 10 | 9 |
| CE4 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 | 4 | 6 | 8 | 5 | 8 |
| CE5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| CE6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 8 | 9 | 10 | 8 |
| CE7 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 8 | 3 | 8 | 8 |
| CE8 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| CE9 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 5 | 7 | 2 | 7 |
| CE10 | 1 | 3 | 2 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 2 | 7 | 6 |
| CE11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 9 | 8 | 6 |
| CE12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| CE13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| CE14 | 4 | 0 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 8 | 5 | 8 | 7 |
| CE15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| CE16 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 7 | 8 | 8 | 9 | 7 |
| CE17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| CE18 | 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 6 | 7 | 7 | 10 |
| CE19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| CE20 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 6 | 7 | 7 | 9 |
| CE21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CE22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 9 | 8 |
| CE23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 9 | 10 | 8 |
| CE24 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 | 5 | 7 | 6 | 9 |
| CE25 | 6 | 5 | 3 | 4 | 6 | 5 | 4 | 7 | 4 | 6 | 5 |
| CE26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 10 | 9 |
| CE27 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 6 | 8 | 9 | 9 |
| CE28 | 3 | 5 | 7 | 4 | 9 | 7 | 7 | 4 | 5 | 5 | 7 |
| CE29 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 7 | 10 | 10 |
| CE30 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | 2 | 5 |
| CE31 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 7 | 7 | 8 | 6 |
| CE32 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 8 | 5 | 8 |
| CE33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 9 | 8 |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|
| CE1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 63% | 91% | 63% | 51% |
| CE2 | 52% | 51% | 52% | 51% | 51% | 68% | 58% | 50% | 50% |
| CE3 | 51% | 52% | 52% | 52% | 51% | 91% | 63% | 50% | 52% |
| CE4 | 51% | 50% | 51% | 51% | 55% | 52% | 58% | 51% | 50% |
| CE5 | 50% | 50% | 50% | 50% | 82% | 100% | 52% | 50% | 50% |
| CE6 | 50% | 50% | 50% | 50% | 55% | 75% | 68% | 52% | 51% |
| CE7 | 51% | 51% | 51% | 50% | 51% | 75% | 50% | 50% | 63% |
| CE8 | 52% | 51% | 51% | 63% | 50% | 52% | 52% | 51% | 52% |
| CE9 | 55% | 52% | 51% | 51% | 52% | 63% | 58% | 55% | 50% |
| CE10 | 51% | 51% | 55% | 51% | 51% | 51% | 52% | 55% | 58% |
| CE11 | 51% | 50% | 51% | 50% | 55% | 63% | 68% | 55% | 55% |
| CE12 | 50% | 50% | 51% | 51% | 52% | 55% | 51% | 51% | 50% |
| CE13 | 50% | 50% | 50% | 50% | 68% | 100% | 58% | 50% | 50% |
| CE14 | 52% | 58% | 50% | 52% | 51% | 68% | 58% | 50% | 52% |
| CE15 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 75% | 100% | 55% | 50% |
| CE16 | 51% | 52% | 51% | 51% | 75% | 75% | 51% | 51% | 51% |
| CE17 | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% | 82% | 100% | 52% | 50% |
| CE18 | 55% | 50% | 52% | 52% | 51% | 52% | 63% | 51% | 55% |
| CE19 | 51% | 50% | 51% | 51% | 50% | 82% | 100% | 51% | 50% |
| CE20 | 51% | 50% | 50% | 50% | 58% | 63% | 52% | 51% | 52% |
| CE21 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| CE22 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 75% | 91% | 52% | 51% |
| CE23 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 68% | 91% | 58% | 51% |
| CE24 | 51% | 50% | 50% | 51% | 68% | 63% | 51% | 51% | 52% |
| CE25 | 55% | 51% | 55% | 51% | 52% | 52% | 50% | 51% | 51% |
| CE26 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 55% | 91% | 75% | 50% |
| CE27 | 50% | 51% | 50% | 51% | 50% | 63% | 82% | 55% | 51% |
| CE28 | 58% | 51% | 52% | 55% | 52% | 55% | 52% | 51% | 52% |
| CE29 | 50% | 51% | 50% | 50% | 51% | 75% | 68% | 55% | 55% |
| CE30 | 51% | 52% | 50% | 51% | 51% | 50% | 55% | 51% | 51% |
| CE31 | 51% | 51% | 51% | 51% | 58% | 63% | 55% | 51% | 51% |
| CE32 | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% | 68% | 82% | 51% | 50% |
| CE33 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 75% | 82% | 51% |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| CE1 | 47% | 47% | 44% | 47% | 53% | 75% | 72% | 50% | 44% |
| CE2 | 63% | 41% | 47% | 47% | 47% | 50% | 41% | 34% | 56% |
| CE3 | 50% | 50% | 53% | 50% | 56% | 84% | 97% | 56% | 56% |
| CE4 | 41% | 50% | 50% | 56% | 63% | 53% | 72% | 72% | 63% |
| CE5 | 56% | 50% | 53% | 47% | 63% | 78% | 75% | 69% | 81% |
| CE6 | 50% | 50% | 50% | 50% | 56% | 75% | 97% | 53% | 75% |
| CE7 | 59% | 53% | 59% | 53% | 56% | 53% | 69% | 59% | 59% |
| CE8 | 56% | 47% | 53% | 50% | 44% | 59% | 53% | 50% | 41% |
| CE9 | 56% | 50% | 56% | 50% | 50% | 53% | 50% | 47% | 63% |
| CE10 | 50% | 59% | 47% | 47% | 47% | 59% | 53% | 50% | 47% |
| CE11 | 50% | 47% | 50% | 50% | 50% | 63% | 75% | 53% | 47% |
| CE12 | 50% | 50% | 53% | 53% | 47% | 47% | 63% | 53% | 50% |
| CE13 | 50% | 50% | 50% | 50% | 91% | 94% | 97% | 78% | 56% |
| CE14 | 44% | 47% | 41% | 53% | 81% | 63% | 72% | 50% | 56% |
| CE15 | 50% | 50% | 50% | 50% | 69% | 88% | 84% | 56% | 50% |
| CE16 | 50% | 53% | 50% | 53% | 53% | 66% | 59% | 47% | 53% |
| CE17 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 97% | 84% | 53% | 53% |
| CE18 | 53% | 38% | 47% | 34% | 53% | 63% | 50% | 53% | 56% |
| CE19 | 50% | 53% | 50% | 50% | 50% | 91% | 88% | 69% | 50% |
| CE20 | 44% | 47% | 41% | 44% | 44% | 56% | 81% | 34% | 47% |
| CE21 | 53% | 50% | 50% | 50% | 53% | 69% | 75% | 59% | 56% |
| CE22 | 59% | 56% | 50% | 50% | 66% | 72% | 75% | 47% | 53% |
| CE23 | 59% | 50% | 53% | 47% | 50% | 69% | 81% | 56% | 44% |
| CE24 | 41% | 56% | 44% | 41% | 56% | 44% | 44% | 69% | 44% |
| CE25 | 66% | 25% | 63% | 47% | 59% | 50% | 44% | 53% | 50% |
| CE26 | 47% | 47% | 47% | 53% | 59% | 84% | 78% | 69% | 59% |
| CE27 | 56% | 50% | 53% | 59% | 47% | 63% | 63% | 44% | 53% |
| CE28 | 47% | 53% | 44% | 56% | 59% | 88% | 88% | 66% | 59% |
| CE29 | 47% | 47% | 53% | 47% | 66% | 59% | 66% | 47% | 53% |
| CE30 | 50% | 47% | 50% | 53% | 50% | 88% | 72% | 69% | 69% |
| CE31 | 59% | 50% | 50% | 50% | 53% | 47% | 63% | 50% | 50% |
| CE32 | 53% | 50% | 50% | 50% | 50% | 69% | 69% | 63% | 66% |
| CE33 | 53% | 50% | 50% | 53% | 53% | 56% | 59% | 56% | 56% |

| | GSM | | | CP | | | CE1 | | |
|-----------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|
| | intra | inter | <i>EFPh</i> | intra | inter | <i>EFPh</i> | intra | inter | <i>EFPh</i> |
| enfant 1 | 49% | 52% | 3% | 50% | 52% | 1% | 48% | 56% | 8% |
| enfant 2 | 50% | 48% | -2% | 48% | 41% | -8% | 50% | 69% | 19% |
| enfant 3 | 47% | 42% | -5% | 54% | 78% | 24% | 50% | 44% | -6% |
| enfant 4 | 50% | 50% | 0% | 55% | 53% | -2% | 51% | 63% | 11% |
| enfant 5 | 47% | 56% | 9% | 54% | 58% | 3% | 56% | 63% | 6% |
| enfant 6 | 49% | 61% | 12% | 51% | 56% | 5% | 52% | 47% | -5% |
| enfant 7 | 50% | 50% | 0% | 54% | 52% | -2% | 53% | 91% | 38% |
| enfant 8 | 51% | 50% | -1% | 54% | 53% | -1% | 48% | 45% | -2% |
| enfant 9 | 51% | 48% | -3% | 50% | 47% | -3% | 49% | 56% | 8% |
| enfant 10 | 50% | 50% | 0% | 50% | 50% | 0% | 51% | 63% | 11% |
| enfant 11 | 52% | 45% | -6% | 57% | 44% | -13% | 53% | 52% | -2% |
| enfant 12 | 50% | 50% | 0% | 49% | 52% | 2% | 52% | 55% | 3% |
| enfant 13 | 51% | 42% | -9% | 60% | 100% | 40% | 51% | 75% | 24% |
| enfant 14 | 53% | 47% | -6% | 52% | 67% | 15% | 54% | 81% | 27% |
| enfant 15 | 53% | 64% | 11% | 48% | 63% | 14% | 50% | 56% | 7% |
| enfant 16 | 46% | 44% | -3% | 54% | 56% | 2% | 55% | 86% | 31% |
| enfant 17 | 50% | 56% | 6% | 50% | 75% | 25% | 61% | 95% | 35% |
| enfant 18 | 47% | 53% | 6% | 48% | 48% | 1% | 51% | 91% | 40% |
| enfant 19 | 50% | 53% | 3% | 52% | 91% | 39% | 53% | 89% | 36% |
| enfant 20 | 50% | 63% | 13% | 55% | 45% | -10% | 54% | 73% | 19% |
| enfant 21 | 50% | 50% | 0% | 50% | 86% | 35% | 53% | 72% | 19% |
| enfant 22 | 50% | 50% | 0% | 54% | 59% | 5% | 54% | 69% | 14% |
| enfant 23 | 49% | 53% | 4% | 47% | 61% | 14% | 52% | 63% | 11% |
| enfant 24 | 43% | 36% | -7% | 51% | 50% | -1% | 55% | 88% | 33% |
| enfant 25 | 48% | 48% | 0% | 48% | 41% | -8% | 53% | 58% | 5% |
| enfant 26 | 50% | 50% | 0% | 51% | 50% | -1% | 54% | 86% | 32% |
| enfant 27 | 49% | 42% | -7% | 54% | 50% | -4% | 53% | 67% | 14% |
| enfant 28 | 50% | 50% | 0% | 56% | 73% | 17% | 55% | 80% | 24% |
| enfant 29 | 50% | 48% | -2% | 51% | 64% | 13% | 47% | 73% | 26% |
| enfant 30 | 49% | 48% | -1% | 48% | 69% | 21% | 51% | 55% | 4% |
| enfant 31 | 50% | 50% | 0% | 48% | 50% | 2% | 57% | 61% | 4% |
| enfant 32 | 44% | 45% | 2% | 54% | 48% | -6% | 43% | 69% | 26% |
| enfant 33 | 50% | 50% | 0% | 51% | 48% | -2% | 60% | 77% | 17% |

| | S-50 | S-40 | S-30 | S-20 | S-10 | S0 | S10 | S20 | S30 | S40 | S50 |
|---------------|------|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| DYS 1 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 8 | 3 | 5 | 5 | 7 |
| DYS 2 | 9 | 10 | 9 | 10 | 8 | 9 | 9 | 6 | 1 | 0 | 1 |
| DYS 3 | 4 | 7 | 6 | 5 | 7 | 4 | 8 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| DYS 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| DYS 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 6 | 7 | 2 | 8 | 6 | 5 | 9 | 5 | 4 | 5 | 2 | 2 |
| DYS 7 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| DYS 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 9 | 10 | 10 |
| DYS 9 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 4 | 6 | 9 | 6 | 7 |
| DYS 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 10 | 9 | 10 | 9 |
| BL 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 9 | 10 | 10 |
| BL 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 6 | 5 | 1 | 8 |
| BL 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| BL 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 6 | 9 | 10 | 9 |
| BL 5 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 6 | 8 | 9 | 9 |
| BL 6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 9 | 7 | 8 | 10 |
| BL 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 4 | 6 | 7 | 7 |
| BL 8 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 10 | 9 | 6 | 9 |
| BL 9 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 8 | 7 | 6 | 9 |
| BL 10 | 3 | 5 | 3 | 8 | 1 | 2 | 3 | 7 | 7 | 10 | 8 |
| BL 11 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 2 | 1 |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| DYS 1 | 51% | 51% | 51% | 51% | 52% | 58% | 55% | 52% | 52% |
| DYS 2 | 50% | 50% | 51% | 51% | 51% | 55% | 82% | 68% | 50% |
| DYS 3 | 63% | 52% | 51% | 51% | 51% | 50% | 54% | 54% | 50% |
| DYS 4 | 50% | 51% | 50% | 51% | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| DYS 5 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 58% | 100% | 68% | 50% |
| DYS 6 | 51% | 58% | 55% | 55% | 50% | 63% | 50% | 52% | 55% |
| DYS 7 | 50% | 52% | 51% | 55% | 51% | 52% | 51% | 51% | 51% |
| DYS 8 | 50% | 50% | 50% | 50% | 51% | 63% | 82% | 63% | 51% |
| DYS 9 | 52% | 51% | 51% | 51% | 51% | 58% | 63% | 50% | 52% |
| DYS 10 | 50% | 50% | 51% | 51% | 50% | 91% | 82% | 50% | 50% |
| BL 1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 63% | 91% | 63% | 51% |
| BL 2 | 52% | 50% | 55% | 50% | 52% | 58% | 55% | 63% | 55% |
| BL 3 | 51% | 50% | 50% | 50% | 50% | 82% | 100% | 52% | 50% |
| BL 4 | 51% | 52% | 51% | 51% | 55% | 63% | 63% | 58% | 50% |
| BL 5 | 52% | 51% | 50% | 51% | 52% | 68% | 68% | 55% | 51% |
| BL 6 | 52% | 50% | 52% | 51% | 51% | 82% | 68% | 51% | 55% |
| BL 7 | 50% | 50% | 52% | 51% | 50% | 58% | 58% | 55% | 51% |
| BL 8 | 50% | 51% | 51% | 50% | 51% | 91% | 82% | 58% | 50% |
| BL 9 | 51% | 55% | 51% | 55% | 58% | 63% | 55% | 52% | 52% |
| BL 10 | 50% | 55% | 52% | 68% | 52% | 63% | 58% | 55% | 51% |
| BL 11 | 50% | 50% | 52% | 51% | 55% | 50% | 50% | 52% | 58% |

| | m-40 | m-30 | m-20 | m-10 | m0 | m10 | m20 | m30 | m40 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| DYS 1 | 44% | 47% | 59% | 41% | 50% | 50% | 53% | 50% | 59% |
| DYS 2 | 53% | 56% | 63% | 53% | 47% | 66% | 47% | 41% | 38% |
| DYS 3 | 47% | 56% | 53% | 44% | 47% | 44% | 50% | 38% | 53% |
| DYS 4 | 53% | 53% | 63% | 41% | 44% | 38% | 53% | 50% | 72% |
| DYS 5 | 50% | 50% | 53% | 66% | 53% | 78% | 84% | 75% | 66% |
| DYS 6 | 50% | 56% | 53% | 50% | 53% | 47% | 44% | 63% | 47% |
| DYS 7 | 38% | 63% | 53% | 53% | 59% | 47% | 47% | 44% | 59% |
| DYS 8 | 50% | 56% | 53% | 59% | 44% | 59% | 59% | 50% | 53% |
| DYS 9 | 53% | 41% | 56% | 44% | 56% | 47% | 44% | 47% | 50% |
| DYS 10 | 50% | 47% | 56% | 56% | 47% | 66% | 78% | 53% | 66% |
| BL 1 | 44% | 50% | 31% | 28% | 41% | 53% | 59% | 53% | 53% |
| BL 2 | 50% | 53% | 47% | 50% | 56% | 78% | 75% | 75% | 59% |
| BL 3 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 81% | 88% | 84% | 69% |
| BL 4 | 53% | 47% | 53% | 44% | 66% | 56% | 75% | 56% | 56% |
| BL 5 | 44% | 50% | 44% | 50% | 44% | 84% | 78% | 59% | 66% |
| BL 6 | 50% | 50% | 56% | 53% | 56% | 69% | 78% | 72% | 81% |
| BL 7 | 53% | 56% | 50% | 59% | 59% | 66% | 72% | 53% | 53% |
| BL 8 | 50% | 50% | 53% | 47% | 50% | 81% | 81% | 59% | 56% |
| BL 9 | 50% | 41% | 50% | 47% | 66% | 63% | 59% | 47% | 59% |
| BL 10 | 50% | 56% | 47% | 50% | 59% | 66% | 72% | 47% | 50% |
| BL 11 | 53% | 53% | 53% | 53% | 50% | 53% | 41% | 50% | 41% |

| | intra | inter | EFPh |
|---------------|--------------|--------------|-------------|
| DYS 1 | 50% | 52% | 2% |
| DYS 2 | 50% | 56% | 6% |
| DYS 3 | 48% | 47% | -1% |
| DYS 4 | 54% | 45% | -8% |
| DYS 5 | 59% | 81% | 22% |
| DYS 6 | 53% | 45% | -8% |
| DYS 7 | 53% | 47% | -6% |
| DYS 8 | 52% | 59% | 7% |
| DYS 9 | 50% | 45% | -4% |
| DYS 10 | 54% | 72% | 18% |
| BL 1 | 43% | 56% | 13% |
| BL 2 | 56% | 77% | 21% |
| BL 3 | 58% | 84% | 27% |
| BL 4 | 54% | 66% | 12% |
| BL 5 | 51% | 81% | 30% |
| BL 6 | 60% | 73% | 14% |
| BL 7 | 55% | 69% | 14% |
| BL 8 | 52% | 81% | 29% |
| BL 9 | 51% | 61% | 10% |
| BL 10 | 51% | 69% | 17% |
| BL 11 | 50% | 47% | -4% |

| | -70 | -50 | -30 | -10 | 10 | 30 | 50 | 70 |
|-------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| NL 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 9 | 10 |
| NL 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| NL 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| NL 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 8 | 9 | 10 |
| NL 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| NL 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 10 | 10 |
| NL 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 10 | 10 | 10 |
| NL 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| NL 11 | 1 | 0 | 0 | 1 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| NL 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 8 | 8 | 10 |
| NL 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| NL 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| NL 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| NL 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| NL 17 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| NL 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| NL 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| NL 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| NL 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 10 | 10 |
| NL 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NL 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | 10 |
| NL 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | 10 |
| NL 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 |
| NL 29 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| NL 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| NL 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 |
| NL 32 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| NL 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| NL 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 9 | 10 |
| NL 35 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 9 |

| | -70 | -50 | -30 | -10 | 10 | 30 | 50 | 70 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| DYS 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 9 | 10 |
| DYS 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 10 | 10 |
| DYS 6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 10 | 8 | 10 | 9 |
| DYS 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 9 | 0 | 1 | 2 | 0 | 8 | 10 | 8 | 9 |
| DYS 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| DYS 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 12 | 0 | 1 | 1 | 1 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 13 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 14 | 1 | 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 15 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 10 | 10 | 9 |
| DYS 16 | 0 | 0 | 1 | 3 | 10 | 9 | 9 | 10 |
| DYS 17 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 9 | 10 | 10 |
| DYS 18 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 20 | 2 | 0 | 2 | 1 | 7 | 8 | 9 | 7 |
| DYS 21 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| DYS 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 8 | 9 | 10 |
| DYS 23 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 10 | 10 | 9 |

| | M-60 | M-40 | M-20 | M0 | M20 | M40 | M60 |
|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| NL 1 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 51% | 51% |
| NL 2 | 50% | 50% | 50% | 82% | 52% | 50% | 50% |
| NL 3 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| NL 4 | 50% | 50% | 51% | 55% | 58% | 51% | 51% |
| NL 5 | 50% | 50% | 51% | 91% | 50% | 50% | 50% |
| NL 6 | 50% | 50% | 50% | 75% | 55% | 50% | 50% |
| NL 7 | 51% | 50% | 50% | 52% | 75% | 51% | 50% |
| NL 8 | 50% | 50% | 51% | 51% | 82% | 50% | 50% |
| NL 9 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| NL 10 | 50% | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% |
| NL 11 | 51% | 50% | 51% | 82% | 51% | 50% | 50% |
| NL 12 | 51% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 52% |
| NL 13 | 50% | 50% | 50% | 75% | 55% | 50% | 50% |
| NL 14 | 50% | 50% | 50% | 82% | 52% | 50% | 50% |
| NL 15 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| NL 16 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| NL 17 | 50% | 50% | 51% | 91% | 50% | 50% | 50% |
| NL 18 | 50% | 50% | 50% | 82% | 52% | 50% | 50% |
| NL 19 | 50% | 50% | 50% | 63% | 63% | 50% | 50% |
| NL 20 | 50% | 50% | 50% | 82% | 52% | 50% | 50% |
| NL 21 | 50% | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% |
| NL 22 | 50% | 50% | 50% | 55% | 68% | 51% | 50% |
| NL 23 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| NL 24 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| NL 25 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| NL 26 | 50% | 50% | 50% | 68% | 58% | 50% | 50% |
| NL 27 | 50% | 50% | 50% | 68% | 58% | 50% | 50% |
| NL 28 | 50% | 50% | 50% | 52% | 82% | 50% | 50% |
| NL 29 | 50% | 50% | 52% | 68% | 51% | 51% | 50% |
| NL 30 | 50% | 50% | 50% | 63% | 63% | 50% | 50% |
| NL 31 | 50% | 50% | 50% | 52% | 82% | 50% | 50% |
| NL 32 | 50% | 50% | 52% | 82% | 50% | 50% | 52% |
| NL 33 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| NL 34 | 50% | 50% | 50% | 75% | 55% | 51% | 51% |
| NL 35 | 51% | 50% | 50% | 55% | 75% | 50% | 51% |

| | M-60 | M-40 | M-20 | M0 | M20 | M40 | M60 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| DYS 1 | 50% | 50% | 50% | 82% | 52% | 51% | 51% |
| DYS 2 | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| DYS 3 | 50% | 50% | 51% | 51% | 82% | 50% | 50% |
| DYS 4 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| DYS 5 | 51% | 50% | 50% | 75% | 52% | 51% | 50% |
| DYS 6 | 50% | 50% | 51% | 100% | 52% | 52% | 51% |
| DYS 7 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| DYS 8 | 51% | 51% | 50% | 68% | 58% | 50% | 50% |
| DYS 9 | 51% | 51% | 52% | 82% | 52% | 52% | 51% |
| DYS 10 | 50% | 50% | 50% | 91% | 50% | 51% | 50% |
| DYS 11 | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% |
| DYS 12 | 51% | 50% | 50% | 68% | 55% | 50% | 50% |
| DYS 13 | 50% | 50% | 52% | 75% | 51% | 50% | 50% |
| DYS 14 | 50% | 51% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% |
| DYS 15 | 50% | 51% | 51% | 58% | 68% | 50% | 51% |
| DYS 16 | 50% | 51% | 52% | 75% | 51% | 50% | 51% |
| DYS 17 | 50% | 50% | 51% | 55% | 63% | 51% | 50% |
| DYS 18 | 51% | 50% | 51% | 75% | 52% | 50% | 50% |
| DYS 19 | 50% | 50% | 51% | 82% | 51% | 50% | 50% |
| DYS 20 | 52% | 52% | 51% | 68% | 51% | 51% | 52% |
| DYS 21 | 50% | 50% | 51% | 75% | 52% | 50% | 50% |
| DYS 22 | 50% | 50% | 50% | 68% | 52% | 51% | 51% |
| DYS 23 | 50% | 50% | 52% | 55% | 63% | 50% | 51% |

| | M-60 | M-40 | M-20 | M0 | M20 | M40 | M60 |
|-------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| NL 1 | 50% | 58% | 53% | 60% | 63% | 50% | 50% |
| NL 2 | 48% | 53% | 65% | 48% | 50% | 50% | 50% |
| NL 3 | 50% | 50% | 50% | 80% | 55% | 55% | 58% |
| NL 4 | 45% | 53% | 50% | 50% | 60% | 63% | 68% |
| NL 5 | 53% | 53% | 50% | 60% | 50% | 50% | 50% |
| NL 6 | 50% | 55% | 48% | 68% | 55% | 53% | 48% |
| NL 7 | 45% | 58% | 70% | 58% | 55% | 43% | 43% |
| NL 8 | 50% | 50% | 55% | 70% | 58% | 50% | 50% |
| NL 9 | 50% | 58% | 53% | 98% | 63% | 50% | 50% |
| NL 10 | 50% | 48% | 50% | 60% | 68% | 58% | 50% |
| NL 11 | 50% | 50% | 50% | 98% | 53% | 50% | 50% |
| NL 12 | 53% | 45% | 43% | 65% | 58% | 40% | 38% |
| NL 13 | 50% | 48% | 50% | 78% | 68% | 63% | 63% |
| NL 14 | 50% | 50% | 50% | 95% | 55% | 50% | 45% |
| NL 15 | 63% | 58% | 53% | 70% | 53% | 50% | 53% |
| NL 16 | 50% | 48% | 53% | 93% | 55% | 50% | 53% |
| NL 17 | 50% | 50% | 50% | 68% | 53% | 50% | 50% |
| NL 18 | 58% | 50% | 53% | 58% | 55% | 55% | 53% |
| NL 19 | 50% | 50% | 50% | 48% | 40% | 48% | 50% |
| NL 20 | 50% | 50% | 53% | 58% | 53% | 53% | 50% |
| NL 21 | 53% | 50% | 50% | 63% | 83% | 53% | 48% |
| NL 22 | 50% | 50% | 50% | 70% | 60% | 50% | 50% |
| NL 23 | 50% | 50% | 50% | 75% | 50% | 50% | 50% |
| NL 24 | 53% | 50% | 50% | 75% | 53% | 50% | 53% |
| NL 25 | 48% | 50% | 55% | 83% | 53% | 53% | 53% |
| NL 26 | 50% | 50% | 55% | 68% | 65% | 55% | 55% |
| NL 27 | 50% | 50% | 50% | 60% | 65% | 50% | 50% |
| NL 28 | 53% | 50% | 55% | 73% | 60% | 58% | 40% |
| NL 29 | 53% | 48% | 48% | 53% | 73% | 53% | 48% |
| NL 30 | 45% | 50% | 45% | 65% | 75% | 55% | 50% |
| NL 31 | 50% | 45% | 48% | 70% | 73% | 60% | 48% |
| NL 32 | 53% | 53% | 53% | 53% | 60% | 60% | 70% |
| NL 33 | 50% | 50% | 53% | 73% | 73% | 60% | 43% |
| NL 34 | 48% | 48% | 55% | 55% | 55% | 58% | 53% |
| NL 35 | 58% | 50% | 45% | 68% | 50% | 45% | 45% |

| | M-60 | M-40 | M-20 | M0 | M20 | M40 | M60 |
|---------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| DYS 1 | 48% | 45% | 48% | 73% | 38% | 55% | 50% |
| DYS 2 | 48% | 55% | 50% | 73% | 45% | 48% | 50% |
| DYS 3 | 50% | 50% | 50% | 63% | 68% | 48% | 48% |
| DYS 4 | 50% | 50% | 50% | 50% | 68% | 60% | 53% |
| DYS 5 | 53% | 53% | 50% | 60% | 58% | 50% | 53% |
| DYS 6 | 50% | 50% | 53% | 95% | 60% | 55% | 55% |
| DYS 7 | 50% | 50% | 50% | 65% | 53% | 50% | 50% |
| DYS 8 | 45% | 40% | 45% | 58% | 60% | 48% | 50% |
| DYS 9 | 48% | 53% | 60% | 55% | 60% | 60% | 55% |
| DYS 10 | 50% | 53% | 43% | 70% | 60% | 53% | 50% |
| DYS 11 | 60% | 50% | 45% | 53% | 68% | 53% | 55% |
| DYS 12 | 48% | 38% | 50% | 60% | 65% | 70% | 50% |
| DYS 13 | 53% | 48% | 43% | 58% | 65% | 50% | 53% |
| DYS 14 | 50% | 50% | 53% | 65% | 58% | 50% | 50% |
| DYS 15 | 48% | 50% | 50% | 55% | 55% | 53% | 50% |
| DYS 16 | 50% | 53% | 45% | 50% | 55% | 48% | 50% |
| DYS 17 | 50% | 53% | 55% | 58% | 60% | 53% | 50% |
| DYS 18 | 55% | 63% | 48% | 48% | 50% | 65% | 48% |
| DYS 19 | 50% | 50% | 50% | 65% | 53% | 50% | 50% |
| DYS 20 | 40% | 53% | 55% | 60% | 58% | 45% | 48% |
| DYS 21 | 45% | 60% | 63% | 65% | 63% | 58% | 50% |
| DYS 22 | 50% | 50% | 50% | 68% | 50% | 50% | 50% |
| DYS 23 | 53% | 48% | 50% | 63% | 55% | 48% | 50% |

| | intra | inter | EFPh |
|-------|-------|-------|------|
| NL 1 | 54% | 60% | 6% |
| NL 2 | 53% | 48% | -5% |
| 3 | 53% | 80% | 27% |
| NL 4 | 55% | 60% | 5% |
| NL 5 | 51% | 60% | 9% |
| NL 6 | 51% | 68% | 16% |
| NL 7 | 53% | 55% | 3% |
| NL 8 | 54% | 58% | 3% |
| NL 9 | 54% | 98% | 44% |
| NL 10 | 53% | 68% | 15% |
| NL 11 | 50% | 98% | 47% |
| NL 12 | 46% | 65% | 19% |
| NL 13 | 57% | 78% | 21% |
| NL 14 | 50% | 95% | 45% |
| NL 15 | 55% | 70% | 15% |
| NL 16 | 51% | 93% | 41% |
| NL 17 | 50% | 68% | 17% |
| NL 18 | 54% | 58% | 4% |
| NL 19 | 48% | 48% | 0% |
| NL 20 | 51% | 58% | 6% |
| NL 21 | 53% | 83% | 30% |
| NL 22 | 53% | 60% | 7% |
| NL 23 | 50% | 75% | 25% |
| NL 24 | 51% | 75% | 24% |
| NL 25 | 52% | 83% | 31% |
| NL 26 | 55% | 68% | 13% |
| NL 27 | 53% | 60% | 8% |
| NL 28 | 55% | 60% | 5% |
| NL 29 | 53% | 53% | -1% |
| NL 30 | 52% | 65% | 13% |
| NL 31 | 53% | 70% | 17% |
| NL 32 | 58% | 53% | -5% |
| NL 33 | 55% | 73% | 18% |
| NL 34 | 53% | 55% | 3% |
| NL 35 | 52% | 50% | -2% |

| | intra | inter | EFPh |
|--------|-------|-------|------|
| DYS 1 | 47% | 73% | 25% |
| DYS 2 | 49% | 73% | 23% |
| DYS 3 | 51% | 68% | 16% |
| DYS 4 | 55% | 50% | -5% |
| DYS 5 | 53% | 60% | 8% |
| DYS 6 | 54% | 95% | 41% |
| DYS 7 | 50% | 65% | 15% |
| DYS 8 | 48% | 58% | 10% |
| DYS 9 | 56% | 55% | -1% |
| DYS 10 | 51% | 70% | 19% |
| DYS 11 | 55% | 53% | -2% |
| DYS 12 | 53% | 60% | 7% |
| DYS 13 | 52% | 58% | 6% |
| DYS 14 | 52% | 65% | 13% |
| DYS 15 | 51% | 55% | 4% |
| DYS 16 | 50% | 50% | 0% |
| DYS 17 | 53% | 60% | 7% |
| DYS 18 | 55% | 48% | -7% |
| DYS 19 | 50% | 65% | 15% |
| DYS 20 | 50% | 60% | 10% |
| DYS 21 | 56% | 65% | 9% |
| DYS 22 | 50% | 68% | 18% |
| DYS 23 | 50% | 63% | 12% |

| Sujet | Groupe | FNOburst1 | FNOburst2 | FNOburst3 | FNOburst4 | FNOburst5 | FNOburst6 | FNOburst7 | FNOburst8 | FNOburst9 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sujet 1 | Ordre 1 | 50% | 82% | 51% | 51% | 58% | 58% | 84% | 55% | 51% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 50% | 96% | 58% | 58% | 55% | 68% | 60% | 75% | 50% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 100% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 82% | 52% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 50% | 91% | 51% | 51% | 96% | 51% | 51% | 75% | 52% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 72% | 56% | 50% | 50% | 50% | 100% | 76% | 68% | 50% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 51% | 91% | 50% | 51% | 68% | 55% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 63% | 52% | 51% | 50% | 63% | 63% | 70% | 69% | 51% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 51% | 100% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 100% | 51% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 51% | 91% | 51% | 51% | 51% | 58% | 54% | 69% | 51% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 50% | 88% | 51% | 50% | 60% | 52% | 64% | 54% | 50% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 51% | 91% | 51% | 51% | 60% | 60% | 91% | 51% | 51% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 51% | 79% | 54% | 50% | 60% | 60% | 68% | 56% | 51% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 100% | 52% | 51% | 79% | 52% | 57% | 66% | 50% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 100% | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 50% | 85% | 51% | 51% | 88% | 50% | 50% | 63% | 63% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 79% | 51% | 54% | 72% | 72% | 51% | 63% | 63% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 68% | 75% | 52% | 50% | 52% | 63% | 51% | 55% | 60% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 51% | 87% | 51% | 50% | 75% | 51% | 52% | 91% | 50% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 52% | 70% | 51% | 50% | 51% | 58% | 57% | 57% | 54% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 52% | 82% | 50% | 50% | 52% | 82% | 64% | 64% | 50% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 51% | 82% | 50% | 50% | 75% | 55% | 51% | 96% | 51% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 51% | 51% | 51% | 54% | 58% | 60% | 70% | 56% | 50% |

| Sujet | Groupe | FNOburst1 | FNOburst2 | FNOburst3 | FNOburst4 | FNOburst5 | FNOburst6 | FNOburst7 | FNOburst8 | FNOburst9 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sujet 1 | Ordre 1 | 54% | 92% | 63% | 54% | 83% | 54% | 38% | 75% | 54% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 54% | 92% | 58% | 54% | 67% | 79% | 92% | 88% | 50% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 71% | 50% | 50% | 96% | 50% | 50% | 96% | 46% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 50% | 83% | 54% | 54% | 96% | 58% | 54% | 100% | 50% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 50% | 50% | 71% | 50% | 50% | 75% | 92% | 63% | 46% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 63% | 79% | 50% | 50% | 54% | 63% | 54% | 100% | 50% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 63% | 54% | 54% | 50% | 67% | 83% | 75% | 75% | 58% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 58% | 92% | 42% | 54% | 83% | 58% | 54% | 92% | 54% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 63% | 83% | 50% | 58% | 58% | 54% | 58% | 67% | 54% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 58% | 71% | 50% | 42% | 50% | 63% | 67% | 50% | 46% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 63% | 63% | 67% | 50% | 54% | 50% | 54% | 58% | 46% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 38% | 38% | 67% | 54% | 50% | 58% | 67% | 58% | 42% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 46% | 63% | 58% | 58% | 75% | 50% | 50% | 46% | 46% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 100% | 63% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 100% | 54% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 50% | 100% | 50% | 50% | 96% | 54% | 67% | 96% | 67% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 50% | 54% | 58% | 50% | 58% | 50% | 75% | 71% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 79% | 88% | 50% | 46% | 42% | 33% | 58% | 83% | 58% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 96% | 50% | 50% | 88% | 50% | 63% | 100% | 50% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 63% | 38% | 46% | 50% | 50% | 50% | 50% | 58% | 50% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 50% | 71% | 46% | 50% | 71% | 75% | 79% | 71% | 58% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 54% | 88% | 54% | 50% | 63% | 54% | 46% | 88% | 50% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 58% | 50% | 63% | 54% | 50% | 58% | 50% | 46% | 50% |

| réponse /be/ avec burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 1 | 1 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 9 | 9 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 8 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 10 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 8 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 9 | 10 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 10 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 7 | 10 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 9 | 10 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 9 | 10 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 8 | 10 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 | 10 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 10 | 10 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | 10 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 10 | 10 | 2 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 10 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 10 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 10 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 9 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 7 | 6 | 7 | 6 | 4 | 4 | 1 | 3 | 7 |

| réponse /de/ avec burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 9 | 10 | 9 | 5 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 9 | 5 | 9 | 6 | 0 | 3 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 1 | 1 | 10 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 1 | 10 | 10 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 2 | 7 | 9 | 10 | 10 | 5 | 0 | 5 | 1 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 1 | 0 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 1 | 0 | 9 | 10 | 9 | 10 | 6 | 4 | 0 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 0 | 6 | 7 | 7 | 2 | 4 | 2 | 0 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 0 | 0 | 9 | 10 | 9 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 5 | 2 | 0 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 10 | 8 | 9 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 0 | 8 | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 10 | 3 | 5 | 0 | 0 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 8 | 3 | 2 | 2 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 0 | 2 | 9 | 10 | 10 | 9 | 5 | 2 | 1 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 | 8 | 0 | 2 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 1 | 2 | 10 | 10 | 10 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 6 | 2 | 0 | 5 | 3 |

| réponse /ge/ avec burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 9 | 0 | 0 | | |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 4 | 10 | 5 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 2 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 9 | 2 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 3 | 0 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 6 | 5 | 1 | 0 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 9 | 0 | 0 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 8 | 3 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 9 | 5 | 0 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 7 | 8 | 7 | 0 | 7 | 5 | 5 | 0 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 1 | 7 | 2 | 0 | 0 | 2 | 7 | 7 | 4 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 4 | 1 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 4 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 9 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 9 | 2 | 0 |

| réponse /be/ sans burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 10 | 8 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 7 | 4 | 1 | 3 | 6 | 3 | 1 | 2 | 8 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 10 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 9 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 10 | 10 | 9 | 0 | 1 | 3 | 1 | 7 | 10 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 8 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 10 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 10 | 10 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 8 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 8 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 10 | 6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 8 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 10 | 10 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 8 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 8 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 10 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 10 | 3 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 3 | 6 |

| réponse /de/ sans burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 2 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 7 | 7 | 4 | 8 | 0 | 3 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 2 | 8 | 10 | 9 | 5 | 0 | 1 | 1 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 1 | 6 | 6 | 10 | 10 | 9 | 0 | 1 | 1 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 7 | 1 | 0 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 4 | 9 | 10 | 10 | 10 | 4 | 0 | 6 | 3 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 2 | 5 | 6 | 6 | 4 | 6 | 6 | 4 | 2 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 1 | 5 | 8 | 8 | 6 | 5 | 1 | 0 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 8 | 9 | 5 | 0 | 2 | 0 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 2 | 0 | 5 | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 3 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 3 | 5 | 5 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 10 | 7 | 8 | 0 | 0 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 0 | 1 | 6 | 9 | 8 | 2 | 0 | 0 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 8 | 10 | 8 | 7 | 2 | 0 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 0 | 3 | 5 | 10 | 10 | 8 | 5 | 3 | 2 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 3 | 0 | 2 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 3 | 10 | 10 | 9 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 0 | 6 | 0 | 7 | 8 | 7 | 0 | 4 | 4 |

| réponse /ge/ sans burst | | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO | FNO |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 6 | 2 | 10 | 5 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 | 10 | 9 | 1 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 10 | 6 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 9 | 10 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 4 | 0 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 3 | 4 | 0 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 0 | 4 | 2 | 2 | 4 | 5 | 4 | 1 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 9 | 1 | 0 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 5 | 5 | 2 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 8 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 0 | 5 | 5 | 7 | 10 | 10 | 8 | 2 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 2 | 0 | 8 | 8 | 0 | 2 | 0 | 7 | 2 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 4 | 8 | 4 | 1 | 1 | 7 | 7 | 2 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 8 | 8 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 0 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 7 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 0 | 1 | 9 | 3 | 1 | 1 | 10 | 3 | 0 |

| Sujet | Groupe | FNOSansB1 | FNOSansB2 | FNOSansB3 | FNOSansB4 | FNOSansB5 | FNOSansB6 | FNOSansB7 | FNOSansB8 | FNOSansB9 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sujet 1 | Ordre 1 | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% | 63% | 60% | 60% | 50% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 50% | 90% | 50% | 55% | 58% | 82% | 60% | 75% | 50% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 100% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 52% | 72% | 52% | 51% | 57% | 66% | 51% | 82% | 52% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 63% | 58% | 58% | 50% | 51% | 91% | 57% | 68% | 50% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 50% | 92% | 52% | 50% | 55% | 68% | 51% | 100% | 50% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 63% | 51% | 50% | 50% | 68% | 58% | 68% | 69% | 51% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 50% | 100% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 55% | 54% | 52% | 54% | 54% | 52% | 52% | 64% | 51% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 51% | 74% | 54% | 50% | 52% | 51% | 61% | 57% | 51% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 50% | 51% | 84% | 52% | 56% | 70% | 76% | 54% | 50% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 51% | 68% | 56% | 50% | 56% | 51% | 56% | 60% | 51% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 56% | 63% | 51% | 85% | 50% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 72% | 56% | 50% | 50% | 72% | 56% | 51% | 85% | 50% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 56% | 68% | 50% | 51% | 56% | 50% | 51% | 79% | 51% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 51% | 93% | 50% | 85% | 54% | 51% | 79% | 63% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 58% | 61% | 61% | 55% | 51% | 68% | 52% | 63% | 52% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 93% | 51% | 51% | 54% | 63% | 51% | 85% | 50% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 54% | 54% | 60% | 50% | 51% | 56% | 51% | 60% | 51% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 50% | 100% | 50% | 50% | 72% | 56% | 54% | 79% | 50% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 55% | 75% | 50% | 51% | 54% | 75% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 72% | 76% | 72% | 52% | 51% | 84% | 69% | 55% | 58% |

| Sujet | Groupe | FNOSansB1 | FNOSansB2 | FNOSansB3 | FNOSansB4 | FNOSansB5 | FNOSansB6 | FNOSansB7 | FNOSansB8 | FNOSansB9 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sujet 1 | Ordre 1 | 54% | 96% | 54% | 50% | 54% | 54% | 50% | 83% | 50% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 54% | 71% | 42% | 46% | 67% | 67% | 58% | 79% | 51% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 75% | 50% | 50% | 75% | 54% | 50% | 92% | 53% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 67% | 96% | 58% | 42% | 63% | 67% | 29% | 79% | 53% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 58% | 58% | 67% | 50% | 58% | 88% | 58% | 71% | 46% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 63% | 75% | 54% | 46% | 50% | 83% | 54% | 100% | 50% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 50% | 46% | 46% | 46% | 46% | 63% | 67% | 46% | 42% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 50% | 100% | 54% | 54% | 88% | 63% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 54% | 71% | 46% | 54% | 54% | 67% | 54% | 88% | 50% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 58% | 54% | 54% | 54% | 50% | 50% | 58% | 46% | 67% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 54% | 71% | 63% | 50% | 46% | 50% | 58% | 58% | 54% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 58% | 54% | 54% | 50% | 42% | 46% | 50% | 46% | 54% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 58% | 42% | 46% | 46% | 46% | 54% | 67% | 50% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 92% | 54% | 50% | 50% | 54% | 71% | 46% | 79% | 61% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 50% | 83% | 58% | 50% | 75% | 58% | 50% | 75% | 61% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 58% | 71% | 58% | 58% | 54% | 71% | 46% | 46% | 71% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 58% | 71% | 67% | 58% | 58% | 54% | 63% | 50% | 46% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 92% | 50% | 50% | 67% | 79% | 67% | 79% | 66% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 63% | 50% | 54% | 54% | 50% | 50% | 67% | 83% | 58% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 63% | 46% | 46% | 46% | 63% | 58% | 50% | 75% | 58% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 63% | 92% | 50% | 50% | 63% | 58% | 58% | 96% | 63% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 50% | 42% | 67% | 54% | 54% | 46% | 58% | 33% | 42% |

| réponse /be/ avec burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 | Burst10 | Burst11 | Burst12 | Burst13 | Burst14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 6 | 10 | 10 | 10 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 8 | 10 | 10 | 10 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 9 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 6 | 6 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 5 | 7 | 10 | 10 | 10 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 9 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 10 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 1 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 2 | 2 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 7 | 9 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 4 | 3 | 5 | 5 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 9 | 10 | 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 1 | 0 | 0 | 5 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 1 | 1 | 4 | 7 | 4 | 9 | 7 | 9 | 9 | 9 | 5 | 0 | 0 | 1 |

| réponse /de/ avec burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 | Burst10 | Burst11 | Burst12 | Burst13 | Burst14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 8 | 10 | 9 | 10 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 9 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 7 | 5 | 9 | 8 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 9 | 10 | 10 | 9 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 10 | 10 | 8 | 9 | 3 | 3 | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 3 | 10 | 10 | 2 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 4 | 10 | 10 | 8 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 2 | 10 | 10 | 9 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 10 | 10 | 10 | 8 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 5 | 4 | 9 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 4 | 3 | 8 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 5 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 4 | 8 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 3 | 10 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 0 | 2 | 7 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 8 | 10 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 7 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 5 | 8 | 8 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 5 | 8 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 10 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 10 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 10 | 10 | 10 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 6 | 8 | 9 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 5 | 4 | 4 | 8 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 5 | 10 | 10 | 9 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 9 | 10 | 10 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 5 | 9 | 6 | 2 | 6 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| réponse /ge/ avec burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 | Burst10 | Burst11 | Burst12 | Burst13 | Burst14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 3 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 2 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 3 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 10 | 10 | 8 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 9 | 10 | 5 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 9 | |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 9 | 10 | 10 | 2 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 6 | 1 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 6 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 7 | 9 | 5 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 6 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | 9 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 5 | 10 | 8 | 3 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 2 | 7 | 10 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 7 | 5 | 2 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 1 | 9 | 10 | 9 | 3 | 3 | 1 | 2 | 9 | 7 | 10 | 5 | 0 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 10 | 4 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 4 | 1 | 1 | 3 | 6 | 6 | 7 | 5 | 4 | 2 | 4 | 6 | 5 | 2 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | 6 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 7 | 10 | 9 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 10 | 10 | 9 |

| Sujet | Groupe | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 | Burst10 | Burst11 | Burst12 | Burst13 | Burst14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 52% | 51% | 51% | 51% | 63% | 58% | 50% | 50% | 51% | 81% | 68% | 50% | 96% | 52% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 52% | 58% | 52% | 51% | 66% | 52% | 50% | 50% | 51% | 96% | 50% | 50% | 82% | 51% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 51% | 50% | 51% | 58% | 58% | 51% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 50% | 52% | 75% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 50% | 52% | 51% | 64% | 55% | 50% | 54% | 56% | 88% | 50% | 50% | 50% | 75% | 55% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 72% | 50% | 85% | 56% | 51% | 56% | 50% | 50% | 60% | 60% | 51% | 50% | 51% | 51% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 68% | 50% | 52% | 54% | 61% | 52% | 50% | 50% | 91% | 51% | 51% | 51% | 63% | 51% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 82% | 50% | 51% | 55% | 51% | 52% | 51% | 51% | 50% | 58% | 61% | 51% | 50% | 51% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 50% | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 51% | 51% | 100% | 51% | 51% | 50% | 82% | 52% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 50% | 50% | 52% | 63% | 52% | 51% | 50% | 50% | 50% | 90% | 52% | 51% | 63% | 51% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 51% | 61% | 57% | 61% | 50% | 51% | 50% | 50% | 50% | 76% | 52% | 52% | 58% | 51% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 61% | 51% | 60% | 64% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 68% | 58% | 50% | 51% | 57% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 72% | 51% | 85% | 54% | 51% | 50% | 50% | 51% | 54% | 68% | 63% | 51% | 63% | 56% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 52% | 55% | 69% | 55% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 92% | 52% | 50% | 79% | 51% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 72% | 56% | 50% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 60% | 50% | 63% | 51% | 54% | 50% | 50% | 72% | 56% | 50% | 50% | 50% | 63% | 50% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 63% | 56% | 51% | 72% | 51% | 50% | 50% | 50% | 63% | 63% | 51% | 51% | 56% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 51% | 82% | 51% | 51% | 68% | 50% | 52% | 51% | 75% | 54% | 55% | 63% | 63% | 50% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 50% | 68% | 54% | 52% | 50% | 50% | 50% | 55% | 75% | 50% | 50% | 68% | 58% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 54% | 51% | 56% | 54% | 55% | 51% | 52% | 51% | 52% | 60% | 52% | 51% | 57% | 52% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 63% | 50% | 51% | 52% | 68% | 51% | 50% | 50% | 63% | 63% | 50% | 50% | 58% | 51% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 51% | 50% | 63% | 58% | 51% | 50% | 50% | 50% | 63% | 56% | 54% | 51% | 96% | 51% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 58% | 55% | 57% | 57% | 63% | 52% | 52% | 50% | 51% | 57% | 66% | 50% | 51% | 63% |

| Sujet | Groupe | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Burst1 | Burst2 | Burst3 | Burst4 | Burst5 | Burst6 | Burst7 | Burst8 | Burst9 | Burst10 | Burst11 | Burst12 | Burst13 | Burst14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 50% | 50% | 50% | 51% | 72% | 55% | 50% | 50% | 50% | 76% | 76% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 63% | 51% | 51% | 51% | 92% | 50% | 51% | 50% | 51% | 100% | 50% | 52% | 58% | 55% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 51% | 51% | 66% | 75% | 50% | 50% | 50% | 50% | 63% | 63% | 50% | 50% | 100% | 51% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 51% | 52% | 51% | 61% | 57% | 52% | 52% | 51% | 75% | 52% | 51% | 51% | 68% | 55% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 51% | 50% | 84% | 79% | 79% | 51% | 50% | 52% | 52% | 57% | 57% | 50% | 100% | 51% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 50% | 51% | 68% | 55% | 54% | 70% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 50% | 75% | 55% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 91% | 50% | 50% | 52% | 51% | 58% | 58% | 50% | 51% | 82% | 52% | 50% | 51% | 50% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 51% | 50% | 50% | 50% | 91% | 51% | 50% | 79% | 54% | 50% | 50% | 50% | 100% | 51% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 51% | 52% | 50% | 56% | 54% | 61% | 51% | 51% | 55% | 56% | 63% | 57% | 51% | 52% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 52% | 52% | 74% | 51% | 51% | 52% | 51% | 51% | 50% | 75% | 56% | 51% | 55% | 51% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 61% | 51% | 76% | 52% | 52% | 50% | 50% | 50% | 50% | 58% | 68% | 51% | 51% | 55% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 51% | 51% | 72% | 56% | 51% | 54% | 51% | 51% | 50% | 76% | 68% | 63% | 51% | 51% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 56% | 60% | 50% | 51% | 51% | 50% | 50% | 56% | 72% | 50% | 50% | 72% | 56% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 50% | 50% | 50% | 51% | 51% | 100% | 50% | 50% | 56% | 72% | 50% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 56% | 51% | 51% | 54% | 51% | 60% | 50% | 50% | 63% | 63% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 68% | 56% | 51% | 50% | 63% | 63% | 50% | 51% | 56% | 68% | 50% | 50% | 63% | 51% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 55% | 57% | 51% | 50% | 63% | 55% | 50% | 52% | 55% | 57% | 52% | 50% | 58% | 52% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 54% | 60% | 56% | 50% | 50% | 51% | 51% | 63% | 63% | 50% | 50% | 85% | 51% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 56% | 54% | 56% | 51% | 63% | 56% | 51% | 60% | 56% | 63% | 51% | 51% | 51% | 56% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 51% | 51% | 79% | 51% | 79% | 50% | 50% | 50% | 50% | 100% | 50% | 50% | 85% | 50% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 50% | 52% | 61% | 58% | 50% | 50% | 50% | 50% | 52% | 82% | 50% | 50% | 100% | 50% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 51% | 72% | 50% | 51% | 60% | 55% | 61% | 52% | 51% | 54% | 82% | 50% | 75% | 50% |

| Sujet | Groupe | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 | SansB10 | SansB11 | SansB12 | SansB13 | SansB14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 50% | 46% | 46% | 50% | 71% | 71% | 50% | 50% | 50% | 88% | 67% | 50% | 58% | 50% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 50% | 71% | 63% | 50% | 58% | 54% | 50% | 46% | 42% | 71% | 75% | 58% | 46% | 46% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 54% | 71% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 54% | 71% | 50% | 50% | 83% | 50% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 54% | 54% | 54% | 46% | 67% | 54% | 50% | 46% | 75% | 67% | 46% | 46% | 67% | 50% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 63% | 50% | 58% | 63% | 58% | 46% | 46% | 46% | 46% | 50% | 75% | 50% | 83% | 50% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 54% | 54% | 54% | 50% | 46% | 50% | 46% | 46% | 54% | 63% | 50% | 58% | 79% | 54% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 58% | 50% | 54% | 67% | 46% | 58% | 54% | 54% | 50% | 54% | 63% | 54% | 54% | 33% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 54% | 50% | 54% | 46% | 67% | 67% | 54% | 83% | 58% | 42% | 42% | 42% | 83% | 46% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 67% | 71% | 71% | 58% | 63% | 46% | 67% | 71% | 42% | 58% | 75% | 54% | 75% | 71% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 46% | 58% | 42% | 58% | 54% | 42% | 46% | 54% | 50% | 54% | 42% | 58% | 63% | 42% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 54% | 50% | 54% | 50% | 63% | 54% | 50% | 50% | 50% | 54% | 50% | 50% | 54% | 54% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 58% | 58% | 67% | 29% | 46% | 63% | 42% | 46% | 71% | 42% | 67% | 50% | 33% | 46% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 75% | 58% | 42% | 46% | 54% | 46% | 54% | 46% | 58% | 46% | 63% | 71% | 50% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 54% | 50% | 50% | 54% | 46% | 96% | 50% | 46% | 42% | 79% | 54% | 63% | 96% | 46% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 58% | 50% | 58% | 50% | 54% | 50% | 54% | 54% | 54% | 67% | 67% | 54% | 54% | 54% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 54% | 63% | 58% | 63% | 50% | 58% | 50% | 42% | 46% | 42% | 42% | 58% | 50% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 58% | 50% | 38% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 54% | 63% | 58% | 50% | 58% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 46% | 54% | 54% | 58% | 50% | 50% | 50% | 50% | 75% | 54% | 50% | 75% | 42% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 42% | 50% | 67% | 54% | 50% | 58% | 42% | 46% | 54% | 54% | 58% | 42% | 54% | 50% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 50% | 50% | 54% | 42% | 38% | 54% | 54% | 50% | 58% | 67% | 67% | 54% | 63% | 46% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 46% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 50% | 50% | 58% | 79% | 50% | 42% | 79% | 58% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 46% | 63% | 42% | 54% | 42% | 50% | 46% | 50% | 50% | 58% | 58% | 50% | 50% | 46% |

| Sujet | Groupe | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 | SansB10 | SansB11 | SansB12 | SansB13 | SansB14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 50% | 46% | 46% | 50% | 71% | 71% | 50% | 50% | 50% | 88% | 67% | 50% | 58% | 50% |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 50% | 71% | 63% | 50% | 58% | 54% | 50% | 46% | 42% | 71% | 75% | 58% | 46% | 46% |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 50% | 54% | 71% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 54% | 71% | 50% | 50% | 83% | 50% |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 54% | 54% | 54% | 46% | 67% | 54% | 50% | 46% | 75% | 67% | 46% | 46% | 67% | 50% |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 63% | 50% | 58% | 63% | 58% | 46% | 46% | 46% | 46% | 50% | 75% | 50% | 83% | 50% |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 54% | 54% | 54% | 50% | 46% | 50% | 46% | 46% | 54% | 63% | 50% | 58% | 79% | 54% |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 58% | 50% | 54% | 67% | 46% | 58% | 54% | 54% | 50% | 54% | 63% | 54% | 54% | 33% |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 54% | 50% | 54% | 46% | 67% | 67% | 54% | 83% | 58% | 42% | 42% | 42% | 83% | 46% |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 67% | 71% | 71% | 58% | 63% | 46% | 67% | 71% | 42% | 58% | 75% | 54% | 75% | 71% |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 46% | 58% | 42% | 58% | 54% | 42% | 46% | 54% | 50% | 54% | 42% | 58% | 63% | 42% |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 54% | 50% | 54% | 50% | 63% | 54% | 50% | 50% | 50% | 54% | 50% | 50% | 54% | 54% |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 58% | 58% | 67% | 29% | 46% | 63% | 42% | 46% | 71% | 42% | 67% | 50% | 33% | 46% |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 50% | 75% | 58% | 42% | 46% | 54% | 46% | 54% | 46% | 58% | 46% | 63% | 71% | 50% |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 54% | 50% | 50% | 54% | 46% | 96% | 50% | 46% | 42% | 79% | 54% | 63% | 96% | 46% |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 58% | 50% | 58% | 50% | 54% | 50% | 54% | 54% | 54% | 67% | 67% | 54% | 54% | 54% |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 54% | 63% | 58% | 63% | 50% | 58% | 50% | 42% | 46% | 42% | 42% | 58% | 50% | 50% |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 58% | 50% | 38% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 54% | 63% | 58% | 50% | 58% |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 50% | 46% | 54% | 54% | 58% | 50% | 50% | 50% | 50% | 75% | 54% | 50% | 75% | 42% |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 42% | 50% | 67% | 54% | 50% | 58% | 42% | 46% | 54% | 54% | 58% | 42% | 54% | 50% |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 50% | 50% | 54% | 42% | 38% | 54% | 54% | 50% | 58% | 67% | 67% | 54% | 63% | 46% |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 46% | 54% | 54% | 54% | 54% | 54% | 50% | 50% | 58% | 79% | 50% | 42% | 79% | 58% |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 46% | 63% | 42% | 54% | 42% | 50% | 46% | 50% | 50% | 58% | 58% | 50% | 50% | 46% |

| réponse /be/ sans burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 | SansB10 | SansB11 | SansB12 | SansB13 | SansB14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 10 | 9 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 | 10 | 8 | 10 | 9 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 2 | 9 | 10 | 10 | 8 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 6 | 10 | 10 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 1 | 4 | 9 | 8 | 8 | 5 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 0 | 1 | 0 | 8 | 7 | 8 | 10 | 9 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 1 | 0 | 1 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 2 | 0 | 0 | 7 | 10 | 8 | 7 | 8 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 3 | 7 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 10 | 10 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 10 | 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 8 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 7 | 10 | 10 | 8 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 7 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 8 | 5 | 3 | 5 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 0 | 1 | 6 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 10 | 8 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 |

| réponse /de/ sans burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 | SansB10 | SansB11 | SansB12 | SansB13 | SansB14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 3 | 8 | 7 | 7 | 8 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 9 | 10 | 9 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 9 | 10 | 8 | 7 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 9 | 9 | 9 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 10 | 10 | 9 | 3 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 1 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 6 | 5 | 4 | 4 | 6 | 5 | 1 | 1 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 4 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 6 | 7 | 6 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 5 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 4 | 9 | 9 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 7 | 8 | 10 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 | 7 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 10 | 10 | 7 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 0 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 10 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 3 | 3 | 3 | 8 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 | 9 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 10 | 10 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 10 | 7 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 3 | 5 | 7 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 8 | 10 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 10 | 10 | 8 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 7 | 6 | 0 | 0 | 1 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 7 |

| réponse /ge/ sans burst | | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE | FNE |
|-------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sujet | Groupe | SansB1 | SansB2 | SansB3 | SansB4 | SansB5 | SansB6 | SansB7 | SansB8 | SansB9 | SansB10 | SansB11 | SansB12 | SansB13 | SansB14 |
| Sujet 1 | Ordre 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 2 | Ordre 1 | 7 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 8 | 4 |
| Sujet 3 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 4 | Ordre 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 10 | 9 | 10 | 4 |
| Sujet 5 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 6 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 6 | Ordre 1 | 0 | 0 | 1 | 7 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 10 | 3 |
| Sujet 7 | Ordre 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 10 | 10 | 9 |
| Sujet 8 | Ordre 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 9 | Ordre 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 7 | 3 | 3 |
| Sujet 10 | Ordre 1 | 4 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 9 | 8 | 5 |
| Sujet 11 | Ordre 1 | 5 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 | 9 | 8 |
| Sujet 12 | Ordre 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 5 | 3 |
| Sujet 13 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 10 | 3 |
| Sujet 14 | Ordre 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 15 | Ordre 2 | 10 | 7 | 8 | 7 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Sujet 16 | Ordre 2 | 0 | 5 | 8 | 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 | 7 | 2 |
| Sujet 17 | Ordre 2 | 3 | 6 | 9 | 8 | 8 | 3 | 0 | 0 | 2 | 5 | 6 | 5 | 5 | 1 |
| Sujet 18 | Ordre 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | 2 |
| Sujet 19 | Ordre 2 | 0 | 3 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 7 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| Sujet 20 | Ordre 2 | 2 | 0 | 2 | 8 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 | 10 | 2 |
| Sujet 21 | Ordre 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 10 | 10 | 0 |
| Sujet 22 | Ordre 2 | 3 | 3 | 10 | 10 | 9 | 4 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 10 | 10 | 3 |

| | fno1 | fno2 | fno3 | fno4 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| prétest (AE) | 50% | 60% | 90% | 90% |
| E1(AE) | 10% | 0% | 100% | 80% |
| E2 (AE) | 0% | 30% | 100% | 100% |
| E3 (AE) | 10% | 10% | 90% | 70% |
| E4 (AE) | 0% | 30% | 100% | 90% |
| E5 (AE) | 0% | 0% | 90% | 90% |
| post test 1 | 10% | 80% | 100% | 90% |
| post test 2 | 50% | 60% | 60% | 80% |
| prétest (CE) | 30% | 60% | 80% | 100% |
| E1 (CE) | 40% | 40% | 70% | 90% |
| E2 (CE) | 60% | 30% | 60% | 60% |
| E3 (CE) | 30% | 70% | 80% | 70% |
| E4 (CE) | 30% | 30% | 90% | 80% |
| E5 (CE) | 30% | 20% | 90% | 90% |
| post test 1 (CE) | 40% | 70% | 80% | 100% |
| post test 2 (CE) | 30% | 70% | 90% | 100% |
| prétest (ZE) | 80% | 90% | 90% | 60% |
| E1 (ZE) | 60% | 40% | 60% | 50% |
| E2 (ZE) | 60% | 60% | 40% | 50% |
| E3 (ZE) | 40% | 80% | 90% | 80% |
| E4 (ZE) | 0% | 40% | 80% | 90% |
| E5 (ZE) | 70% | 60% | 70% | 50% |
| post test 1 (ZE) | 40% | 40% | 50% | 50% |
| post test 2 (ZE) | 40% | 50% | 80% | 70% |
| prétest (JE) | 40% | 80% | 70% | 40% |
| E1 (JE) | 10% | 40% | 70% | 70% |
| E2 (JE) | 30% | 30% | 70% | 30% |
| E3 (JE) | 0% | 20% | 80% | 100% |
| E4 (JE) | | | | |
| E5 (JE) | 20% | 10% | 80% | 60% |
| post test 1 (JE) | 20% | 80% | 70% | 70% |
| post test 2 (JE) | 90% | 70% | 70% | 70% |
| prétest (ME) | 50% | 30% | 70% | 80% |
| E1 (ME) | 20% | 0% | 90% | 90% |
| E2 (ME) | 40% | 60% | 80% | 90% |
| E3 (ME) | 10% | 0% | 70% | 90% |
| E4 (ME) | 10% | 30% | 90% | 90% |
| E5 (ME) | 0% | 20% | 80% | 90% |
| post test 1 (ME) | 30% | 30% | 70% | 50% |
| post test 2 (ME) | 10% | 10% | 80% | 60% |

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pic frontière (AE) | 55% | 50% | 85% | 70% | 55% |
| pic frontière (CE) | 80% | 70% | 65% | 50% | 70% |
| pic frontière (ZE) | 60% | 75% | 70% | | 70% |
| pic frontière (JE) | 55% | 45% | 35% | | 90% |
| pic frontière (ME) | 70% | 65% | 90% | 70% | 65% |

| | s-50 | s-10 | s10 | s50 |
|-----------------------|------|------|------|------|
| prétest (AE) | 20% | 40% | 80% | 90% |
| E1 (AE) | 30% | 50% | 100% | 80% |
| E2 (AE) | 40% | 50% | 90% | 70% |
| E3 (AE) | 0% | 10% | 100% | 100% |
| E4 (AE) | 30% | 10% | 90% | 100% |
| E5 (AE) | 10% | 10% | 100% | 90% |
| post test (AE) | 30% | 30% | 30% | 70% |
| prétest (CE) | 10% | 0% | 30% | 90% |
| E1 (CE) | 10% | 50% | 60% | 50% |
| E2 (CE) | 50% | 30% | 60% | 80% |
| E3 (CE) | 30% | 20% | 60% | 70% |
| E4 (CE) | 10% | 30% | 70% | 100% |
| E5 (CE) | 0% | 10% | 70% | 100% |
| post test (CE) | 0% | 20% | 70% | 100% |
| prétest (ZE) | 10% | 10% | 60% | 60% |
| E1 (ZE) | 40% | 50% | 70% | 70% |
| E2 (ZE) | 40% | 30% | 70% | 90% |
| E3 (ZE) | 10% | 0% | 90% | 100% |
| E4 (ZE) | 0% | 0% | 100% | 100% |
| E5 (ZE) | 0% | 0% | 100% | 100% |
| post test (ZE) | 0% | 0% | 80% | 100% |
| prétest (JE) | 20% | 20% | 30% | 40% |
| E1 (JE) | 50% | 40% | 80% | 50% |
| E2 (JE) | 50% | 60% | 80% | 50% |
| E3 (JE) | 20% | 40% | 80% | 90% |
| E4 (JE) | 0% | 0% | 70% | 100% |
| E5 (JE) | 0% | 0% | 40% | 80% |
| post test (JE) | 20% | 40% | 60% | 70% |
| prétest (ME) | 20% | 10% | 40% | 100% |
| E1 (ME) | 30% | 30% | 80% | 30% |
| E2 (ME) | 10% | 20% | 80% | 60% |
| E3 (ME) | 10% | 0% | 90% | 70% |
| E4 (ME) | 10% | 0% | 60% | 100% |
| E5 (ME) | 20% | 20% | 50% | 80% |
| post test (ME) | 30% | 30% | 30% | 70% |

| | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|---------------------------|------|-----|------|-----|-----|
| pic frontière (AE) | 79% | 88% | 100% | 83% | 75% |
| pic frontière (CE) | 100% | 92% | 71% | 67% | 79% |
| pic frontière (ZE) | 92% | 96% | 92% | 75% | 96% |
| pic frontière (JE) | 92% | 96% | 88% | 63% | 88% |
| pic frontière (ME) | 67% | 92% | 58% | 75% | 88% |

| | FNO P1 | FNO P2 | O3-O4 |
|---------------------------------|--------|--------|-------|
| prétest prédit (AE) | 52% | 58% | 51% |
| prétest observé (AE) | 65% | 45% | 45% |
| post test 1 prédit (AE) | 52% | 58% | 51% |
| post test 1 observé (AE) | 65% | 45% | 45% |
| post test 2 prédit (AE) | 51% | 50% | 52% |
| post test 2 observé (AE) | 60% | 50% | 50% |
| prétest prédit (CE) | 55% | 52% | 52% |
| prétest observé (CE) | 50% | 60% | 50% |
| post test 1 prédit (CE) | 55% | 51% | 52% |
| post test 1 observé (CE) | 55% | 55% | 40% |
| post test 2 prédit (CE) | 58% | 52% | 51% |
| post test 2 observé (CE) | 55% | 50% | 45% |
| prétest prédit (ZE) | 51% | 50% | 55% |
| prétest observé (ZE) | 55% | 50% | 50% |
| post test 1 prédit (ZE) | 50% | 51% | 50% |
| post test 1 observé (ZE) | 40% | 35% | 55% |
| post test 2 prédit (ZE) | 51% | 55% | 51% |
| post test 2 observé (ZE) | 25% | 50% | 45% |
| prétest prédit (JE) | 58% | 51% | 55% |
| prétest observé (JE) | 65% | 60% | 55% |
| post test 1 prédit (JE) | 68% | 51% | 50% |
| post test 1 observé (JE) | 50% | 55% | 25% |
| post test 2 prédit (JE) | 52% | 50% | 50% |
| post test 2 observé (JE) | 35% | 45% | 55% |
| prétest prédit (ME) | 52% | 58% | 51% |
| prétest observé (ME) | 65% | 45% | 45% |
| post test 1 prédit (ME) | 50% | 58% | 52% |
| post test 1 observé (ME) | 45% | 60% | 65% |
| post test 2 prédit (ME) | 50% | 75% | 52% |
| post test 2 observé (ME) | 45% | 60% | 60% |

| | M-60 | M-40 | M-20 | M0 | M20 | M40 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|
| prétest prédit (AE) | 52% | 51% | 51% | 58% | 50% | 51% |
| prétest observé (AE) | 45% | 50% | 50% | 50% | 45% | 50% |
| post test 1 prédit (AE) | 50% | 51% | 51% | 50% | 52% | 52% |
| post test 1 observé (AE) | 55% | 50% | 55% | 55% | 45% | 45% |
| prétest prédit (CE) | 50% | 51% | 50% | 55% | 55% | 55% |
| prétest observé (CE) | 45% | 40% | 55% | 55% | 55% | 40% |
| post test 1 prédit (CE) | 50% | 52% | 50% | 63% | 52% | 51% |
| post test 1 observé (CE) | 45% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| prétest prédit (ZE) | 50% | 51% | 51% | 63% | 55% | 55% |
| prétest observé (ZE) | 50% | 50% | 50% | 55% | 50% | 45% |
| post test 1 prédit (ZE) | 50% | 50% | 50% | 82% | 51% | 51% |
| post test 1 observé (ZE) | 45% | 50% | 50% | 40% | 40% | 50% |
| prétest prédit (JE) | 50% | 50% | 50% | 51% | 55% | 52% |
| prétest observé (JE) | 50% | 55% | 55% | 55% | 55% | 60% |
| post test 1 prédit (JE) | 52% | 52% | 50% | 52% | 51% | 52% |
| post test 1 observé (JE) | 45% | 50% | 35% | 55% | 60% | 45% |
| prétest prédit (ME) | 51% | 52% | 51% | 55% | 55% | 55% |
| prétest observé (ME) | 45% | 45% | 50% | 50% | 45% | 35% |
| post test 1 prédit (ME) | 51% | 50% | 51% | 52% | 55% | 52% |
| post test 1 observé (ME) | 50% | 50% | 45% | 50% | 30% | 45% |

| | -70 | -50 | -30 | -10 | 10 | 30 | 50 | 70 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| prétest (AE) | 40% | 20% | 30% | 40% | 80% | 80% | 90% | 60% |
| post test (AE) | 30% | 30% | 40% | 30% | 30% | 50% | 70% | 70% |
| prétest (CE) | 10% | 10% | 0% | 0% | 30% | 60% | 90% | 80% |
| post test (CE) | 0% | 0% | 20% | 20% | 70% | 90% | 100% | 100% |
| prétest (ZE) | 10% | 10% | 0% | 10% | 60% | 90% | 60% | 90% |
| post test (ZE) | 0% | 0% | 0% | 0% | 80% | 90% | 100% | 100% |
| prétest (JE) | 20% | 20% | 20% | 20% | 30% | 60% | 40% | 40% |
| post test (JE) | 40% | 20% | 40% | 40% | 60% | 50% | 70% | 70% |
| prétest (ME) | 30% | 20% | 0% | 10% | 40% | 70% | 100% | 80% |
| post test (ME) | 0% | 10% | 10% | 20% | 40% | 70% | 90% | 100% |

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|
| prétest (AE) | 4 | 5 | 2 | 5 | 6 | 6 |
| prétest (CE) | 7 | 2 | 1 | 9 | 7 | 7 |
| prétest (ZE) | 5 | 5 | 4 | 4 | 7 | 5 |
| prétest (JE) | 0 | 2 | 4 | 7 | 7 | 5 |
| prétest (ME) | 3 | 5 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| prétest (DT) | 0 | 1 | 1 | 9 | 9 | 9 |
| prétest (YT) | 1 | 0 | 0 | 6 | 8 | 9 |
| prétest (ET) | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| prétest (MT) | 5 | 0 | 3 | 7 | 8 | 7 |
| prétest (TT) | 2 | 0 | 3 | 6 | 8 | 7 |
| post test (AE) | 4 | 7 | 3 | 7 | 6 | 10 |
| post test (CE) | 9 | 5 | 5 | 9 | 10 | 10 |
| post test (ZE) | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| post test (JE) | 3 | 2 | 4 | 6 | 7 | 6 |
| post test (ME) | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 6 |
| post test (DT) | 3 | 4 | 4 | 6 | 9 | 6 |
| post test (YT) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| post test (ET) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| post test (MT) | 4 | 4 | 2 | 8 | 8 | 9 |
| post test (TT) | 3 | 2 | 3 | 7 | 9 | 8 |

| | | discrimination prédite | | | | | discrimination observée | | | | |
|------------------|--------------|------------------------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|
| | | S1S2 | S2S3 | S3S4 | S4S5 | S5S6 | S1S2 | S2S3 | S3S4 | S4S5 | S5S6 |
| | prétest (AE) | 51% | 55% | 55% | 51% | 50% | 50% | 50% | 94% | 50% | 50% |
| | prétest (CE) | 63% | 51% | 82% | 52% | 50% | 44% | 44% | 69% | 50% | 50% |
| Entraînés | prétest (ZE) | 50% | 51% | 50% | 55% | 52% | 50% | 56% | 50% | 50% | 50% |
| | prétest (JE) | 52% | 52% | 55% | 50% | 52% | 56% | 63% | 56% | 69% | 50% |
| | prétest (ME) | 52% | 55% | 50% | 51% | 51% | 63% | 63% | 19% | 25% | 38% |
| | prétest (DT) | 51% | 50% | 82% | 50% | 50% | 56% | 31% | 50% | 50% | 50% |
| | prétest (YT) | 51% | 50% | 68% | 52% | 51% | 56% | 63% | 44% | 50% | 63% |
| Témoins | prétest (ET) | 50% | 52% | 55% | 50% | 51% | 50% | 50% | 44% | 44% | 44% |
| | prétest (TT) | 63% | 55% | 58% | 51% | 51% | 44% | 50% | 63% | 31% | 50% |
| | prétest (MT) | 52% | 55% | 55% | 52% | 51% | 44% | 44% | 50% | 63% | 63% |

| EFPh |
|-------------|
| 44% |
| 22% |
| -2% |
| -3% |
| -28% |
| 3% |
| -14% |
| -3% |
| 19% |
| -3% |

| | | discrimination prédite | | | | | discrimination observée | | | | |
|------------------|----------------|------------------------|------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|------|
| | | S1S2 | S2S3 | S3S4 | S4S5 | S5S6 | S1S2 | S2S3 | S3S4 | S4S5 | S5S6 |
| | post test (AE) | 55% | 58% | 58% | 51% | 58% | 45% | 40% | 65% | 60% | 70% |
| | post test (CE) | 58% | 50% | 58% | 51% | 50% | 50% | 50% | 75% | 50% | 50% |
| Entraînés | post test (ZE) | 50% | 51% | 50% | 50% | 50% | 40% | 50% | 65% | 50% | 60% |
| | post test (JE) | 51% | 52% | 52% | 51% | 51% | 35% | 40% | 55% | 45% | 35% |
| | post test (ME) | 51% | 50% | 55% | 51% | 50% | 50% | 50% | 70% | 25% | 30% |
| | post test (DT) | 51% | 50% | 52% | 55% | 55% | 50% | 50% | 80% | 50% | 45% |
| | post test (YT) | 51% | 52% | 52% | 51% | 51% | 35% | 40% | 55% | 45% | 35% |
| Témoins | post test (ET) | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 55% | 55% |
| | post test (TT) | 50% | 52% | 68% | 50% | 51% | 65% | 55% | 85% | 55% | 55% |
| | post test (MT) | 51% | 51% | 58% | 52% | 51% | 50% | 50% | 50% | 45% | 40% |

| EFPh |
|-------------|
| 11% |
| 25% |
| 15% |
| 16% |
| 31% |
| 31% |
| 16% |
| -3% |
| 28% |
| 4% |

| | discrimination prédite | | | | | | | | | discrimination observée | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| prétest (CE) | 51% | 52% | 51% | 51% | 58% | 55% | 52% | 51% | 63% | 50% | 38% | 59% | 41% | 44% | 56% | 50% | 59% | 63% |
| prétest (ZE) | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| prétest (JE) | 50% | 51% | 50% | 55% | 50% | 51% | 50% | 52% | 52% | 44% | 34% | 47% | 59% | 38% | 50% | 41% | 50% | 47% |
| prétest (ME) | 58% | 52% | 55% | 51% | 50% | 50% | 55% | 51% | 51% | 56% | 66% | 53% | 38% | 47% | 63% | 50% | 41% | 56% |
| prétest (DT) | 51% | 51% | 51% | 50% | 52% | 52% | 58% | 55% | 51% | 63% | 63% | 53% | 56% | 59% | 59% | 41% | 50% | 63% |
| prétest (YT) | 68% | 50% | 52% | 52% | 55% | 55% | 52% | 52% | 55% | 50% | 47% | 50% | 50% | 47% | 47% | 50% | 44% | 50% |
| prétest (ET) | 52% | 51% | 51% | 52% | 51% | 52% | 55% | 51% | 52% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| prétest (MT) | 50% | 52% | 51% | 51% | 52% | 55% | 52% | 51% | 51% | 63% | 50% | 38% | 53% | 53% | 63% | 44% | 44% | 41% |
| prétest (TT) | 52% | 51% | 52% | 50% | 52% | 82% | 68% | 51% | 51% | 50% | 56% | 50% | 47% | 53% | 63% | 53% | 63% | 38% |

| | discrimination prédite | | | | | | | | | discrimination observée | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| post test (CE) | 50% | 51% | 51% | 50% | 52% | 63% | 55% | 55% | 63% | 55% | 50% | 50% | 50% | 55% | 50% | 55% | 60% | 50% |
| post test (ZE) | 50% | 52% | 50% | 50% | 58% | 91% | 58% | 50% | 51% | 35% | 70% | 70% | 65% | 50% | 65% | 45% | 50% | 45% |
| post test (JE) | 51% | 51% | 52% | 58% | 52% | 52% | 63% | 51% | 68% | 55% | 65% | 45% | 45% | 50% | 35% | 50% | 45% | 45% |
| post test (ME) | 52% | 55% | 50% | 50% | 55% | 51% | 51% | 55% | 55% | 55% | 40% | 65% | 25% | 80% | 55% | 70% | 45% | 40% |
| post test (DT) | 51% | 51% | 51% | 51% | 50% | 100% | 91% | 51% | 51% | 60% | 55% | 50% | 50% | 35% | 60% | 50% | 70% | 45% |
| post test (YT) | 51% | 51% | 51% | 50% | 50% | 51% | 50% | 50% | 51% | 45% | 50% | 50% | 55% | 50% | 50% | 55% | 55% | 50% |
| post test (ET) | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| post test (MT) | 51% | 51% | 50% | 50% | 51% | 63% | 82% | 52% | 51% | 40% | 35% | 55% | 40% | 65% | 60% | 55% | 40% | 40% |

| | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| prétest (CE) | 0% | 20% | 10% | 0% | 0% | 10% | 40% | 40% | 20% | 30% | 70% |
| prétest (ZE) | 0% | 0% | 0% | 10% | 10% | 0% | 0% | 0% | 9% | 10% | 0% |
| prétest (JE) | 80% | 80% | 80% | 90% | 80% | 60% | 80% | 70% | 80% | 90% | 60% |
| prétest (ME) | 90% | 60% | 50% | 80% | 80% | 70% | 80% | 70% | 50% | 80% | 60% |
| prétest (DT) | 0% | 10% | 10% | 0% | 0% | 0% | 20% | 20% | 60% | 50% | 50% |
| prétest (YT) | 40% | 60% | 100% | 60% | 80% | 80% | 50% | 50% | 70% | 70% | 40% |
| prétest (ET) | 60% | 40% | 40% | 50% | 50% | 30% | 60% | 50% | 30% | 60% | 50% |
| prétest (TT) | 0% | 10% | 20% | 0% | 0% | 0% | 20% | 80% | 80% | 90% | 70% |

| intra | inter | <i>EFPh</i> |
|-------|-------|-------------|
| 50% | 53% | 3% |
| 50% | 50% | 0% |
| 46% | 45% | 0% |
| 51% | 56% | 5% |
| 58% | 50% | -8% |
| 48% | 48% | 0% |
| 50% | 50% | 0% |
| 51% | 58% | 7% |

| | -50 | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| post test (CE) | 10% | 10% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 50% | 30% | 20% | 80% |
| post test (ZE) | 10% | 30% | 10% | 10% | 10% | 10% | 50% | 100% | 90% | 100% | 100% |
| post test (JE) | 60% | 30% | 50% | 20% | 70% | 60% | 50% | 80% | 100% | 70% | 40% |
| post test (ME) | 20% | 60% | 40% | 30% | 40% | 30% | 70% | 20% | 60% | 50% | 30% |
| post test (DT) | 20% | 0% | 10% | 10% | 0% | 0% | 0% | 100% | 90% | 90% | 100% |
| post test (YT) | 0% | 10% | 10% | 0% | 0% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 10% |
| post test (ET) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| post test (MT) | 10% | 0% | 0% | 10% | 0% | 10% | 10% | 60% | 90% | 80% | 100% |

| intra | inter | <i>EFPh</i> |
|-------|-------|-------------|
| 54% | 53% | -2% |
| 54% | 55% | 1% |
| 52% | 43% | -10% |
| 51% | 63% | 12% |
| 52% | 55% | 3% |
| 51% | 53% | 2% |
| 50% | 50% | 0% |
| 46% | 58% | 12% |

- Eimas P.D. & Miller J.** (1980) Discrimination for information for manner of articulation, *Infant Behavior and Development*, 3, 367-375
- Eimas P.D.** (1975b) Speech perception in early infancy, Cohen & Salapatek Eds. *Infant Perception* New York Academic Press
- Eimas P.D., Siqueland E.R., Jusczyk P. & Vigorito J.** (1971) Speech perception in infants, *Science*, 171, 303-306
- Fawcett A.J & Nicolson R.I.** (1994) Computer based diagnosis of dyslexia, in CH Singleton eds. *Computer and Dyslexia: Educational Applications of new technology*, 162-172
- Ferrand L. & Grainger J.** (1994) Effects of orthography are independent of phonology in masked form priming, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47a, 365-382
- Flege J.E** (1992) Speech learning in a second language in Phonological development : models, research, implications, ed. Ferguson, Menn & Stoel-Gammon, 565-603 Timonium York-Press
- Fourcin A.J.** (1978) Acoustic patterns and speech acquisition, The development of communication, ed. Waterson & Snow, 144-171, London : Wiley
- Fry D.B., Abramson A.S., Eimas P.D. & Liberman A.M.** (1962) The identification and discrimination of synthetic vowels, *Language and Speech*, 5, 171-189
- Frith U., Wimmer H. & Landerl K.** (1998) Differences in phonological processing in German- and English-speaking children, *Scientific Study of Reading*, 2, 31-54.
- Frith U.** (1986) A developmental framework for developmental dyslexia, *Annals of dyslexia*, 36, 69-81.
- Frith U.** (1985) Beneath the surface of developmental dyslexia, in K.Petterson, M.Coltheart & J.Marshall eds. *Surface Dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading*, London : Erlbaum, pp 301-330
- Gibson J.J.** (1979) The ecological approach to visual perception , Houghton Mifflin : Boston
- Godfrey J.J., Syrdal-Lasky A.K, Millay K.K. & Knox C.M.** (1981) Performance of dyslexic children on speech perception tests, *Journal of experimental child psychology*, 32, 401-424
- Gombert J.E., Colé P., Valdois S., Goigoux R., Mousty P. & Fayol M.** (2000) Enseigner la lecture au cycle 2, Paris, Nathan Pédagogie.
- Gough P.B. & Tunmer W.E.** (1986) Dedoding, reading and reading disability, *Remedial and Special Education*, 7(1), 6-10
- Gough P.B. et Hillinger M.L.** (1980) Learning to read : an unnatural act, *Bulletion of the Orton Society*, 30, 179-236
- Goswami U., Gombert J. & Barrera F.** (1998) Children's orthographic representations and linguistic transparency: nonsense word reading in English, French and Spanish, *Applied Psycholinguistics*, 19, 19-52.
- Goswami U. & Bryant P.** (1990) Phonological skills and learning to read, London, Erlbaum
- Hansen P.C., Stein J.F., Orde S.R., Winter J.L. & Talcott J.B.** (2001) Are dyslexics' visual deficits limited to measures of dorsal stream function ?, *NeuroReports*, 12, 1527-1530
- Harris M. & Coltheart M.** (1986) Language processing in children and adults : an introduction, Routledge and Kegan Paul, London.