

UNIVERSITE PARIS III - LA SORBONNE NOUVELLE

U.F.R. DE SCIENCES DU LANGAGE, ILPGA.

Département de Phonétique

Ecole doctorale 268 Langage et Langue

Thèse de Doctorat de Phonétique présentée par

Souhila MESSAOUD-GALUSI

INCIDENCE DU DEVELOPPEMENT LINGUISTIQUE ET  
DE LA LECTURE SUR LES STRATEGIES DE  
PONDERATION D'INDICES ACOUSTIQUES ET LA  
PERCEPTION CATEGORIELLE DE LA PAROLE

*Thèse de doctorat dirigée par Liliane SPRENGER-CHAROLLES et René CARRE*

Soutenue le 15 Décembre 2004

**Jury :**

Jean-François Démonet	rapporteur	INSERM – Université P.Sabatier, Toulouse
René Carré		CNRS – ENST, Paris
Valérie Hazan		University College London
Pierre Hallé		CNRS – Université Paris 3
Willy Serniclaes	rapporteur	CNRS – Université Paris 5
Liliane Sprenger-Charolles		CNRS – Université Paris 5

# REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier Christian Hudelot, directeur du LEAPLE, et tous les membres du LEAPLE de m'avoir accueillie au sein du laboratoire pour la durée de ma thèse. Un grand merci à tous les enfants et aux écoles qui ont accepté de participer aux études et sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Merci à tous mes amis : Cristel, Stéphanie, Romain, Fabrice, Magali, Nina, Colleen, Carmen et Martine pour les nombreux « remontages de moral » et vos encouragements chaleureux tout au long de ma thèse et un merci tout particulier à Eve, Patricia, et au « Café Burq » pour les soirées inoubliables au Minervo. A BIG Thank you to you, Courtney, for the “counselling” and the gigantic Toblerone bars that helped me get through the last pages. Je tiens également à remercier ma sœur, Fériel, qui a contribué à éveiller ma curiosité et m'a poussée à faire de la recherche. Merci à ma mère et ma grand-mère qui m'encouragent et me soutiennent depuis ... longtemps. Pour l'assistance informatique, les programmes informatiques conviviaux, les encouragements et le coup de main lors des passations de dernière minute, je remercie Elisabeth Samain. Je suis également très reconnaissante à Willy Serniclaes pour l'aide significative ( $p < 0,01$ ) et précieuse qu'il m'a apportée depuis le début. Ce travail doit beaucoup à la gentillesse et à l'infinie disponibilité de mes directeurs de thèse Liliane Sprenger-Charolles et René Carré qui m'ont permis de travailler dans de très bonnes conditions, m'ont fait part de leur savoir et leur expérience tout en me transmettant leur intérêt pour les domaines dont ils sont spécialistes.

# TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b> .....	6
<b>REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	7
<b>I LA PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE</b> .....	8
I.1. La Perception Catégorielle (PC).....	9
I.1.1. La Perception Catégorielle chez l'adulte.....	9
I.1.1.a. La théorie motrice.....	11
I.1.1.b. La théorie quantale.....	12
I.1.2. La Perception Catégorielle chez l'enfant.....	12
I.1.2.a. La première année de la vie.....	13
I.1.2.b. Après un an.....	15
I.1.3. Les modèles.....	17
I.1.3.a. L'effet d'aimant perceptif.....	17
I.1.3.b. Le modèle d'assimilation perceptive (PAM).....	22
I.1.3.c. Couplage entre prédispositions.....	26
I.1.3.d. Le modèle de la saillance acoustique.....	28
I.2. La pondération des indices acoustiques.....	32
I.2.1. La pondération des indices acoustiques chez l'adulte.....	32
I.2.2. La pondération des indices acoustiques : aspects développementaux.....	42
I.2.2.a. Données expérimentales soutenant le Developmental Weighting Shift DWS (changements développementaux de pondération).....	42
1- Les enfants pondèrent plus les transitions, les adultes pondèrent plus le bruit....	43
2- Les stratégies de pondération des enfants sont moins affectées par le contexte..	47
3- Les stratégies de pondération des enfants sont moins flexibles.....	48
4- Effets de l'expérience linguistique.....	49
I.2.2.b. Données expérimentales infirmant la DWS.....	50
<b>II LA LECTURE</b> .....	56
II.1. Apprendre à lire dans un système alphabétique.....	56
II.2. Evaluation du modèle à étape.....	60
II.2.1. L'étape logographique.....	60
II.2.2. Les voies phonologique et orthographique.....	62
II.2.3. Incidence de la consistance des correspondances graphème-phonème.....	66
II.3. Conscience phonologique et apprentissage de la lecture.....	67

II.3.1. Pré requis pour l'apprentissage de la lecture.....	68
II.3.2. Conséquence de l'apprentissage de la lecture.....	69
II.3.3. Nécessaire mais pas suffisante à l'apprentissage de la lecture.....	70
III LA DYSLEXIE .....	72
III.1. Qu'est ce que la dyslexie ?.....	72
III.1.1. Définition .....	72
III.1.2. Déficits phonologiques et dyslexie .....	72
III.1.3. Incidence de l'opacité de l'orthographe.....	73
III.1.4. Les sous-types de dyslexie : un déficit phonologique commun.....	75
III.2. Les théories explicatives de la dyslexie .....	78
III.2.1. L'hypothèse auditive : la dyslexie expliquée par un déficit auditif général .....	80
III.2.1.a. Preuves expérimentales soutenant le déficit auditif général.....	80
III.2.1.b. Données expérimentales infirmant le déficit auditif général .....	84
III.2.2. L'hypothèse phonologique : la dyslexie expliquée par un déficit spécifiquement linguistique.....	90
III.2.2.a. Données supportant un déficit de PC chez les dyslexiques.....	90
1- Performances de discrimination.....	91
2- Performances d'identification. ....	93
III.2.2.b. Pondération d'indices acoustiques et effets lexicaux chez les dyslexiques...	95
III.2.3 Une explication unitaire de la dyslexie : la perception allophonique. ....	98
IV. CONCLUSION ET PRESENTATION DES OBJECTIFS DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....	104
<b>ETUDES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>106</b>
<u>ETUDE 1 : PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE, CAPACITES METAPHONOLOGIQUES ET LECTURE.....</u>	<u>107</u>
I. METHODOLOGIE.....	111
I.1. Populations.....	111
I.2. Les épreuves.....	112
I.2.1. La lecture .....	112
I.2.2. QI verbal et non verbal .....	113
I.2.3. Conscience phonémique et mémoire phonologique à court terme .....	113
I.2.4. Discrimination de continua [ba-da] .....	115
I.2.4.a. Matériel .....	115
I.2.4.b. Procédure .....	117

I.2.5. Identification d'un continuum [ai-aei] .....	119
I.2.5.a. Matériel .....	119
I.2.5.b. Procédure .....	121
II. PERCEPTION DES SONS LA PAROLE : INCIDENCE DE L'AGE ET DU NIVEAU DE LECTURE .....	122
II.1. Résultats de la tâche de discrimination [ba-da] .....	122
II.1.1. Etude longitudinale GSM, CP, CE1 .....	122
II.1.2. Etude comparative (bons et mauvais lecteurs de CM1) .....	126
II.2. Résultats de la tâche d'identification [ai] .....	129
II.2.1. Etude longitudinale GSM, CP, CE1 .....	129
II.2.2. Etude comparative (bons et mauvais lecteurs de CM1) .....	131
II.3. Discussion.....	132
III. CORRELATIONS ENTRE PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE CAPACITES METAPHONOLOGIQUES ET LECTURE .....	135
III.1. Résultats des épreuves : moyennes et écarts-types .....	135
III.2. Corrélations entre perception des sons de la parole, conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture.....	137
III.3. Discussion .....	150
IV. CONCLUSIONS.....	153
<u>ETUDE 2 : PONDERATION DES INDICES ACOUSTIQUES EN FONCTION DE L'AGE ET DU NIVEAU DE LECTURE.....</u>	154
I. METHODOLOGIE.....	159
I.1. Population .....	159
I.2. Matériel.....	162
I.3. Procédure .....	172
I.4. Analyses statistiques .....	172
II. RESULTATS.....	173
III. DISCUSSION .....	181
IV. CONCLUSION.....	183
<b>DISCUSSION GENERALE .....</b>	184
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	194

# INTRODUCTION

L'objectif de notre travail de recherche est d'évaluer les effets de l'âge et du niveau de lecture sur la perception catégorielle et la pondération des indices acoustiques de la parole. La première étude porte plus précisément sur des données longitudinales recueillies avant et après l'apprentissage de la lecture (de la Grande Section de Maternelle à la seconde année de primaire, CE1) ainsi que sur la comparaison d'un groupe de bons et de mauvais lecteurs de CM1. La seconde étude porte sur la pondération des indices acoustiques chez les adultes et les enfants (dyslexiques et des normo-lecteurs appariés en âge chronologique et en niveau de lecture).

Avant de présenter ces deux études, nous examinons les travaux qui ont été à la base de notre travail de recherche dans une revue de la littérature. Cette revue est structurée en trois points. Le premier traite du développement de la perception des sons de la parole et insiste particulièrement sur les études menées sur la perception catégorielle et la pondération des indices acoustiques de la parole. La seconde partie concerne la lecture, et insiste plus particulièrement sur les travaux indiquant que les compétences phonologiques jouent un rôle crucial dans l'apprentissage de la lecture, tout au moins dans les écritures alphabétiques. En dernier lieu, nous présentons des études menées auprès de sujets dyslexiques en portant une attention particulière aux résultats sur la perception catégorielle et la pondération d'indices acoustiques chez ces sujets.

# REVUE DE LA LITTERATURE.

# I LA PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE

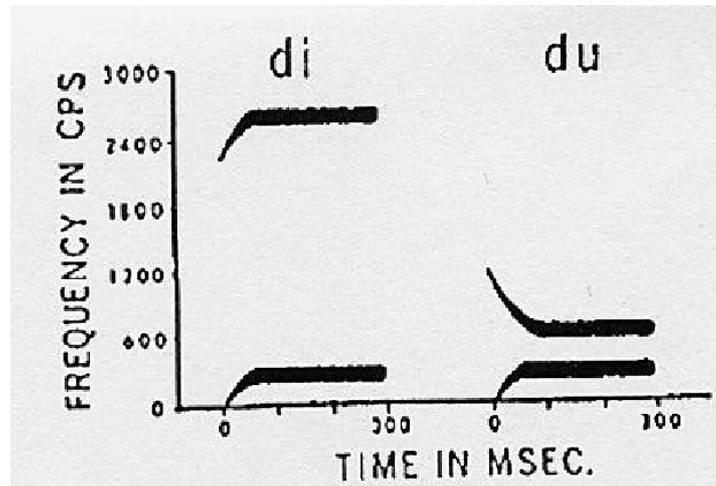


Figure 1 : Schématisation du patron des formants suffisants pour la synthèse de [d] avant [i] et [u], d'après Liberman (Liberman, Cooper, Shankweiler, & Studdert-Kennedy, 1967) p.435. La fréquence en cycle par seconde est représentée en abscisse et le temps en millisecondes est représenté en ordonnée.

Liberman, Safford Harris, Hoffman, et Griffiths, (Liberman et al., 1967) ont illustré la variabilité des indices acoustiques ("cue") caractérisant un phonème en prenant l'exemple du phonème [d] dans différents contextes. La Figure 1, représente un spectrogramme simplifié des syllabes [di] et [du]. Les formants stables à droite des segments sont isolément perçus [i] et [u]. Plus à gauche, se situe la transition représentée par un changement transitoire et rapide de la fréquence des formants. La configuration montante de la transition du premier formant est commune aux consonnes [b,d,g]. Elle est identique pour [di], [bi] et [gi] et pour [du], [bu] et [gu]. Les deux représentations contribuent au percept [d], mais dans le cas de [di] la fréquence du deuxième formant débute à 2200 Hz et atteint 2600 Hz et pour [du] elle débute à 1200 Hz et diminue jusqu'à 700 Hz. Bien qu'elle soit différente en contexte [i] et en contexte [u], c'est la transition du deuxième formant qui indique que le phonème est [d]. Le même phonème est donc représenté par des indices acoustiques différents. Isolément, la transition de [di] est perçue comme un sifflement ou un glissando vers l'aigu et celle de [du] est perçue comme un sifflement rapide diminuant vers les basses fréquences. Il n'est pas possible d'extraire la consonne [d] de ces syllabes CV (consonne voyelle), car la transition fournit des informations sur la consonne et la voyelle en parallèle. Ce phénomène décrit pour le phonème

[d] est valable pour tous les phonèmes qui n'entretiennent pas une relation univoque avec les indices acoustiques permettant de les percevoir. La forte variabilité des indices acoustiques désignant un percept, ne permet pas d'envisager la perception comme une simple analyse acoustique du signal sonore. Il est donc légitime de se demander comment l'auditeur aboutit à un percept invariant correspondant au phonème en se basant sur des indices acoustiques hautement variables. L'efficacité de la perception de la parole malgré la variabilité des données acoustiques a été en partie expliquée par des recherches sur la perception catégorielle de la parole.

## I.1. La Perception Catégorielle (PC)

### I.1.1. La Perception Catégorielle chez l'adulte

La Perception Catégorielle (PC) est un phénomène perceptif établi pour la première fois par Liberman, Safford Harris, Hoffman et Griffiths (Liberman, Safford Harris, Hoffman, & Griffiths, 1957), qui a permis d'expliquer comment l'auditeur obtient un nombre fini de catégories phonémiques sur un continuum acoustique. La PC a été définie comme le phénomène par lequel les différences acoustiques entre les sons de la parole ne sont pas perceptibles sauf s'ils appartiennent à des catégories phonétiques différentes. Liberman et al. (Liberman et al., 1957) souhaitaient initialement déterminer les liens entretenus par les performances d'identification et de discrimination des catégories phonémiques de la parole. Pour cela, un continuum [bdg] (*Figure 2*) a été identifié par des sujets anglophones et une tâche ABX<sup>1</sup> leur a été administrée afin d'obtenir des données de discrimination.

---

<sup>1</sup> Tâche ABX : deux stimuli A et B sont présentés suivi d'un stimulus X que le sujet doit juger identique à A ou B. Le stimulus B était le voisin à un deux ou trois pas sur le continuum du stimulus A. Ainsi quand le stimulus A était le stimulus 1 (S1), le stimulus B était S2 à un pas, S3 à deux pas et S4 à trois pas.

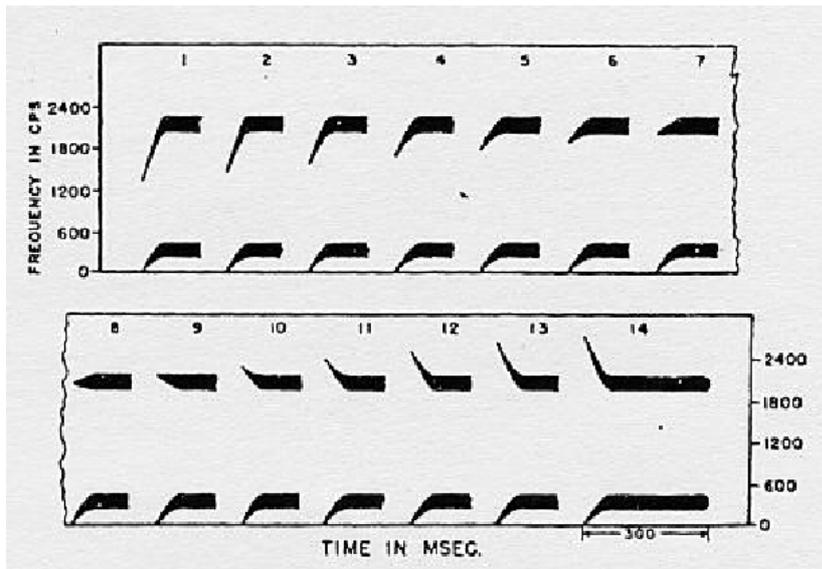


Figure 2 : Illustration des informations acoustiques employées pour générer le continuum [bdg] de Liberman et al. (Liberman et al., 1957). Le premier formant est identique sur l'ensemble du continuum, mais les 14 stimuli diffèrent par la fréquence initiale du deuxième formant. La voyelle perçue est [e].

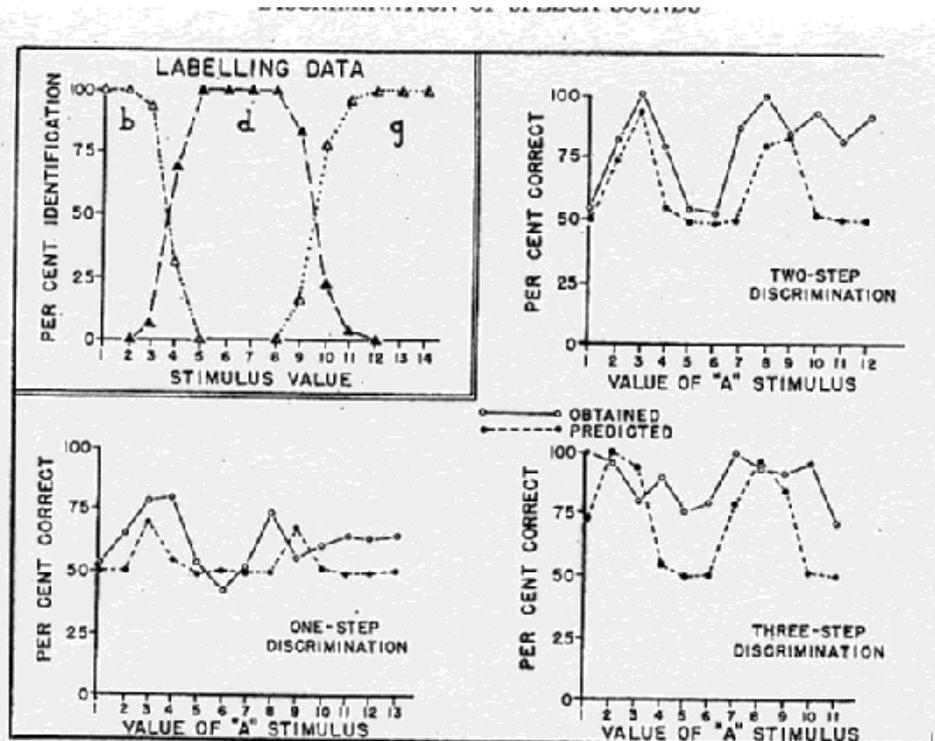


Figure 3: Extrait de Liberman et al. (Liberman et al., 1957). Données d'identification (en haut à gauche) et de discrimination à 1 pas (en bas à gauche) à 2 pas (en haut à droite) et à 3 pas (en bas à droite) d'un des sujets (CD). Les réponses de discrimination indiquent le pourcentage de réponse où X était correctement associé à A ou B, quand le stimulus A correspond au stimulus désigné sur l'axe des abscisses. Les ronds vides désignent les résultats obtenus, et les ronds pleins les résultats prédits à partir des scores d'identification.

Les données d'identification du sujet CD (*Figure 3*), indiquent que les stimuli 1 à 3 sont identifiés [b], les stimuli 5 à 8 [d], et les stimuli 9 à 14 [g]. Le changement d'une catégorie à l'autre est abrupt, ce qui signifie que les frontières phonémiques de ce sujet sont stables et bien définies. En comparant les données d'identification et de discrimination, on observe que le sujet discrimine mieux les stimuli chevauchant la frontière entre deux catégories que les stimuli compris à l'intérieur de la même catégorie. Les stimuli 1 et 3, que le sujet identifie comme des exemplaires de [b], ne sont discriminés que dans 55% des présentations. Les stimuli 3 et 5 respectivement identifiés [b] et [d], sont correctement discriminés dans 100 % des présentations. Le calcul des scores de discrimination prédits suppose que des stimuli peuvent être discriminés s'ils sont identifiés comme des phonèmes différents. Les réponses d'identification des sujets ont donc été utilisées pour calculer la fréquence à laquelle les stimuli seront ou non discriminés. Les données individuelles présentées (*Figure 3*) montrent que les fonctions prédites sont partiellement similaires aux fonctions observées. Les points de forte et de faible discrimination sont relativement bien prédits, mais les scores observés sont parfois supérieurs aux scores prédits, les pics observés ne correspondant pas nécessairement à ceux prédits.

Plusieurs explications ont été avancées et parmi elles, deux théories majeures, la théorie motrice de la parole (Liberman & Mattingly, 1985) et la théorie auditive dite "quantale" (Stevens, 1972) ont influencé les travaux postérieurs sur la PC. La théorie motrice de la parole (Liberman & Mattingly, 1985) a considéré la PC comme reflétant le lien inextricable entre la perception et la production de la parole, alors que la théorie auditive se base sur les propriétés auditives des régions « quantales ».

#### I.1.1.a. La théorie motrice

La relation complexe qu'entretient le phonème avec sa réalisation acoustique a mené à la formulation de la théorie motrice de la parole (Liberman & Mattingly, 1985). Cette théorie s'est largement appuyée sur des preuves expérimentales témoignant de la perception catégorielle de la parole. Selon la théorie motrice, le phénomène s'explique par une incapacité à percevoir les différences entre sons de la parole lorsqu'ils sont les variants du même geste articulatoire. Selon la théorie motrice, le décodage perceptif est insensible à ces variations car il utilise des règles articulatoires pour identifier des traits ("features"). L'hypothèse fondatrice de la théorie motrice suppose donc que la parole est perçue en faisant référence à la manière dont le son a été produit. La PC résout donc le problème que pose la variabilité acoustique puisqu'un même phonème dont les propriétés acoustiques diffèrent suivant le contexte, sera

produit par un geste articulatoire identique, et sera perçu en référence à la manière dont il a été produit. Le système de production de la parole n'ayant pas de contrôle absolu sur les articulateurs, le même geste peut avoir des effets acoustiques variables. La PC est d'un grand intérêt pour la théorie motrice, puisque la catégorisation des sons de la parole peut s'expliquer par la mise en œuvre de classes basées sur des gestes articulatoires discrets.

#### I.1.1.b. La théorie quantale

La théorie quantale envisage le système de perception et de production, pour rendre compte des propriétés de la parole, en considérant les limitations impliquées par leurs propriétés quantales. Le concept sous-jacent à la théorie quantale de Stevens (Stevens, 1972) est qu'une source acoustique, dont les propriétés sont relativement simples et invariantes, excite le conduit vocal considéré comme un système acoustique linéaire. Le conduit vocal est en partie décrit en terme de fonctions d'aire, qui définissent l'aire de points répartis entre les cordes vocales et les lèvres, le long du conduit vocal. L'excitation de ce tube non uniforme est produite par une source quasi périodique à la glotte ou par du bruit (turbulence) au voisinage de la constriction du tube. Si ce système acoustique est perturbé par une modification d'un des paramètres de la fonction d'aire, les propriétés acoustiques du son résultant ("output acoustique") seront aussi perturbées. Toutefois, la relation entre les paramètres décrivant l'articulation et "l'output acoustique" ne sont pas linéaires. Dans certaines conditions, un faible changement des paramètres articulatoire a pour conséquence un important changement dans les caractéristiques acoustiques du son ; et dans d'autres conditions, un changement important de l'articulation produira des changements négligeables du signal acoustique. D'après cette hypothèse la PC découle d'une sensibilité auditive naturelle. Les sons de la parole qui diffèrent par des caractéristiques acoustiques issues de région faiblement discriminables partageront des propriétés acoustiques identiques et ne seront pas discriminés. En revanche, les sons chevauchant une région de forte discriminabilité seront, eux, discriminés.

#### I.1.2. La Perception Catégorielle chez l'enfant

Les recherches sur la perception chez les nourrissons ont abouti à l'hypothèse qu'au début de la vie, ils sont capables de discriminer toutes les oppositions phonétiques utilisées dans les langues du monde. Ces résultats ont été fournis par les études portant sur la PC chez le nourrisson pour des oppositions propres à sa langue maternelle, mais aussi pour des oppositions de langues étrangères (pour une revue voir (Werker, Lloyd, Pegg, & Polka, 1996; J. F. Werker & L. Polka, 1993)).

### I.1.2.a. La première année de la vie

Werker, Gilbert, Humphrey et Tees (Werker, Gilbert, Humphrey, & Tees, 1981) ont montré que des nourrissons anglophones de 6-8 mois pouvaient discriminer<sup>2</sup> les oppositions [t<sup>h</sup>a][d<sup>h</sup>a]<sup>3</sup> et [ʈa][ta]<sup>4</sup> du Hindi aussi bien que des adultes dont c'est la langue maternelle ; alors que des auditeurs anglophones adultes et enfants de 4, 8 et 12 ans n'y parvenaient pas. Des résultats similaires ont été obtenus avec l'opposition [ki][qi]<sup>5</sup> du Thompson (Werker & Tees, 1984) : les nourrissons ont discriminé l'opposition de lieu d'articulation en fonction de la catégorie phonémique à laquelle les consonnes correspondaient, alors que les adultes anglophones ont montré des capacités perceptives plus limitées. Dans un deuxième temps, les sujets anglophones de 6-8 mois ainsi que des sujets de 8-10 et 10-12 mois ont perçu les oppositions hindi [ʈa][ta] et thompson [ki][qi]. La plupart des nourrissons anglophones pouvaient discriminer les oppositions des langues étrangères à 6-8 mois. A 8-10 mois, un nombre plus faible de nourrissons y parvenait, et à 10-12 mois les nourrissons ont obtenu des scores comparables à ceux des adultes anglophones alors que des nourrissons du hindi et du thompson du même âge sont parvenus à distinguer les stimuli de leurs langues maternelles. Les mêmes résultats ont été obtenus dans une étude longitudinale à ces âges (Werker & Tees, 1984). Ces résultats montrent clairement que le maintien des capacités de discrimination phonétique nécessite une expérience spécifique de la langue concernée. Sans une telle expérience, cette capacité disparaît vers l'âge de 10-12 mois. Les capacités très fines de discrimination des nourrissons sont suivies d'une perte sélective (et/ou d'un élargissement) des frontières catégorielles qui pourraient faciliter l'apprentissage des langues en permettant le réglage progressif de cette sensibilité initiale en fonction de la phonologie concernée. Cette capacité innée à percevoir les sons de la parole en fonction des catégories phonétiques facilite le processus d'acquisition du langage et la modification éventuelle des unités de sens, en prédisposant le nourrisson à segmenter les sons en fonction de la pertinence de ces catégories. Le déclin ou "réglage" ne se produit probablement pas accidentellement puisqu'on le constate à un âge où l'enfant commence à comprendre et à produire des sons de sa langue maternelle.

---

<sup>2</sup> Dans les expériences que nous allons décrire impliquant des bébés, les performances de discrimination sont obtenues par le biais d'un paradigme permettant de collecter des données de discrimination chez de très jeunes enfants, le "Head turn" paradigme, aussi appelé paradigme de discrimination par renforcement visuel ("visually reinforced infant speech discrimination paradigm"), permet de conditionner les nourrissons à orienter leur tête vers un haut-parleur dans un intervalle temporel donné (environ 4 s 1/2) lorsque les sons sont de catégories différentes. Une réponse correcte est renforcée par une peluche qui s'anime ou s'illumine.

<sup>3</sup> Occlusives dentale aspirée voisée - non voisée.

<sup>4</sup> Occlusives sourde non aspirée rétroflexe - dentale.

<sup>5</sup> Occlusives glottalisées sourdes uvulaire - vélaire

Le déclin des capacités de discrimination des oppositions non maternelles chez les nourrissons de 10-12 mois n'est toutefois pas absolu. En effet, Werker et Tees (*Werker & Tees, 1984*) ont montré que, dans des conditions expérimentales appropriées<sup>6</sup>, des adultes anglophones étaient capables de discriminer l'opposition hindi [tʌ][tɑ] et l'opposition [ki][qi] du Thompson qu'à 10-12 mois, les nourrissons ne parvenaient plus à discriminer (Werker & Tees, 1984). L'expérience 2 employant une procédure de discrimination AX<sup>7</sup>, a permis de montrer que des adultes pouvaient discriminer des oppositions non maternelles avec (expérience 2) ou sans entraînement préalable (expérience 3), que l'ISI soit court (500 ms dans l'expérience 2) ou long (1500 ms dans l'expérience 4). Ces résultats ont été considérés comme une indication que l'incapacité des adultes à discriminer des oppositions non maternelles préalablement discriminées par des nourrissons de 6-8 mois (Werker & Tees, 1984), n'est pas la conséquence d'une atrophie neurale, mais s'expliquent par des stratégies de traitement différentes. Dans certaines conditions, les adultes discriminent les sons en fonction de la phonologie de leur langue maternelle, et dans des conditions expérimentales appropriées ils sont capables de discriminer les même sons conformément aux frontières catégorielles phonétiquement pertinentes employées dans des langues étrangères.

De nombreux travaux sur le développement de la perception chez le nourrisson ont eu pour but de formaliser les résultats obtenus par différentes études. Le travail de Kuhl sur l'effet d'aimant perceptif (Kuhl, 1993) a fourni des preuves de l'influence de la langue maternelle sur la perception de la structure phonétique du langage chez le nourrisson dès 6 mois, alors qu'un tel effet n'a été observé qu'à partir de 10 mois pour les consonnes. Best, McRoberts et Sithole (Best, Mc Roberts, & Sithole, 1988) ont contribué à montrer que des nourrissons anglophones de 6-8 mois, 8-10 mois, 10-12 mois et 12-14 mois ainsi que des adultes parviennent à discriminer une opposition de clicks apical/latéral [!][ll] du zulu. Ces résultats ont donné lieu à un modèle, le "Perceptual Assimilation Model" (PAM) (Best & McRoberts, 2003), qui considère que les oppositions non maternelles<sup>8</sup> restent discriminables chez l'adulte quand elles ne sont pas assimilables à des éléments de la phonologie de sa langue maternelle. Dans ce

---

<sup>6</sup> Category change procedure : un stimulus est diffusé de manière répétitive. Dans ce train de stimuli semblables un stimulus différent est introduit de manière aléatoire. Le sujet doit indiquer à quel moment il détecte un changement. Cette procédure s'est avérée inefficace pour mettre en avant les capacités de discrimination des oppositions non maternelles (*Werker & Tees, 1984*)

<sup>7</sup> Procédure AX : soit A et X une des paires de stimuli présentées. Le sujet doit dire si X est identique ou différent de A.

<sup>8</sup> « Opposition maternelle » et « Opposition non maternelle » correspondent à la traduction de « native contrast » et « non native contrast » dans la littérature

cadre, la réorganisation perceptive constatée chez le nourrisson dépendrait de facteurs articulatoires.

#### I.1.2.b. Après un an

D'autres études se sont attachées à montrer que l'évolution de la perception chez l'enfant se poursuit après un an. C'est le cas de Simon et Fourcin (Simon & Fourcin, 1978), qui se sont intéressés à l'acquisition des oppositions maternelles chez un groupe d'enfants anglophones (de 2 à 14 ans) et un groupe d'enfants francophones (de 3 à 11 ans). Il leur a été proposé d'identifier les membres d'un continuum de VOT<sup>9</sup> représentant une opposition occlusive voisée-non voisée. Afin de respecter les paramètres acoustiques de chacune des deux langues, les valeurs de VOT présentées aux francophones<sup>10</sup> étaient plus longues que celles proposées aux anglophones<sup>11</sup>. Pour les deux groupes de locuteurs, les stimuli dont le VOT était inférieur à 30 ms étaient présentés suivis d'une transition de F1 montante et d'une transition de F1 neutre. Le F1 des stimuli dont le VOT était supérieur à 30 ms était fixé à la fréquence attendue pour la voyelle suivante.

---

<sup>9</sup> Délais d'établissement du voisement

<sup>10</sup> continuum [t]-[d] allant de -30 à 10 ms de VOT

<sup>11</sup> continuum [k]-[g] allant de 0 à 50 ms de VOT et [p]-[b] allant de -10 à 30 ms de VOT

Tableau 1 : Résumé des résultats de Simon et Fourcin (Simon & Fourcin, 1978).

	ANGLOPHONES	FRANCOPHONES
<b>VOT</b>	<p><u>2 ans</u> : identification correcte des extrêmes, stimuli intermédiaires identifiés au hasard</p> <p><u>3 ans</u> : identification progressive entre les deux extrêmes (voisé - non voisé)</p> <p><u>4 ans et +</u> : identification catégorielle</p>	<p><u>3-5 ans</u> : identification correcte des extrêmes, stimuli intermédiaires identifiés au hasard</p> <p><u>5-9 ans</u> : identification progressive d'une catégorie à l'autre</p> <p><u>9 ans et +</u> : identification catégorielle</p>
<b>F1</b>	<p><u>2-3 ans</u> : pas d'effet de F1</p> <p><u>4-6 ans</u> : léger effet de F1</p> <p><u>8 ans et +</u> : plus de réponse « voisé » quand F1 n'est pas neutralisé (idem adultes)</p>	<p><u>pour tous</u> : aucun effet de F1</p>

Pour les deux groupes, les scores d'identification s'amélioraient avec l'âge, mais les auditeurs anglophones étaient plus précoces que les francophones et obtenaient des scores catégoriels plus jeunes. Les frontières catégorielles se situaient à des valeurs de VOT plus courtes chez les anglophones que chez les francophones dont les performances n'ont pas été affectées par la neutralisation de F1. En anglais, le délai d'établissement du voisement est court pour les consonnes occlusives voisées, alors que celui des occlusives sourdes est long et comporte de l'aspiration. En français, les consonnes occlusives voisées sont produites avec un long prévoisement (VOT négatif), alors que le délai d'établissement du voisement est court. Les stimuli dont le délais d'établissement du voisement est long, comportent des transitions formantiques durant l'aspiration et au début de la portion vocalique, et la transition de F1 est presque inexistante. Les stimuli prévoisés et ceux dont le délai d'établissement du voisement est court, comportent une transition de F1 à l'initiale de la portion vocalique quand ils précèdent une voyelle ouverte, qui reflète l'ouverture rapide du conduit vocal. En français, la transition du F1 qui suit la consonne occlusive est donc toujours montante pour les deux membres (voisé et non voisé) de l'opposition. D'après les auteurs, l'absence d'effet de F1 s'explique par le fait qu'il ne constitue pas un indice distinctif en français dans les oppositions voisées-non voisées.

Contrairement à Simon et Fourcin (Simon & Fourcin, 1978), les monolingues francophones de l'étude de Hazan et Boulakia (Hazan & Boulakia, 1993) ont été affectés par les changements de transition de F1, quand les valeurs de VOT étaient ambiguës. D'après Hazan et Boulakia, il est probable que la localisation de la frontière chez les sujets de cette étude n'ait pas été affectée par la fréquence de la transition de F1 mais plutôt par la fréquence de F0 ou la

durée de la transition, comme les auditeurs francophones de l'étude de Serniclaes (Serniclaes, 1987).

Le développement de la perception catégorielle chez l'enfant a été également étudié par Hazan et Barrett (Hazan & Barrett, 2000). 84 enfants de 6 à 12 ans et 13 adultes ont identifié les membres de continua représentant les quatre oppositions phonémiques suivantes : « date »-« gate », « goat »-« koat », « sue »-« zoo » et « sue »-« shoe ». Pour l'ensemble des continua, les pentes des courbes d'identification des adultes étaient plus raides que celles des enfants, ce qui indique que les catégories phonémiques chez les adultes sont plus robustes et cohérentes. De plus les réponses des enfants étaient aléatoires pour les stimuli extrêmes auxquels les adultes ont été capables d'attribuer une catégorie phonémique discrète dans presque 100% des présentations. Bien qu'ils parviennent bien avant 3 ans à identifier ces phonèmes, les enfants ont éprouvé des difficultés à attribuer une seule catégorie à un même stimulus lorsque l'information était limitée (pour les stimuli synthétiques) ou ambiguë (à la frontière phonémique). Ces résultats s'expliquent par la différence de maturation et d'expérience linguistique entre adultes et enfants : ces derniers pourraient ne pas être suffisamment matures pour mettre en œuvre des stratégies d'analyse des indices acoustiques aussi efficaces que celles des adultes. De plus, de 6 à 12 ans le nombre d'enfants dont les performances de catégorisation étaient proches de celles des adultes augmentait, ce qui suggère que le développement de la cohérence et de la robustesse des catégories phonémiques ne s'achève pas après la première année de la vie et pourrait se poursuivre pendant l'adolescence.

### I.1.3. Les modèles

#### I.1.3.a. L'effet d'aimant perceptif.

Dans un premier temps, plusieurs exemplaires d'une voyelle synthétique stable ont été proposés à des adultes qui devaient désigner l'exemplaire le plus représentatif de la catégorie<sup>12</sup>. A partir de ce "meilleur exemplaire", d'autres exemplaires de cette voyelle ont été construits ("exemplaires périphériques") par variation par pas égaux de F1 et/ou F2. Lors d'une tâche de discrimination<sup>13</sup>, les enfants comme les adultes ont plus faiblement discriminé les paires de voyelles, quand le stimulus de référence (premier de la paire) était le meilleur exemplaire et le stimulus test (deuxième de la paire) était un exemplaire périphérique, que

---

<sup>12</sup>Tâche de "judgement of category goodness" dans la littérature

<sup>13</sup>Background stimulus

dans l'ordre de présentation inverse. Ce phénomène a été appelé l'effet d'aimant perceptif parce que le meilleur exemplaire en position de référence agit comme un aimant qui attire les autres exemplaires de la même catégorie phonétique en les rendant perceptivement "plus semblables". De plus, des enfants anglais et suédois de 6 mois ont montré un effet d'aimant perceptif plus fort pour des voyelles de leurs langues maternelles que pour des voyelles étrangères. Ces résultats ont mis en évidence un effet de l'input de la langue maternelle sur la perception de la langue à 6 mois, alors qu'un tel effet n'est observé qu'à partir de 10 mois pour les consonnes.

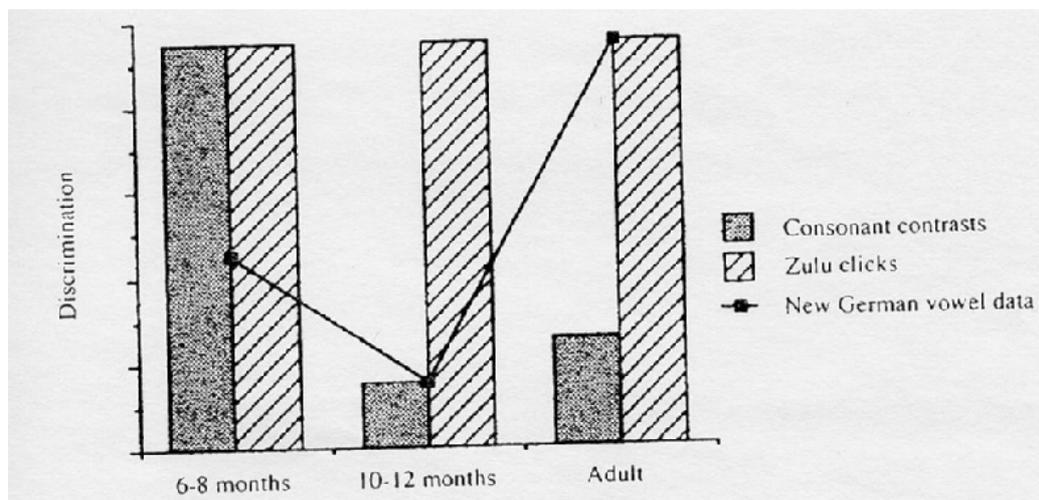


Figure 4 : Graphique extrait de Werker et Polka (J. F. Werker & L. Polka, 1993), résumant les différences entre la perception des voyelles non-maternelles et ses consonnes non-maternelles chez des auditeurs anglophones. Les barres grisées représentent les résultats rapportés par Werker et Tees (Werker & Tees, 1984) et Werker et Lalonde (Werker & Lalonde, 1988), sur la discrimination d'oppositions occlusive glottalisée sourde uvulaire-apicale du thompson et occlusive sonore rétroflexe-dentale du hindi. Les barres rayées représentent les résultats rapportés par Best et al. (Best et al., 1988) sur la discrimination d'une opposition de clicks apical-latéral du zulu. Les données représentées par la ligne noire sont les résultats de discrimination des oppositions vocaliques antérieure-postérieure arrondies relâchées et tendues de l'allemand.

Werker et Polka (J. F. Werker & L. Polka, 1993) ont montré que ces résultats étaient complémentaires à leurs résultats sur les consonnes (voir barre grisée de la Figure 4). Pour cela, les auteurs ont évalué chez des adultes et des nourrissons de 6-8 mois et 10-12 mois, l'effet de l'aimant perceptif. Des exemplaires naturels des oppositions antérieure-postérieure arrondies relâchées [ʏ][ɪ] et tendues [y][i] de l'allemand ont été employées. Bien qu'en anglais les voyelles arrondies soient toutes postérieures, les adultes anglophones, comme les locuteurs natifs, sont parvenus à discriminer ces oppositions. Toutefois, les anglophones ont estimé les voyelles postérieures plus prototypiques (meilleurs exemplaires de la voyelle

anglaise correspondante) que les voyelles antérieures<sup>14</sup>. L'effet d'aimant perceptif pour des oppositions maternelles et non maternelles pouvait donc être évalué grâce à ce matériel. Ces voyelles non maternelles ont été discriminées facilement par les adultes anglophones, mais elles ont également été clairement assimilées à des catégories phonologiques maternelles<sup>15</sup>. A 10-12 mois, les nourrissons anglophones se sont montrés incapables de discriminer ces oppositions, alors qu'à 6-8 mois une proportion significative des nourrissons (35-40%) les discriminait. Les résultats ont indiqué une forte discriminabilité des oppositions chez les adultes, mauvaise chez les 10-12 mois et intermédiaire chez les 6-8 mois (voir ligne pleine de la Figure 4). Comme l'ordre de présentation des stimuli était contrebalancé, il a été possible de constater qu'à 6-8 mois, l'effet d'aimant perceptif se produit : lorsque la voyelle prototypique était le stimulus de référence (voyelle postérieure), elle était difficilement discriminée de l'autre stimulus, et la discrimination était meilleure quand le stimulus de référence était moins prototypique (voyelle antérieure).

Werker et Polka (J. F. Werker & L. Polka, 1993) ont également montré que des nourrissons anglophones de 4 mois produisent le même patron de réponse qu'à 6-8 mois sans montrer d'effet d'aimant perceptif et donc sans effet spécifique de leur langue maternelle. Ces résultats indiquent que le patron perceptif observé pour les consonnes et les voyelles chez les nourrissons est similaire mais se produit plus précocement pour les voyelles que pour les consonnes. La langue maternelle de l'auditeur semble donc influencer la structure des catégories vocaliques dès 6 mois, conformément à la suggestion de Kuhl (Kuhl, 1993). D'autre part, la perception des voyelles est spécifique à la langue maternelle à 10-12 mois également, puisque les performances déclinent pour les oppositions non maternelles. Ces résultats sont conformes à l'hypothèse que la réorganisation de la perception de la parole reflète une influence émergente de la phonologie de la langue maternelle : une opposition phonétique qui n'est plus employée dans l'environnement linguistique, n'est plus discriminée à 10-12 mois. De plus, la perception des voyelles se modifie entre 6-8 mois et 10-12 mois, puisque ces derniers ont montré un effet de leur langue maternelle lors de la perception de voyelles non maternelles (effet d'aimant perceptif), qui n'a pas été observé à 6-8 mois. De nouveaux changements se produisent après cet âge, comme en témoigne les bons scores de discrimination des oppositions non maternelles par les adultes anglophones. Les adultes

---

<sup>14</sup> Les sujets adultes anglophones devaient associer chaque stimulus aux voyelles contenues dans les mots anglais "hook" [hʊk], "ooze" [uz], "beat" [bit] ou "bit" [bit], et devaient indiquer si l'association était plus ou moins bonne sur une échelle de 1 à 5.

semblent avoir plus facilement accès au détail phonétique et acoustique des voyelles que les nourrissons de 10-12 mois, et peuvent l'utiliser pour discriminer des oppositions non maternelles. La représentation de l'information vocalique disponible chez l'adulte semble être plus élaborée et fournit plus de flexibilité que celle disponible chez les nourrissons de 10-12 mois.

L'effet d'aimant perceptif a également été démontré pour des oppositions consonnantiques. La recherche d'Iverson, Kuhl, Akahane, Diesch, Tohkura, Kettermann, Siebert [Iverson, 2003 #251] avait pour but d'étudier l'expérience linguistique précoce chez le bébé et de mieux connaître la manière dont elle peut entraver la perceptibilité des phonèmes non maternels à l'âge adulte. La perception d'un continuum /r/-/l/ a été étudiée chez des locuteurs de l'anglais, langue dans laquelle cette opposition est phonémique. Le continuum a également été présenté à des locuteurs monolingues japonais et allemand, les premiers étant connus pour avoir de grandes difficultés à acquérir cette opposition qui n'est pas phonémique dans leur langue, alors que les locuteurs de l'allemand y parviennent bien que /r/ ne soit pas un phonème de leur langue non plus.

Dans un premier temps, les sujets ont dû juger de la qualité des stimuli en estimant s'ils étaient de bons représentants (échelle de 1 à 7) du phonème adéquat suivant leurs langues maternelles<sup>16</sup>. Les sujets devaient également juger de la similarité des paires de stimuli présentées dans l'ordre aléatoire, sur une échelle de 1 (différents) à 7 (identiques).

La procédure de MultiDimensional Scaling (MDS), représentée *Figure 5*, permet de rendre compte des résultats à ces deux tâches : les stimuli perceptivement semblables sont représentés par des ronds proches et les stimuli différents par des ronds éloignés, et la catégorie qui leur a été attribuée est distinguée par la couleur du rond. Chez les japonophones, les ronds sont presque uniformément répartis sur l'espace perceptif et tous, sauf un stimulus, ont été identifiés comme /r/. En revanche, chez les locuteurs anglophones, l'espace perceptif est séparé en deux, avec d'un côté un regroupement de stimuli dont la fréquence de F3 représentait /r/, et plus loin sur l'espace perceptif un autre regroupement de stimuli dont la fréquence de F3 représentait /l/. Les locuteurs allemands avaient un patron perceptif semblable aux anglophones. Une tâche de discrimination a également été administrée aux sujets. Les résultats confirment les tendances observées grâce au MDS : les locuteurs japonais n'ont pas discriminé le continuum tandis que les anglophones et les germanophones ont

---

<sup>16</sup> [r] et [l] pour les anglophones, et les germanophones et [r] et [w] pour les japonophones.

discriminé les stimuli à la frontière phonémique attendue, mais elle était moins saillante chez les germanophones.

Les locuteurs du japonais n'ont pas été affectés par les changements de fréquence de F3, mais les stimuli avec un F2 élevé recueillaient des scores d'identification plus élevés que les stimuli dont F2 était bas (perçu /w/). Leur plus grande sensibilité à F2 peut être à l'origine de l'assimilation des stimuli avec un F2 bas au phonème /w/ du japonais. Toutefois l'effet d'aimant perceptif n'a pas pu être établi chez ces sujets, car ils n'ont jugé qu'aucun des stimuli ne représentait un bon exemplaire d'un phonème japonais. En revanche, chez les germanophones, l'effet d'aimant perceptif a été observé pour /l/<sup>17</sup> dont le meilleur exemplaire avait un F2 supérieur à celui du meilleur exemplaire des anglophones.

L'espace perceptif des japonais s'est avéré être inadéquat et non insensible à l'opposition /r/-/l/ : il semblerait qu'il ne soit pas "réglé" ("miss-tuned") de manière à percevoir l'opposition /r/-/l/. D'après les auteurs, l'espace perceptif des japonophones interfère dans l'acquisition de cette opposition, en s'appuyant sur des indices acoustiques non pertinents (variations de F2) au détriment des indices acoustiques pertinents (variations de F3). De plus, cette sensibilité à des différences acoustiques non pertinentes requiert une attention accrue, un temps de traitement plus long quand il s'agit de détecter les différences pertinentes de F3, même quand les adultes japonophones ont pu former des représentations correctes de la catégorie. Les résultats des locuteurs allemands, dont l'espace perceptif était proche de celui des anglophones, confortent ces hypothèses. Les germanophones n'ont pas éprouvé de difficultés à acquérir l'opposition /r/-/l/, car leur sensibilité perceptive, bien que légèrement inférieure à celle des anglophones, n'interfèrerait pas avec l'apprentissage de ces catégories.

---

<sup>17</sup> les sujets germanophones ont considérés les stimuli comme étant de mauvais représentant de leur fricative uvulaire, et de bons représentants de /l/

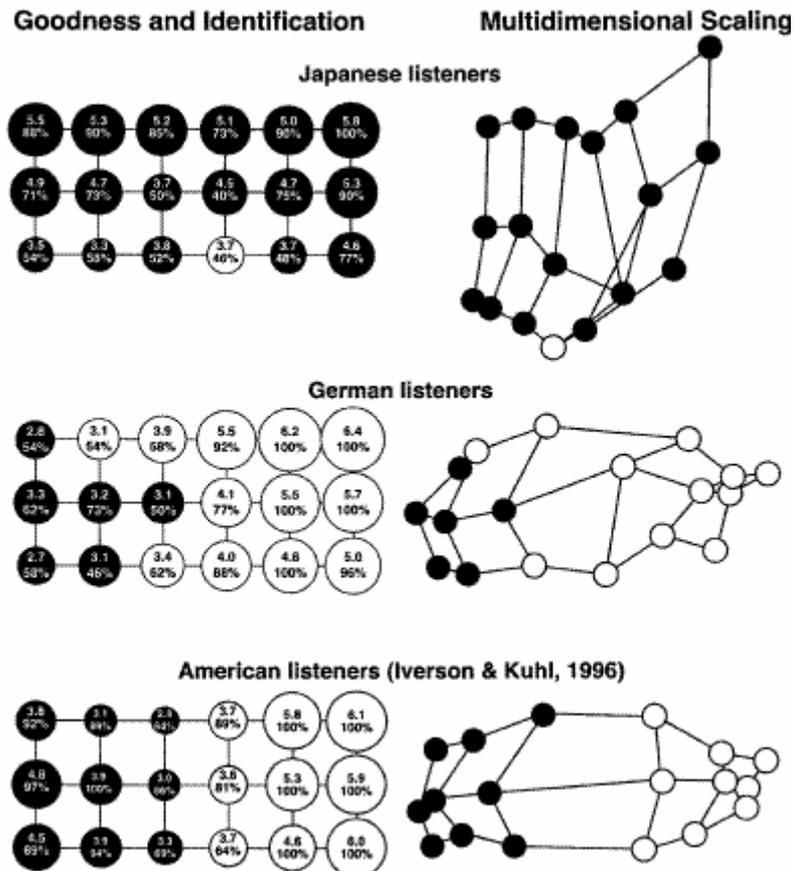


Figure 5 : Représentation des performances de jugement (goodness) d'identification et de l'espace MDS de l'étude Iverson et al. Siebert [Iverson, 2003 #251] pour les locuteurs japonais (haut), allemands (milieu) et anglais (bas). La représentation des tâches de jugement et d'identification est à gauche : la taille des cercles indique la qualité du jugement (plus le cercle est gros plus le stimulus a été estimé comme représentatif de la catégorie), et la couleur des ronds correspond au phonème choisi par les auditeurs pour représenter la catégorie en question (noir pour /r/ pour tous les auditeurs, blanc pour /l/ chez les anglophones et les germanophones et /w/ chez les japonophones). Les chiffres à l'intérieur des cercles donnent le pourcentage de bonne représentativité du stimulus pour la catégorie concernée. Les espaces MDS à droite représentent physiquement le degré de similarité des stimuli. Les lignes entre les stimuli indiquent l'éloignement entre les stimuli (plus les stimuli sont similaires plus ils sont proches sur l'espace).

### I.1.3.b. Le modèle d'assimilation perceptive (PAM)

Best et al. (Best et al., 1988) ont développé le "Perceptual Assimilation Model" (PAM), pour rendre compte des performances constatées lors de la perception des oppositions maternelles et non maternelles chez l'adulte et l'enfant. Le modèle PAM propose que chez l'adulte, la discriminabilité d'une opposition non maternelle dépend de la manière dont l'auditeur va assimiler ces phonèmes non maternels aux phonèmes de sa langue maternelle.

- 1 des consonnes non maternelles faiblement discriminées et considérées comme représentant une même consonne maternelle = "Single Category assimilation" ou assimilation [SC]
- 2 des consonnes non maternelles maximalement discriminées et assimilées à deux consonnes maternelles distinctes = "Two Category assimilation" ou assimilation [TC].
- 3 des consonnes non maternelles discriminées et assimilées à une même consonne maternelle sans avoir le même degré de similarité à la consonne maternelle à laquelle elles renvoient = « Category Goodness [CG] difference assimilation » ou différence d'assimilation [CG].
- 4 les performances de discrimination lors d'une assimilation [TC] seront meilleures que celles d'une assimilation [CG] qui seront meilleures que celles d'une assimilation [SC] :

$$[SC] < [CG] < [TC]$$

La "similarité perceptive" est une notion centrale du modèle PAM. Cette notion met en œuvre les informations articulatoires dynamiques, c'est-à-dire la manière dont les gestes articulatoires (action des articulateurs, lieu de constriction, degré de constriction) forment le signal de parole. Cette définition diffère de celle d'hypothèses alternatives telles que l'hypothèse de la saillance psycho-acoustique qui considère que la similarité perceptive (et plus généralement la perception de la parole) se base sur des traits acoustiques de source neutre. La notion de similarité perceptive permet au modèle PAM de rendre compte des résultats de discrimination des nourrissons :

- avant 10-12 mois, les performances de discrimination des nourrissons seraient guidées par la détection de distinctions articulatoires simples et universelles (type apex vs. lèvres).
- après 10-12 mois, les nourrissons apprendraient à reconnaître les patrons articulatoires propres à leur langue maternelle, ce qui modifierait la discrimination des oppositions non maternelles par apprentissage ou "réglage" perceptif par leur langue maternelle.
- le développement précoce de la perception s'adapterait à la combinaison ou "constellation" de gestes articulatoires de la langue maternelle au niveau segmental et syllabique vers 10-12 mois, sans que les nourrissons ne reconnaissent l'information phonologique à proprement parler (i.e des éléments segmentaux d'un système organisé en oppositions minimales).

Dans une série de récentes expériences (Best & McRoberts, 2003) Best et al. ont apporté des preuves expérimentales soutenant une partie des hypothèses avancées par le modèle PAM. La première expérience évalue la perception d'oppositions de la langue isizulu<sup>18</sup> produites uniquement par une distinction laryngale et qui implique la modification d'un seul organe :

- les occlusives bilabiales non aspirées plosive [pu] et implosive [bu]<sup>19</sup>, pour lesquelles des adultes anglophones (Best, McRoberts, & Goddell, 2001) ont montré un patron d'assimilation [SC] (faiblement discriminées).
- les occlusives vélares sourdes aspirée [k<sup>h</sup>a] et éjective [k'a]<sup>20</sup> pour lesquelles des adultes anglophones ont montré un patron d'assimilation [CG] (bonne discriminabilité).
- les fricatives latérales voisée [ɬ] et non voisée [ɮ]<sup>21</sup>, pour lesquelles des adultes anglophones ont montré un patron d'assimilation [CG] (bonne discriminabilité).

Entre 6-8 mois et 10-12 mois, les performances de discrimination de ces oppositions non maternelles produites par le même organe ont décliné. Les trois oppositions ont été discriminées par les nourrissons anglophones de 6-8 mois, ceux de 10-12 mois n'en ont discriminé aucune des trois. Ces résultats confortent l'hypothèse PAM. Les nourrissons de 6-8 mois se sont montrés sensibles aux oppositions non maternelles impliquant une distinction entre gestes articulatoires simples, puisqu'ils ont discriminé les trois oppositions isizulu dont l'articulation se distinguait par l'emploi du même articulateur. Les nourrissons de 10-12 se sont accoutumés à la combinaison de gestes de leur langue maternelle, puisqu'ils n'ont pas discriminé ces oppositions non maternelles. Les adultes ont perçu ces oppositions non maternelles à travers le filtre de la phonologie de leur langue maternelle alors qu'à 10-12 mois les nourrissons ne se sont pas montrés capables d'extraire l'information phonologique en elle-même. Les 10-12 mois n'ont pas discriminé les oppositions non-maternelles, contrairement aux adultes, mais ces derniers ont discriminé ces oppositions en montrant les patrons d'assimilation prédits ([SC] pour [pu] [bu], [CG] pour [k<sup>h</sup>a],[k'a], [TC] pour [ɬ] [ɮ]). Ils ont

---

<sup>18</sup>Langue parlée par le peuple zulu

<sup>19</sup>L'implosive [b] est réalisée sans pré-voisement ni aspiration, la plosive [p] est réalisée pré-voisée.

<sup>20</sup>L'articulation de cette opposition implique l'ouverture de la glotte pour la vélaire aspirée et la fermeture pour la vélaire éjective.

<sup>21</sup>La distinction articulatoire distinguant [ɬ] de [ɮ] implique une distinction de geste laryngal (glottal) impliquant l'abduction des cordes vocales pour la fricative sourde mais pas la fricative sonore, distinction qu'on retrouve dans l'opposition anglaise [s]-[z]. Une constriction du bout et du dos de la langue similaire au [l] anglais est produite de manière à ce que le flux d'air soit dirigé vers les côtés de la langue. Cette constriction est toutefois supérieure à celui d'un [l] anglais, afin de produire une turbulence.

donc discriminé les oppositions non maternelles en fonction de la phonologie de leur langue maternelle. Les nourrissons de 10-12 mois n'ont pas montré de patron d'assimilation et n'ont pas distingué ces oppositions. Ces nourrissons n'ont pas encore acquis les principes phonologiques de leur langue maternelle, puisqu'ils ne montrent pas d'assimilation à la phonologie de leur langue, contrairement aux adultes.

Dans l'expérience 2, l'opposition du tigrinya<sup>22</sup> entre occlusive éjective bilabiale [p'] et alvéolaire [t'] impliquant 2 organes différents (lèvres vs. alvéoles), l'opposition anglaise entre fricative voisée [z] et non voisée [s] de l'anglais<sup>23</sup> et l'opposition latérale fricative [ɬ][ɮ] de l'isizulu produites par le même organe ont été proposées aux auditeurs, après avoir été parfaitement discriminées par des adultes anglophones. L'opposition tigrinya [p'] [t'] a été discriminée par les nourrissons de 6-8 et 10-12 mois, mais les performances de discrimination des oppositions [s][z] comme [ɬ][ɮ] à 10-12 mois étaient inférieures à celles des nourrissons de 6-8 mois. Bien que l'opposition [s][z] apparaisse dans leur environnement linguistique, les nourrissons de 10-12 mois ne l'ont pas discriminée. Les propriétés qui distinguent l'opposition éjective bilabiale-alvéolaire du tigrinya des deux autres oppositions, résident dans la mobilisation de plusieurs organes pour la première, alors que les deux membres des oppositions fricatives isizulu et anglaise sont produits par le même organe. Les résultats confirment l'hypothèse PAM. Les distinctions impliquant des organes différents (opposition [p'] [t'] du tigrinya) ont été discriminées à 10-12 mois et à 6-8 mois. Les distinctions impliquant un même organe ont été discriminées à 6-8 mois seulement (oppositions [pu][bu], [k<sup>h</sup>a][k'a], [ɬ][ɮ] de l'isizulu et opposition [s][z] de l'anglais). A 10-12 mois, l'hypothèse qu'une opposition est discriminable lorsqu'elle est produite par deux organes, semble dans certains cas supplanter les effets plus généraux qu'induisent l'exposition ou "accoutumance" ("attunement") à la langue maternelle : l'opposition maternelle [s][z] de l'anglais, comme l'opposition non maternelle de l'isizulu [ɬ][ɮ], produites par le même organe, n'ont pas été discriminées par les nourrissons de 10-12 mois, qu'elles soient phonologiquement distinctives dans leur langue maternelle ou non. Entre 6-8 mois et 10-12 mois les performances de discrimination ont décliné pour les oppositions fricatives maternelles et non maternelles produites par le même organe ([s][z] de l'anglais et [ɬ][ɮ] de l'isizulu), mais aucun déclin pour

---

<sup>22</sup>Langue parlée en Ethiopie

<sup>23</sup>Requis et acoustiquement similaire au contraste isizulu fricatif latéral

la distinction de lieu d'articulation non maternelle impliquant des organes différents ([p'] [t'] du tigrinya)

La théorie PAM suppose qu'afin de devenir des auditeurs et des locuteurs de leur langue maternelle, les nourrissons doivent connaître le geste articulatoire produit par le locuteur. L'information articulatoire est primordiale dans cette théorie parce qu'elle serait plus pertinente, basique et économique que le traitement de l'information acoustique en tant que tel.

Tableau 2 : Récapitulatif des hypothèses et des preuves expérimentales constituées par le *Perceptual Assimilation Model* (Best & McRoberts, 2003).

	HYPOTHESES	OPPOSITIONS DISCRIMINEES	
		un organe	plusieurs organes
<b>ADULTES</b>	Assimilent les phones non maternels à des phones maternels. [SC] < [CG] < [TC]	[pu]-[bu] SC < [k <sup>h</sup> a]-[k'a] CG < [ʃ]-[ʒ] TC	[p'] ≠ [t'] TC
<b>NOURRISSONS 6-8 mois</b>	Détection des distinctions articulatoires simples	[pu] ≠ [bu], [k <sup>h</sup> a] ≠ [k'a], [ʃ] ≠ [ʒ], [s] ≠ [z]	[p'] ≠ [t']
<b>NOURRISSONS 10-12 mois</b>	Reconnaissent les patrons articulatoires propres à leur langue maternelle	[pu]=[bu], [k <sup>h</sup> a]=[k'a], [ʃ]=[ʒ] [s] = [z]	[p'] ≠ [t']
	Ne reconnaissent pas la phonologie de leur langue maternelle (pas d'assimilation)	[pu]-[bu] = [k <sup>h</sup> a]-[k'a] = [ʃ]-[ʒ]	

### I.1.3.c. Couplage entre prédispositions

Chez le nourrisson, les prédispositions à percevoir les traits susceptibles de contribuer à des distinctions lexicales dans l'une des multiples langues du monde sont désactivées par l'exposition à la langue maternelle entre l'âge de 6 et 12 mois. Toutefois, l'acquisition du langage ne se limite pas à désactiver certaines prédispositions mais s'accompagne également de couplages entre prédispositions (Serniclaes, 2000). Chaque langue n'utilise qu'une faible partie des traits phonétiques potentiels pour générer les distinctions entre les langues. Le français n'utilise pas les oppositions phonétiques entre consonnes occlusives et clicks, opposition de mode d'articulation utilisée en zoulou ou entre consonnes dentales et rétroflexes, opposition de lieu d'articulation utilisée en hindi (Serniclaes, 2000). Les langues ne se contentent pas de sélectionner certaines oppositions parmi celles que le nourrisson distingue. Des restructurations des oppositions distinguées de manière innée par le nourrisson sont également opérées. Ces restructurations consistent à regrouper des catégories phonétiques. Prenons par exemple le cas des oppositions de timing laryngé. L'étude des

différences inter-linguistiques dans l'utilisation du timing laryngé montre que le système phonatoire peut produire trois catégories de timing laryngé de manière fiable, avec respectivement un VOT négatif (catégorie "voisée" /b, d, g/) un VOT positif bref ("non voisé" /p, t, k/) et un VOT positif long ("aspirée" /p<sup>h</sup>, t<sup>h</sup>, k<sup>h</sup>/) (Lisker & Abramson, 1970). Dans les langues qui ne comportent que deux catégories de timing laryngé, ce sont souvent des valeurs intermédiaires ou "alternées" entre les 3 catégories de base qui apparaissent. Par exemple, les occlusives /b, d, g/ de l'anglais en position initiale peuvent être produites indifféremment comme voisées ou non voisées. Les 3 catégories de VOT sont présentes en anglais mais l'opposition entre deux d'entre elles (voisée/non voisée) ne permet pas de former de paires minimales et n'a donc pas de fonction linguistique. Un exemple de catégorie intermédiaire est fourni par le VOT des /p, t, k/ en français qui se situe entre celui des non-voisées et celui des aspirées (Serniclaes, 1987). Les combinaisons entre traits phonétiques se traduisent par des déplacements de frontières catégorielles. Dans certaines langues (français ou espagnol), la frontière perceptive de VOT se trouve à 0 ms en moyenne contre 35 ms en anglais, en accord avec les deux catégories de production du VOT existant dans la langue (Serniclaes, 1987).

Vers 10 mois, le nourrisson exposé aux sons de la langue maternelle perd sa sensibilité aux frontières phonémiques non pertinentes pour cette langue. Outre la désactivation, de nouvelles frontières phonémiques absentes chez les nourrissons avant 10 mois émergent. Ces oppositions phonémiques sont le résultat du couplage entre plusieurs prédispositions. C'est par exemple le cas du voisement en français et en espagnol. Pour réaliser l'opposition [b] [p], ces langues emploient une distinction entre VOT négatif et VOT positif court, avec une frontière catégorielle au voisinage de 0 ms. Les frontières observées chez les nourrissons distinguent une catégorie voisée [b], une catégorie sourde [p] et une catégorie sourde aspirée [p<sup>h</sup>]. Chez l'adulte anglais, la prédisposition à l'opposition [b][p] a été désactivée, mais l'opposition entre occlusive sourde [p] et occlusive sourde aspirée [p<sup>h</sup>] a été maintenue. En français, les deux prédispositions ont été couplées pour former une distinction entre occlusive voisée [b] et sourde légèrement aspirée [p]. Le fait que la frontière soit localisée à 0 ms en français, signifie que pour identifier le voisement, les VOT négatif et positif ont la même importance, et donc que les prédispositions catégorielles sont à la fois activées et couplées au cours du développement perceptif. Les occlusives sourdes aspirées existent en français, mais sont des

allophones de l'opposition de sonorité puisqu'elles dépendent du contexte dans lequel la consonne a été produite. Le système perceptif qui doit activer et coupler les prédispositions pertinentes dans la langue maternelle, doit également identifier les réalisations allophoniques des oppositions phonologiques comme des réalisations contextuelles des catégories phonémiques dans la langue. De cette manière, le nombre de catégories indépendantes pour chaque trait phonologique est identifié et la présence d'allophones n'affecte pas la désactivation des prédispositions non pertinentes pour la langue maternelle.

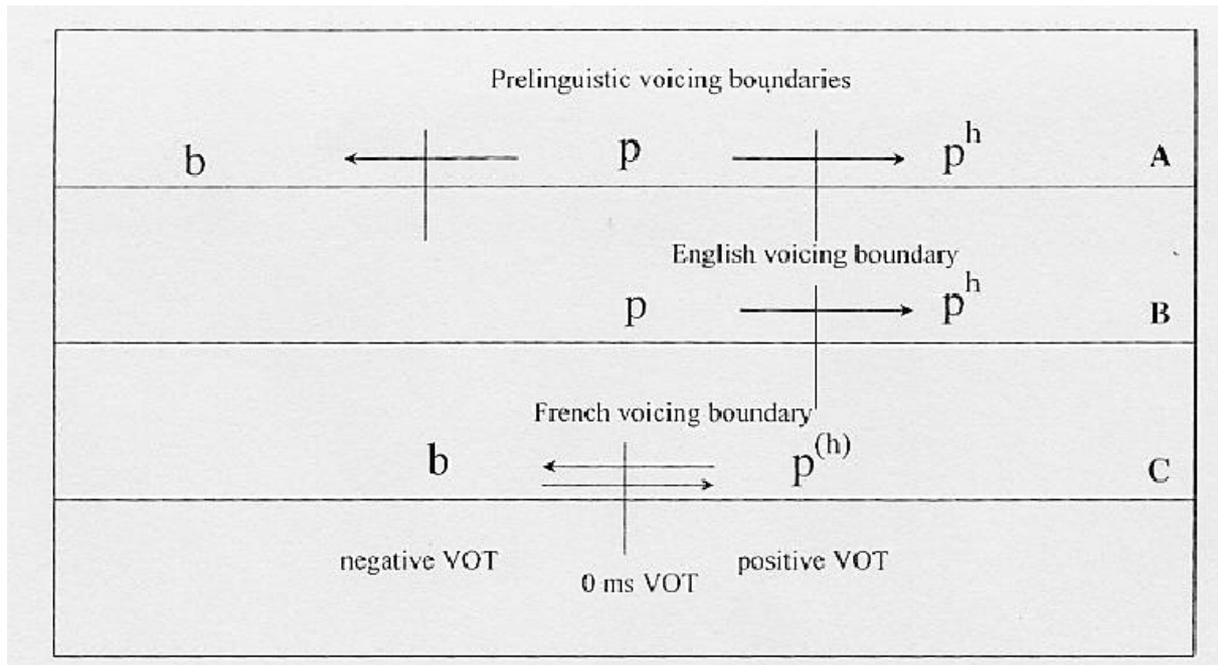


Figure 6 : Frontières perceptives entre les catégories de voisement chez les nourrissons avant 10 mois (A), en anglais (B), et en français (C). Extrait de (Serniclaes, Van Heghe, Mousty, Carré, & Sprenger-Charolles, 2004).

#### I.1.3.d. Le modèle de la saillance acoustique

Le modèle de Burnham, Tyler et Horlyck (Burnham, Tyler, & Horlyck, 2002), s'appuie sur les résultats préalablement présentés sur la perception des consonnes et des voyelles chez le nourrisson, l'enfant et l'adulte, pour rendre compte de l'évolution de la perception de la parole chez l'homme et sur les résultats de l'étude de Burnham, Earnshaw et Clark (Burnham, Earnshaw, & Clark, 1991). La population de l'étude se composait d'auditeurs anglophones d'environ 10 mois (nourrissons), 2 ans, 6 ans et adultes, qui ont identifié un continuum de VOT allant de - 70 ms à + 70 ms. La variation de VOT incluait l'opposition entre [b] prévoisé et [p] voisé, non pertinente en anglais et l'opposition entre [p] voisé et le [ph] aspiré qui coïncide avec l'opposition phonologique /b/-/p/ en anglais. La perception catégorielle des

deux oppositions dépendait de l'âge : les performances s'amélioraient avec l'âge pour l'opposition anglaise alors que, pour l'opposition non maternelle, les performances étaient inférieures à 6 ans qu'à 2 ans, et s'améliorent de nouveau à l'âge adulte. A 6 ans, avec l'entrée à l'école primaire, les compétences phonémiques et les compétences de lecture sont activement sollicitées. C'est pourquoi le modèle de Burnham ne tient pas seulement compte de l'expérience linguistique mais envisage que la lecture affecte la perception des oppositions maternelles et non maternelles. Ce modèle illustre la perception de la parole par une succession de périodes appelées couches (*Figure 7*).

- la période phonémique constitue la première couche, qui débute à 10-12 mois. Le nourrisson devient alors sensible à la pertinence phonologique des oppositions de la parole, et l'absence d'exposition à une opposition suffit à ce qu'elle ne soit plus discriminée (même si elle est maintenue dans l'environnement par le biais des allophones de la langue maternelle). Les oppositions phonologiquement pertinentes sont maintenues. L'absence d'exposition à une opposition atténue sa discriminabilité sans en empêcher la discrimination, ce qui a pour conséquence de détourner l'attention de l'enfant des oppositions qu'il pouvait discriminer auparavant.
- la seconde couche correspond à la période sémantique qui intervient au cours de la deuxième année de vie, où l'enfant commence à être sensible au sens des mots et détourne progressivement son attention du détail phonétique. Il devient capable de faire des distinctions phonétiques et d'associer un mot à un objet.
- la troisième couche est la période orthographique durant laquelle l'apprentissage de la lecture servirait à diriger l'attention de l'enfant vers les éléments phonémiques de la parole qui sont cruciaux dans un système orthographique.

### Influence progressive des couches de perception de la parole

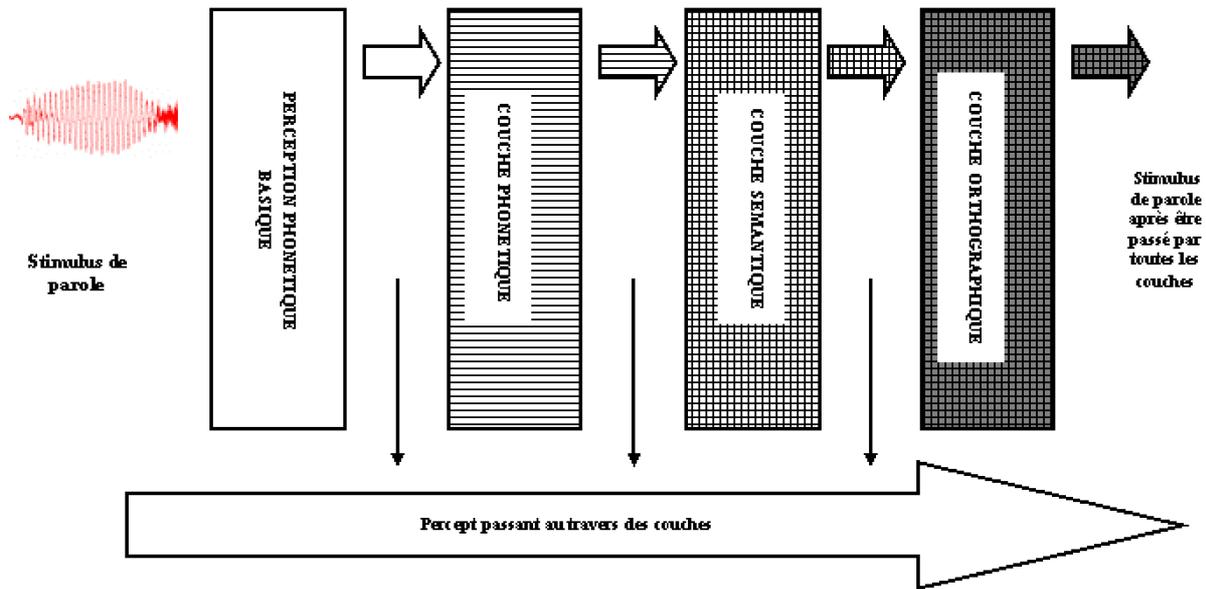


Figure 7 : Traduction de l'illustration du modèle de l'évolution de la perception de la parole de Burnham (Burnham et al., 2002).

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats des études rendant compte de l'évolution de la perception des oppositions maternelles et non maternelles.

	<b>Avant 4 mois</b>	<b>6-8 mois</b>	<b>10-12 mois</b>	<b>Après 1 an</b>	<b>Adultes</b>
	Pas d'influence de la langue maternelle	Influence de la langue maternelle plus précoce pour les voyelles que pour les consonnes.	Influence de la langue maternelle pour les consonnes et les voyelles.	Influence de la langue maternelle, tout en continuant à améliorer leurs catégories perceptives.	Influence majeure de la langue maternelle et bonne perception oppositions non maternelle avec une méthodologie suffisamment sensible. ( <i>Hazan &amp; Barrett, 2000; Werker et al., 1981</i> )
Consonnes	( <i>Werker et al., 1981; Werker &amp; Tees, 1984</i> )	( <i>Werker et al., 1981; Werker &amp; Tees, 1984</i> )	( <i>Werker et al., 1981; Werker &amp; Tees, 1984</i> )	( <i>Hazan and Barrett, 2000, Simon and Fourcin, 1978, Werker et al., 1981</i> )	
	-Oppositions non maternelles : bonne discrimination	-Oppositions non maternelles : discrimination moyenne	-Oppositions non maternelles : absence de discrimination	-Oppositions non maternelles : absence de discrimination	-Oppositions non maternelles : absence de discrimination avec une procédure "category change procedure" <sup>6</sup> bonne discrimination avec une procédure AX <sup>7</sup>
	-Oppositions maternelles : bonne discrimination		-Oppositions maternelles : bonne discrimination	-Oppositions maternelles : bonne discrimination et amélioration avec l'âge	-Oppositions maternelles : bonne discrimination
Voyelles	( <i>J. F. Werker &amp; L. Polka, 1993</i> )	( <i>Kuhl, 1993; J. F. Werker &amp; L. Polka, 1993</i> )	( <i>J. F. Werker &amp; L. Polka, 1993</i> )		( <i>J. F. Werker &amp; L. Polka, 1993</i> )
	-Oppositions non maternelles : bonne discrimination - Pas d'effet d'aimant perceptif	-Oppositions non maternelles : discrimination moyenne - Effet d'aimant perceptif	-Oppositions non maternelles : absence de discrimination - Pas d'effet d'aimant perceptif		-Oppositions non maternelles : bonne discrimination - Effet d'aimant perceptif

## I.2. La pondération des indices acoustiques

Les travaux sur la perception catégorielle de la parole montrent comment l'auditeur parvient à regrouper des variants d'un son dans une même classe phonémique malgré des configurations acoustiques différentes et contextuellement variables. Il y a toutefois un autre niveau de complexité dans la relation entre indices acoustiques et phonèmes, provenant de la variété des indices désignant le même percept. Divers travaux ont montré que, lorsque plusieurs indices sont disponibles, ils influencent ensemble le percept résultant. Ce phénomène est appelé intégration perceptive et il se manifeste par des relations de compensation (perceptual "tradeoffs" (Repp, 1982), c'est-à-dire par le fait qu'un changement dans la valeur d'un indice acoustique peut être contrebalancé par un changement dans la valeur d'un deuxième indice, lui aussi pertinent individuellement pour la même distinction phonétique (Calliope, 1989).

### I.2.1. La pondération des indices acoustiques chez l'adulte

Fitch, Halwes, Erickson et Liberman (Fitch, Halwes, Erickson, & Liberman, 1980) ont examiné les compensations perceptives entre indices indiquant la présence d'une consonne occlusive suivant une fricative. Ils ont manipulé les indices suivants :

- un continuum de silence, allant d'une longue durée de silence indiquant la présence d'une occlusive, jusqu'à un silence court qui indiquait l'absence d'occlusive.
- les transitions qui indiquaient soit la présence, soit l'absence d'une occlusive.
- pour chaque élément du continuum de silence deux stimuli étaient générés, en couplant les deux types de transitions avec chaque durée de silence.

L'auditeur avait pour tâche d'identifier les stimuli en indiquant s'ils entendaient "slit" ou "split". De manière générale dans les deux conditions une grande quantité de silence signalait la présence d'occlusive, et une faible quantité de silence signalait l'absence d'occlusive. Mais en fonction de la transition, la durée de silence nécessaire n'était pas la même. Pour qu'une occlusive soit perçue, la durée de silence nécessaire diminuait quand les transitions annonçaient la présence d'une occlusive, et augmentait quand les transitions annonçaient l'absence d'occlusive. Les résultats montrent que l'effet d'un indice est moindre quand un second indice est présent, ce qui suggère que leurs effets sont interactifs.

Dans la même étude, Fitch et al. ont montré que des indices signalant une opposition peuvent être équivalents. Dans les stimuli de cette expérience, les deux indices précédemment présentés :

- soit coopéraient : la durée de silence et la transition indiquaient toutes deux la présence (silence long + présence de transition) ou l'absence d'occlusive (silence court + absence de transition)
- soit s'opposaient : l'un indiquant par exemple la présence d'occlusive et l'autre l'absence.

Deux stimuli signalant deux percepts différents étaient facilement distingués quand les deux indices coopéraient. Quand le même percept était désigné par des indices différents, les stimuli n'étaient pas discriminés. Les sujets ont considéré que les stimuli désignant l'absence d'occlusive par exemple étaient équivalents, qu'elle soit représentée par l'absence de silence ou par la configuration des transitions. En dépit des différences acoustiques évidentes entre la durée du silence et les transitions des formants, la présence de l'un ou l'autre était suffisante pour arriver au même percept. De même que la perception catégorielle montre que les variations intra-catégorielles du même indice sont imperceptibles, la compensation perceptive montre que deux indices acoustiques différents sont perceptivement équivalents quand ils signalent le même percept. Le système perceptif est donc capable de traiter des valeurs distinctes du même indice comme étant équivalentes, et il est également capable de traiter deux indices différents du même percept comme étant équivalents.

Mais un grand nombre d'autres études ont montré que des indices contribuant au même percept n'ont pas nécessairement le même poids perceptif. Dorman, Studdert-Kennedy et Raphael (Dorman, Studdert-Kennedy, & Raphael, 1977) ont conduit une étude dont le but était de déterminer la contribution du bruit d'explosion et des transitions des formants dans la perception du lieu d'articulation des occlusives voisées. En modifiant des syllabes naturelles, les auteurs ont créé des stimuli consonne-voyelle-consonne, en combinant de 5 manières différentes, le bruit d'explosion, l'aspiration et les transitions initiales des formants de la voyelle :

- présence des 3 indices
- absence d'aspiration et de transition
- absence de transition

- absence de bruit d'explosion et d'aspiration
- absence de bruit d'explosion.

L'identification de la consonne occlusive [b] a été aussi efficace pour la syllabe naturelle comportant les trois indices, que pour le stimulus comportant les transitions seules + voyelle (absence de bruit d'explosion et d'aspiration). En revanche le bruit d'explosion (sans transition) était un indice peu fiable. Le patron de résultat inverse a été obtenu pour la consonne vélaire [g] dont les transitions courtes ont été moins efficaces que pour les autres consonnes [b] et [d]. Les auteurs ont également noté que l'importance du bruit d'explosion varie en fonction de la voyelle suivante : les différences sont particulièrement notables entre voyelles antérieures non arrondies et voyelles postérieures arrondies, le bruit d'explosion étant plus efficace lorsque la cavité orale est plus grande.

Cette étude a montré que le poids relatif du bruit d'explosion et des transitions (mesuré par l'effet de l'absence de l'indice) diffère en fonction du lieu d'articulation de la consonne et de la voyelle suivante. Le bruit d'explosion et la transition entretiennent des relations inverses : quand le poids de l'un est élevé, le poids de l'autre est faible. Ces observations s'expliquent par des données acoustiques et physiologiques. L'énergie de l'explosion dépend de l'aire de la constriction de la cavité antérieure au lieu d'occlusion et la transition dépend de l'aire de la cavité après qu'a ait eu lieu l'explosion et du geste de relâchement.

- la cavité avant de l'occlusive bilabiale [b] est quasi inexistante et le geste rapide produit une explosion faible, donc les transitions sont des indices fiables pour l'auditeur.
- pour [g], l'aire comprise entre la langue et le palais est importante, et les transitions sont courtes, donc le bruit d'explosion est un indice plus fiable pour les auditeurs.
- la cavité orale est plus importante lors des voyelles arrondies, donc le bruit d'explosion y est un indice plus fiable qu'en contexte non arrondi.

Comme le bruit d'explosion dans le travail de Dorman et al. (Dorman et al., 1977), Whalen (Whalen, 1981) a également cherché à déterminer la contribution relative de la transition et de la voyelle dans la perception d'une opposition fricative. Ils ont cherché à déterminer l'influence des transitions et de la qualité de la voyelle dans la localisation de la frontière d'un continuum [s]-[ʃ]. Pour cela, des syllabes fricative-voyelle ont été construites en accolant les

membres d'un continuum [s]-[ʃ] aux voyelles [i], [u]<sup>24</sup>, [y] et [ʊ]<sup>25</sup> naturelles et synthétiques, dont les transitions étaient appropriées pour des syllabes [s]+voyelle et [ʃ]+voyelle. La frontière catégorielle se situait à des fréquences de friction plus basses pour la transition appropriée pour [s] : donc, plus de réponses /s/ étaient obtenues lorsque les transitions étaient appropriées pour [s]. La fréquence du bruit fricatif à la frontière était plus basse pour [u] que pour [i], quelles que soient les transitions. Les mêmes résultats ont été obtenus avec les voyelles [y] et [ʊ] chez des auditeurs anglophones et bilingues (locuteurs de langues où ces voyelles apparaissent dans le système phonémique). Le bruit était l'indice principal lorsqu'il reflétait clairement le lieu d'articulation de la fricative, mais lorsqu'il était ambigu, la transition devenait un indice prépondérant.

---

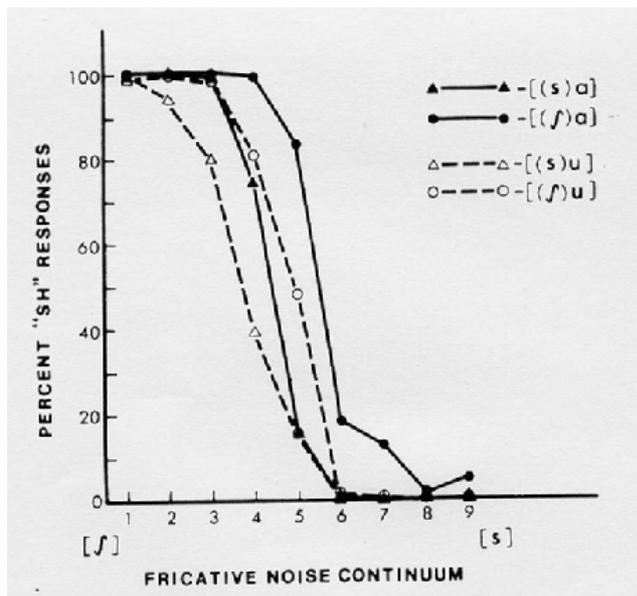
<sup>24</sup>[i] : voyelle antérieure fermée non labiale

<sup>25</sup>[y] voyelle antérieure fermée labiale

[u] voyelle postérieure fermée labiale

[ʊ] voyelle postérieure fermée non labiale

### Résultats d'une tâche de pondération d'indices



Dans le même contexte vocalique, la frontière phonémique est localisée à des fréquences plus graves pour la transition [s] que pour [ʃ]. Elle est aux environs du stimulus 4 pour la transition [s] : 4 stimuli sur 9 ont obtenu une majorité de réponse /ʃ/. Elle est localisée aux environs du stimulus 5 pour la transition [ʃ] pour laquelle 5 stimuli sur 9 ont obtenu une majorité de réponse /ʃ/. L'effet de la transition est observé : une minorité de stimuli sont identifiés [ʃ] quand la transition est [s] (4 sur 9) alors qu'une majorité de stimuli sont identifiés [ʃ] quand la transition est [ʃ] (5 sur 9).

De la même manière, on peut observer qu'à transition identique, la frontière phonémique est localisée à des fréquences plus graves en contexte [u] qu'en contexte [a]. Quand la transition est appropriée pour [ʃ], elle est aux environs du stimulus 5 pour la voyelle [u], et aux environs du stimulus 6 pour la voyelle [a]. Un plus grand nombre de réponse /ʃ/ a été attribuée en contexte [a] qu'en contexte [u]. L'effet de la voyelle est observé : la frontière phonémique se situe à des fréquences plus graves (plus proche de l'extrême [ʃ] du continuum) pour [u] que pour [a].

Figure 8 : Performances d'identification d'un continuum [s-ʃ] dans 2 contextes vocaliques différents, [a] et [u], dont les transitions sont appropriées pour [s] ou pour [ʃ], extrait de Repp (Repp, 1981).

Dans une étude postérieure, Whalen (Whalen, 1991) a étudié les effets de la transition et de la voyelle sur l'identification du lieu d'articulation d'une portion fricative hybride. La portion fricative en partie [s] et en partie [ʃ] permettait de voir l'influence de la durée de la fricative sur les performances d'identification. Pour cela :

- les portions fricatives [s] et [ʃ] à l'initiale de mots ont été extraites ;
- les deux consonnes fricatives ont été accolées pour créer 9 stimuli dans lesquels la durée du segment initial variait entre 0 et 200 ms par pas de 25 ms, et celle du segment final était modifiée de manière à ce que le bruit fricatif total dure systématiquement 200 ms (fricative initiale = 25 ms, fricative finale = 175 ms ...) ;
- les bruits hybrides (commençant par [s] ou par [ʃ]) étaient insérés à la place des consonnes fricatives initiales et finales des mots "shoot" et "suit" et des mots "mesh" et "mess".

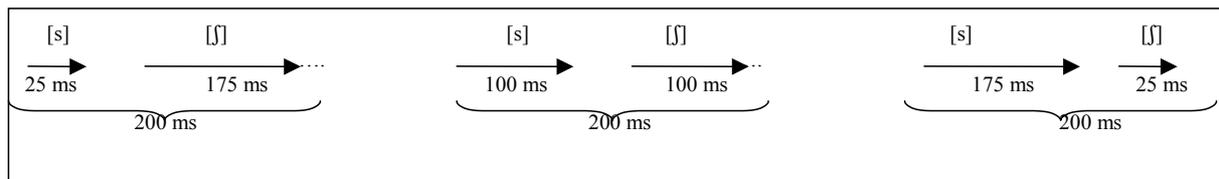


Figure 9 : Schéma des portions fricatives hybrides commençant par [s] de l'expérience de Whalen (Whalen, 1991).

A l'initiale du mot, les stimuli étaient identifiés en fonction de la fricative débutant la portion fricative lorsqu'elle durait plus de 100 ms (plus de 50% de la durée totale du bruit fricatif), ce qui signale que le poids attribué à la partie finale du bruit de friction était supérieur à celui attribué à la partie initiale. Ce phénomène s'inversait en position finale du mot, indiquant que c'était le segment fricatif contigu au segment vocalique (adjacent aux transitions) qui était le plus pondéré. Toutefois, la durée de friction nécessaire à l'émergence de ce résultat était inférieure dans la condition où la transition confortait l'identité du bruit initial comparativement à la condition inverse. Ces résultats ont été reproduits lorsque les stimuli hybrides étaient construits à partir de consonnes fricatives extraites de la partie finale de mots, et insérées à la place des consonnes fricatives finales de "mess" et "mesh". En contexte [u], la contribution des deux fricatives était asymétrique : la durée de friction nécessaire pour observer l'effet de contiguïté entre les segments était plus courte pour [s] que pour [ʃ], alors que cette durée était identique en contexte [e]. De plus, l'effet de l'arrondissement de la voyelle reporté par Dorman et al. (Dorman et al., 1977) a été répliqué. Les frontières phonémiques se situaient à des fréquences fricatives inférieures pour la voyelle [u] (plus de réponse /s/), que pour la voyelle [e]. Ces données confirment les résultats précédemment cités indiquant que l'identification du lieu d'articulation de la fricative dépend des transitions vocaliques et de l'identité de la voyelle suivante.

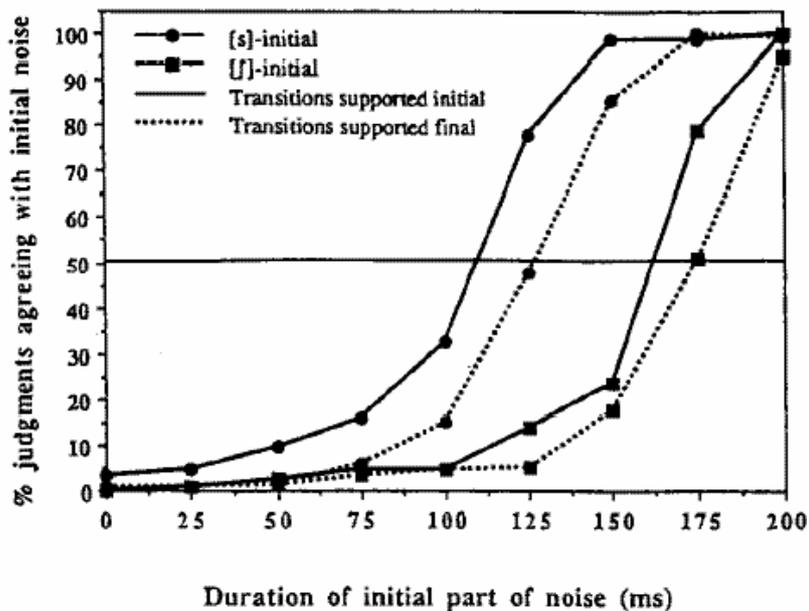


Figure 10 : Réponses correspondant à la fricative initiale dans l'étude de Whalen (Whalen, 1991). La durée de bruit initial est inférieure quand la transition conforte l'identité de la fricative initiale (lignes pleines), que dans le cas où elles sont en contradiction (lignes pointillées).

Mann et Repp (Mann & Repp, 1980) ont reproduit une partie de ces résultats. Une série d'expériences plus sophistiquées leur a permis de définir les liens qu'entretiennent les effets de la transition et de la voyelle en les manipulant indépendamment. Les signaux étaient composés de combinaisons de bruits de friction de [s] à [ʃ] (100 ou 250 ms), de silences (100 ou 250 ms), et de voyelles arrondies ou non ([a] ou [u] formants compris). L'effet du contexte vocalique a été répliqué : le nombre de réponse /s/ était plus important en contexte [u]. Les sujets identifiaient ensuite ces combinaisons fricative-voyelle entre lesquelles des portions de silence étaient introduites et/ou les portions fricatives étaient allongées, ce qui a réduit significativement l'effet vocalique. Le segment fricatif et la portion vocalique devaient donc être contigus pour obtenir l'effet coarticulatoire attendu. Quant à l'effet des transitions, il disparaissait au profit d'une occlusive quand un silence était introduit. L'absence de transitions vocaliques a annulé l'effet vocalique : le bruit de friction et la voyelle semblaient venir de deux sources différentes, le percept était moins cohérent. Ce dernier résultat nous indique que l'effet du contexte vocalique est lié aux transitions. Les transitions contribuent à la perception de la fricative tant qu'elles informent de l'identité de la fricative : si elles indiquent le lieu d'articulation d'une occlusive (présence d'un silence), les transitions n'ont plus d'effet sur la perception de la fricative. En revanche, la présence d'un silence n'annule pas

l'effet de la voyelle sur la perception de la fricative, mais se contente de l'amoinrir. L'introduction d'un silence entre le segment fricatif et la portion vocalique n'ayant pas affecté l'effet de la voyelle et de la transition de la même manière, il peut être conclu qu'ils ont affecté la perception de la fricative de manière indépendante. En production, ces phénomènes acoustiques sont engendrés par deux événements physiologiques différents. La transition est une conséquence du mouvement articulaire lors de la production de la consonne fricative, alors que la qualité vocalique affecte de manière indépendante la fréquence de la friction.

Soli (Soli, 1981) a étudié la production des consonnes fricatives dans différents contextes vocaliques. La fréquence des pics fricatifs observés sur le spectre des consonnes fricatives étudiées était différente suivant le contexte vocalique. Pour les fricatives alvéolaires, l'auteur a observé des pics dans les fréquences correspondant au deuxième formant de la voyelle suivante. Pour les fricatives palatales, l'auteur a observé deux pics distincts dans la région des deuxième et troisième formant de la voyelle suivante.

La présence de ces pics est expliquée par l'anticipation de l'articulation de la voyelle lors de l'ouverture de la constriction. Elle produirait l'augmentation du volume d'air excitant les résonances de la cavité arrière par une source de bruit glottale pour les fricatives sonore ou par une aspiration à la glotte pour les fricatives sourdes. Durant la dernière partie de la fricative, la constriction s'ouvre pour anticiper la configuration de la voyelle, ce qui permettrait aux formants d'apparaître au sein de la fricative. Bell-Berti et Harris (Bell-Berti & Harris, 1979) ont plus particulièrement étudié l'effet de l'arrondissement vocalique grâce à des données recueillies par Electromyographie<sup>26</sup>. Ces données ont permis d'observer que l'arrondissement des lèvres commençait avant la production de la voyelle pour les consonnes occlusives, les fricatives et les clusters fricative-occlusive. Pour les fricatives, cette coarticulation produit un abaissement de la fréquence du bruit en contexte arrondi (Kunisaki & Fujisaki, 1977).

Les études perceptives précédemment citées (Mann, 1980; Whalen, 1991) montrent que la distinction entre /s/ et /ʃ/ dépend de la voyelle suivante, et de son trait de labialité en particulier. De nombreux auteurs (Mann & Repp, 1980; Repp & Mann, 1979; Whalen, 1981)

---

<sup>26</sup> Technique d'exploration des muscles basée sur l'étude et le recueil (électromyogramme) des potentiels de repos et d'action des unités motrices.

s'accordent à dire que l'effet rétroactif de la voyelle observé dans les données de perception s'explique par les effets anticipatoires d'arrondissement observés en production.

L'effet de la transition (Mann, 1980; Whalen, 1991) décrit plus haut est la conséquence du geste articulatoire lors de la production d'un segment fricative-voyelle. L'effet de la voyelle (arrondissement) est le résultat de l'anticipation de l'arrondissement des lèvres sur la consonne fricative précédente. Cet effet coarticulatoire abaisse la fréquence du bruit fricatif précédent. La transition est un indice ("cue") de l'opposition qu'elle signale : elle est nécessaire à la cohérence du signal car, sans elle, la consonne et la voyelle sont perçues comme deux percepts indépendants. En revanche, la qualité vocalique est un facteur indépendant de la consonne à percevoir, mais elle en affecte la production, c'est pour cela que ce n'est pas un indice propre à la consonne, mais le système perceptif en tient compte en compensant ses effets.

L'étude de Simon et Fourcin (*Simon & Fourcin, 1978*) portant sur la perception des indices de voisement (transition de F1 et VOT) a indiqué que le poids des indices de voisement dans les oppositions occlusives voisées - non voisées n'est pas le même chez les enfants anglophones et francophones (voir section I.1.2.a. La première année de la vie). Hazan et Boulakia (Hazan & Boulakia, 1993) ont voulu étudier les différences de pondération perceptive entre francophones et anglophones chez des bilingues et des monolingues. Le premier but de cette étude était de reproduire les différences de pondération entre monolingues anglophones et francophones. Le second but était de déterminer si la sensibilité des indices de voisement chez les locuteurs bilingues était influencée par la langue de présentation<sup>27</sup>, la langue dominante de l'auditeur<sup>28</sup> et l'âge d'acquisition de la seconde langue (L2)<sup>29</sup>. L'épreuve perceptive<sup>30</sup>, comportait l'identification d'un continuum de VOT comprenant des valeurs acceptables dans les deux langues (de 40 à - 40 ms de VOT). Chaque stimulus a été présenté dans deux contextes vocaliques différents : la partie vocalique extraite d'un [p<sup>h</sup>ɛn] anglais, et celle extraite d'un [ben] français. La frontière phonémique des deux groupes de monolingues a été affectée par la différence de portion vocalique (moins de réponse /b/ quand la portion

---

<sup>27</sup> L'épreuve était présentée une première fois avec la consigne en français, puis une seconde fois avec la consigne en anglais

<sup>28</sup> Un questionnaire détaillé a permis aux auteurs de déterminer la langue dominante chez les locuteurs bilingues

<sup>29</sup> Deux groupes ont été constitués : les bilingues précoces, ayant acquis L2 avant 5 ans et les locuteurs tardifs ayant acquis L2 après 5 ans

<sup>30</sup> Des données de production ([p] et [b]) ont également été recueillies. Les données différaient suivant la langue de production chez les monolingues comme chez les bilingues. Un effet de la langue dominante a également été établi, et les valeurs acoustiques des bilingues précoces étaient plus proches des celles des monolingues que les bilingues tardifs.

vocalique provenait de [p<sup>h</sup>en] que de [ben]. Ce résultat est différent de celui de Simon et al. (Simon & Fourcin, 1978), qui n'ont pas observé d'effet de la transition chez les enfants francophones. Hazan et al. (Hazan & Boulakia, 1993) expliquent ces différences par la présence d'indices non contrôlés dans la portion vocalique de leur expérience (F0, durée de la transition) qui auraient pu affecter la localisation de la frontière (Serniclaes, 1987), contrairement à l'étude de Simon et al. (Simon & Fourcin, 1978) dont les paramètres étaient contrôlés puisque les stimuli étaient synthétiques. Les différences inter langues précédemment observées ont été reproduites, puisque le VOT était l'indice dominant chez les francophones, alors que chez les anglophones, c'était la portion vocalique qui affectait le plus la perception des stimuli à toutes les valeurs de VOT. Chez les locuteurs bilingues, la langue de présentation a affecté la localisation de la frontière phonémique vocalique pour les deux types de portions vocaliques (moins de réponse /b/ quand la présentation était en anglais). De plus, la frontière phonémique des bilingues à dominante anglophone était localisée à des valeurs de VOT plus courtes, cet effet de la langue dominante était également observable pour les deux types de portions vocaliques. En revanche, l'âge d'acquisition de L2 n'a pas eu d'effet sur les performances des auditeurs. La perception des oppositions occlusives voisées - non voisées semble se baser sur la portion vocalique contenant les transitions formantiques chez les anglophones, alors que l'indice dominant pour les francophones serait le VOT. Ces différences s'observent également chez les locuteurs bilingues, qui ont établi des stratégies semblables aux monolingues, avec un effet toutefois supérieur dans leur langue dominante.

Le point commun des études de Simon et al. (Simon & Fourcin, 1978) et de Hazan et al. (Hazan & Boulakia, 1993) est d'avoir observé des patrons de pondération de la transition vocalique différents chez des locuteurs de langue maternelle anglaise et française. Les résultats expérimentaux indiquent qu'en production la configuration des transitions est moins informative en français, et qu'en perception, le poids des transitions est supérieur chez les anglophones. L'objectif de notre travail ne porte pas directement sur une comparaison interlangue français-anglais, mais concerne la pondération d'indices précédemment décrits chez des anglophones auteurs (Mann & Repp, 1980; Repp & Mann, 1979; Whalen, 1981). Par conséquent, avec une population d'auditeurs monolingues francophones, nous devons nous attendre à obtenir des patrons de pondération différents des études précédentes, particulièrement pour la perception des transitions des formants.

## I.2.2. La pondération des indices acoustiques : aspects développementaux.

Comme Simon et Fourcin (*Simon & Fourcin, 1978*), de nombreux chercheurs se sont également intéressés aux stratégies de pondération chez les enfants et les adultes. Morrongiello, Robson, Best et Clifton (*Morongiello, Robson, Best, & Clifton, 1984*) et Best, Morrongiello et Robson (*Best, Morrongiello, & Robson, 1981*) ont constaté que les enfants pondèrent plus la transition que les adultes lorsqu'ils doivent identifier une opposition "say-stay" dont la durée de silence et la fréquence de la portion initiale de la voyelle varient. Ohde et Haley (*Ohde & Haley, 1997*) ont constaté que les enfants jeunes (3-4 ans) utilisent plus la transition que les sujets plus âgés dans le cas de l'identification de consonnes occlusives.

Le travail de Nittrouer (*Nittrouer, 1992, 1996; Nittrouer & Miller, 1997a, 1997b; Nittrouer, Miller, Crowther, & Manhart, 2000*) a donné lieu à un modèle d'acquisition du langage en examinant la pondération relative ("weighting") de différents indices présents dans la parole (fréquence du bruit de friction, configuration de la transition vocalique, position dans la syllabe ...) et de traits contextuels (ceux de la voyelle adjacente) chez les adultes et les enfants.

### I.2.2.a. Données expérimentales soutenant le Developmental Weighting Shift DWS (changements développementaux de pondération)

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les différents indices qui concourent à l'identification d'un même trait n'ont pas tous le même poids perceptif. En s'appuyant sur les études sur l'acquisition des oppositions maternelles et non maternelles (I.1.2. La Perception Catégorielle chez l'enfant), Nittrouer constate que le poids attribué à un indice acoustique diffère en fonction de la phonologie de la langue maternelle. Le fait que le poids perceptif attribué à l'indice acoustique étudié diffère suivant la langue d'exposition reflète un apprentissage.

De nombreuses études ont contribué à montrer que les stratégies des enfants ne sont pas toujours identiques à celles des adultes : Nittrouer a notamment montré qu'il existe des différences entre enfants et adultes dans le poids relatif qu'ils attribuent à certains indices, notamment dans des tâches d'identification de syllabes commençant par [s] ou [ʃ] (*Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997a, 1997b; Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987*). Ces différentes preuves expérimentales ont mené Nittrouer à élaborer un modèle "The Developmental Weighting Shift" (*Nittrouer & Miller, 1997a*) selon lequel :

- le poids perceptif attribué à un indice acoustique dépend de l'environnement phonétique chez l'adulte. Elle dépend plus exactement de la pertinence de l'indice dans l'environnement phonétique étudié.
- le poids attribué par les enfants à ce même indice dépendra moins du contexte phonétique parce qu'ils n'ont pas encore appris qu'un même indice acoustique n'a pas toujours la même pertinence.

La grande majorité des travaux de Nittrouer s'appuient sur le paradigme de Fitch et al. (Fitch et al., 1980), qui permet d'étudier la contribution relative d'indices acoustiques permettant de distinguer les représentants d'une opposition phonologique, autrement dit d'évaluer le poids perceptif attribué à ces indices, appelé également pondération. Pour déterminer le poids relatif de ces indices, les stimuli employés étaient générés par modification factorielle d'indices. Par exemple, Nittrouer et Studdert-Kennedy (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987) ont employé un continuum de bruit fricatif dont la fréquence variait graduellement depuis la fréquence appropriée pour [ʃ] jusqu'à celle appropriée pour [s]. Le second indice -les transitions des formants- était configuré de deux manières différentes. Chaque exemplaire du continuum à identifier précédait une voyelle dont les transitions indiquaient que la consonne précédente était [s]. Puis les transitions étaient modifiées dans le but de désigner [ʃ], et chaque exemplaire du continuum y était accolé. Cette méthode a permis d'obtenir des données d'identification de syllabes fricative-voyelle chez des adultes et des enfants, afin d'étudier le développement du poids relatif du bruit de friction et celui de la transition.

1- Les enfants pondèrent plus les transitions, les adultes pondèrent plus le bruit.

Les premiers travaux de Nittrouer (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987) ont établi que pour les adultes, la frontière phonémique sur un continuum de bruit de friction se déplace de 420 Hz selon que les transitions formantiques sont appropriées pour [s] ou [ʃ] (*Figure 11*). En revanche, pour les enfants, le déplacement de frontière atteint 792 Hz, ce qui montre qu'ils accordent un poids perceptif plus élevé aux transitions (*Figure 11*). D'autre part, les pentes de fonctions d'identification étaient moins raides chez les enfants que chez les adultes. Les réponses d'identification des premiers étaient donc moins guidées par la fréquence du bruit fricatif. Les adultes ont pondéré davantage le bruit de friction que les enfants. Toutefois, la pente de la fonction augmentait de 3 à 7 ans, indiquant une tendance à l'augmentation du poids du bruit fricatif avec le développement langagier.

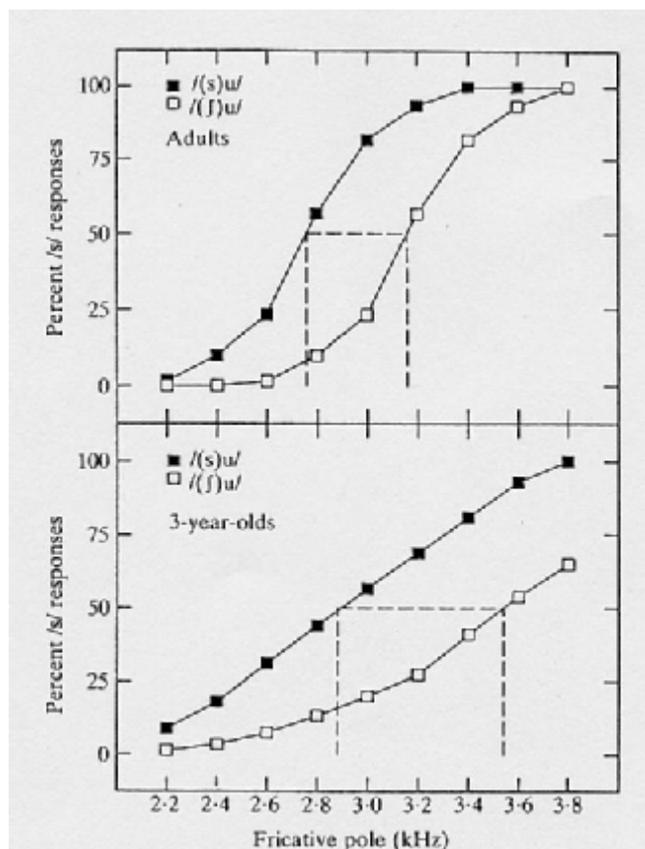


Figure 11 : Fonctions d'identification des adultes (haut) et enfants de 3 ans (bas) de l'étude Nittrouer (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987). Les auditeurs ont identifié des syllabes extraites d'un continuum de bruits synthétiques allant de [su] à [fu] dont les voyelles étaient extraites d'exemplaires naturels des syllabes [su] et [fu]. Les lignes en pointillées indiquent la frontière phonémique, et la distance entre les deux types de transition. Les carrés pleins désignent les performances pour une transition appropriée pour la consonne [s], les carrés pleins désignent les performances pour une transition appropriée pour la consonne [f]

Ces résultats ont été répliqués dans diverses conditions expérimentales : dans différents contextes vocaliques ([i]-[u] (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987), [a]-[u] (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997b), avec des stimuli synthétiques (Nittrouer & Miller, 1997b) et hybrides (Nittrouer & Miller, 1997b). D'après Nittrouer, les enfants sont particulièrement attentifs aux informations dynamiques<sup>31</sup>, telles que les transitions, parce qu'elles apportent des informations de nature syllabique, que les enfants sont capables d'employer pour percevoir et comprendre le message. En revanche, les adultes s'appuient sur des informations statiques<sup>32</sup>,

<sup>31</sup>Informations dynamiques : qui impliquent un changement spectral dans le temps (les transitions) d'après la DWS

<sup>32</sup>Informations statiques : qui n'impliquent pas de changement spectral dans le temps (la voyelle, la portion fricative) d'après la DWS

telles que le bruit de friction, car elles informent de la composition phonémique du signal que l'expérience linguistique leur permet de traiter. Dans le cadre théorique de la DWS, l'acquisition du langage agit progressivement en détournant l'attention perceptive de l'enfant des propriétés dynamiques vers les propriétés statiques du signal qui sont particulièrement informatives sur la structure phonémique de leur langue maternelle.

Poids de la friction : les enfants pondèrent moins le bruit de friction que les adultes.

La différence majeure entre la fricative dentale [s] et alvéolaire [ʃ] réside dans l'amplitude du pôle fricatif de basse fréquence autour de 2,2 KHz (Heinz & Stevens, 1961). Dans l'étude de 1997 (Nittrouer & Miller, 1997a), Nittrouer emploie des stimuli naturels et synthétiques représentant les fricatives [s] et [ʃ], dont les propriétés spectrales de haute fréquence sont identiques alors que les basses fréquences diffèrent : l'amplitude du pôle fricatif autour de 2,2 kHz était 12 dB plus faible pour [s] que pour [ʃ]. Au cours d'une tâche d'identification, des enfants de 5 et 7 ans ont donné plus de réponses /s/ que les adultes pour l'ensemble des stimuli, ce qui indique qu'ils ont eu tendance à trouver ces stimuli plus semblables que les adultes. Étant donné que les stimuli se distinguaient par de l'énergie dans les basses fréquences, les auteurs ont interprété ce résultat comme une indication d'une sensibilité moindre aux différences de morphologie spectrale entre les bruits chez les enfants que chez les adultes. Cette conclusion, qui se base sur le biais général de réponse /s/ et non sur des différences de pente<sup>33</sup>, a contribué à confirmer l'hypothèse de la DWS selon laquelle les enfants sont moins sensibles à la structure du bruit fricatif que les adultes.

Poids de la transition chez les enfants : le rôle de la syllabe.

En 1992 (Nittrouer, 1992), la DWS s'enrichit d'une hypothèse supplémentaire, selon laquelle les stratégies de pondérations de l'information de la transition chez l'enfant dépendent de sa position dans le découpage syllabique du stimulus.

Dans une expérience répliquant le paradigme expérimental de Morongiello et al. (Morongiello et al., 1984), consistant en un continuum de silence allant de /say/ à /stay/ dont les transitions indiquaient la présence ou l'absence d'une occlusive, Nittrouer (Nittrouer, 1992) a reproduit les résultats de l'étude originale. Le poids attribué au bruit était identique chez les enfants et les adultes, et le poids attribué à la transition était supérieur chez les enfants (3,5 et 7 ans).

---

<sup>33</sup>Le biais général de réponse ne permet pas mesurer les différences de poids attribué au spectre. Pour cela, il faut prendre les différences de pente des fonctions d'identification.

Dans une autre expérience, Nittrouer (Nittrouer, 1992) reprend le paradigme expérimental employé par Mann (Mann & Repp, 1980), dans lequel l'identification d'un continuum [da]-[ga] différait suivant l'identité de la syllabe précédente [al] ou [ar]. Pour cela, la fréquence initiale du troisième formant (transition) a été progressivement modifiée en partant d'une configuration montante (indiquant [da]) pour aboutir à une configuration descendante (indiquant [ga]). Ces syllabes synthétiques étaient précédées par des exemplaires naturels des syllabes [al] et [ar], extraits des segments [alda], [arda], [alga] et [arga].

Segments extraits de ...		Stimuli expérimentaux		
[al] extrait de [alda]	=>	[al]	+	Continuum [da]-[ga]
[al] extrait de [alga]	=>	[al]	+	Continuum [da]-[ga]
[ar] extrait de [arda]	=>	[ar]	+	Continuum [da]-[ga]
[ar] extrait de [arga]	=>	[ar]	+	Continuum [da]-[ga]

Figure 12 : Représentation de la construction des stimuli de l'expérience de Mann (Mann & Repp, 1980), répliquée par Nittrouer (Nittrouer, 1992). A gauche, les deux types de syllabes employées et le contexte dont elles ont été extraites. A droite la combinaison de ces 4 syllabes avec le continuum de lieu d'articulation, aboutissant aux 4 conditions expérimentales.

Dans l'expérience de Mann et al, l'identification du continuum [da]-[ga] dépendait :

- de l'identité de l'approximante précédente : la frontière phonémique était plus basse quand la syllabe à identifier était précédée de [ar], parce que la fréquence du F3 de [r] est plus basse que celle de [l] ce qui a tendance à abaisser la fréquence initiale du F3 suivant ;
- de la consonne désignée par la transition précédente : la frontière [d-g] était plus basse quand la syllabe précédente était prononcée en contexte [da], parce que la transition finale de [al] et [ar] est alors légèrement plus haute en contexte [d] qu'en contexte [g].

Les auditeurs de l'expérience de Nittrouer et al. (Nittrouer, 1992) ont montré un effet significatif de l'approximante et de la transition, mais ces effets étaient inférieurs chez les enfants. D'après Nittrouer, ce résultat apparemment contraire aux hypothèses de la DWS s'explique par le fait qu'entre 3 et 7 ans, les enfants sont plus sensibles que les adultes à la transition quand celle-ci relève du geste articulatoire partant de la constriction de la consonne

vers la voyelle, mais sont moins sensibles aux informations infra-syllabiques et à la transition quand elle se situe à la frontière entre deux syllabes. Les enfants s'appuieraient plus que les adultes sur la transition en position intra-syllabique (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987), (Nittrouer, 1992), (Nittrouer & Miller, 1997b) et l'emploieraient moins que les adultes en position inter-syllabique (Nittrouer, 1992).

2- Les stratégies de pondération des enfants sont moins affectées par le contexte.

L'objectif de l'étude de 1997 (Nittrouer & Miller, 1997b) était d'évaluer la flexibilité des stratégies de pondération des enfants, face à des indices acoustiques pertinents ou non, suivant l'environnement phonétique. Par exemple, dans une syllabe fricative-voyelle, la fréquence initiale de F3 diffère plus notablement en contexte [u] qu'en contexte [a]. Dans cette étude, la neutralisation de F3 a plus détérioré l'influence de la transition en contexte [u] qu'en contexte [a] chez les adultes, car elle est plus informative en contexte [u] qu'en contexte [a]. Les adultes qui pondéraient plus F3 dans le contexte [u], ont montré une baisse de l'effet de la transition quand F3 était neutralisé (F3 plat) dans le contexte [u] mais pas dans le contexte [a]. A 4 ans, le poids attribué à une propriété ne variait pas en fonction de l'environnement. Ainsi, le fait de neutraliser F3 a fait baisser l'effet de la transition pour [u] et pour [a], alors qu'à 7 ans, les sujets se comportaient comme les adultes. Ces résultats illustrent l'effet de l'expérience linguistique supposé par le modèle DWS sur les stratégies de pondération perceptive : les enfants n'ont pas encore appris à attribuer plus de poids perceptif à F3 en contexte [u] qu'en contexte [a]. Le manque d'expérience linguistique ne permettrait pas aux enfants d'adapter leurs stratégies de pondération acoustique à la pertinence de l'environnement phonétique.

Les résultats de 1987 (Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987) ont été réinterprétés dans le cadre de la DWS. Les enfants attribuent un poids important aux propriétés acoustiques dynamiques parce qu'elles les aident à reconnaître la structure syllabique dans le flot continu de parole. L'expérience linguistique aidant, l'enfant détourne progressivement son attention de ces propriétés dynamiques pour la porter vers des propriétés statiques, qui apportent des informations cruciales sur la structure phonémique de sa langue maternelle. Ce changement serait guidé par la prise de conscience progressive par l'enfant, que la pertinence d'une information fournie par chaque propriété est variable suivant les environnements phonétiques. Selon Nittrouer, les enfants organiseraient leur perception de manière globale, probablement en unités de la taille d'une syllabe avec comme corrélat acoustique les transitions, alors que

celle des adultes est plus analytique et serait plutôt organisée autour du phonème avec le bruit de friction et la voyelle comme corrélats.

3- Les stratégies de pondération des enfants sont moins flexibles.

La flexibilité des stratégies de pondération des indices a été également investiguée dans des contextes syllabiques différents (Nittrouer et al., 2000). Pour cela, les stratégies de pondération d'enfants (7 et 5 ans) et d'adultes ont été évaluées pour des syllabes fricative-voyelle (FV) et voyelle-fricative (VF). Les voyelles de syllabes naturelles FV et VF ont été extraites, puis combinées à chaque exemplaire d'un continuum [s-ʃ]. Elles ont ensuite été proposées aux auditeurs qui devaient les identifier. Dans la seconde expérience, les auditeurs devaient identifier ces syllabes hybrides émises à l'envers. L'inversion devait permettre de déterminer si les auditeurs maintenaient la même stratégie quand les syllabes étaient conformes à la parole spontanée et quand elles correspondaient à leurs images inverses. Plus précisément, il s'agissait de voir si les sujets modifient leur attention perceptive sur la base de l'ordre segmental uniquement où s'ils élaborent des stratégies différentes en fonction de la structure acoustique disponible. Le but spécifique de cette étude était de déterminer si les stratégies de pondération perceptive des adultes et des enfants sont flexibles.

Dans l'ordre de présentation naturel, les résultats des études antérieures (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997a, 1997b; Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987) ont été répliqués : l'effet de la transition chez les enfants était supérieur à celui des adultes, alors que l'effet de la voyelle et du bruit de friction était supérieur chez les adultes. Chez les adultes et les sujets de 7 ans, le poids attribué aux transitions était moindre dans les syllabes VF que dans les syllabes FV, à cause du peu d'information véhiculée par la transition dans les syllabes VF. En revanche, lorsque ces syllabes FV sont inversées, les adultes ignoraient la transition. Donc, que la transition soit informative (syllabe FV à l'envers) ou non (syllabe VF normale), l'auditeur ne l'a pas utilisée pour percevoir les syllabes VF, parce qu'il a appris à détourner son attention des transitions des formants à la fin de la voyelle quand elle précède la consonne fricative. Selon l'auteur, les adultes modifient leurs stratégies de pondération en fonction de l'ordre segmental. A 5 ans, quand l'ordre naturel est respecté, l'effet de la transition était inférieur et celui de la voyelle était supérieur dans les syllabes VF comparativement aux syllabes FV. Lorsque les syllabes VF étaient inversées afin de générer le percept FV, l'effet de la voyelle restait supérieur mais l'effet de la transition pour les deux patrons syllabiques était identique tout en restant supérieur à celui des adultes. Contrairement aux adultes, les auditeurs

de 5 ans conservaient les mêmes stratégies perceptives quel que soit l'ordre segmental. Le maintien strict de cette stratégie perceptive occasionne des effets différents dans les syllabes FV et dans les syllabes VF pour ces jeunes auditeurs. Etant donné que les sujets de 7 ans, comme les adultes, modifiaient leurs stratégies de pondération en fonction de l'ordre segmental, l'auteur en conclut que les enfants de cet âge commencent à comprendre que la quantité d'information disponible dans la partie vocalique de la syllabe diffère en fonction de l'ordre segmental, et commencent à ajuster leurs stratégies de pondération en fonction de cela. Cette étude indique que les stratégies perceptives des jeunes enfants de 5 ans sont rigides, dans le sens où elles ne sont pas sensibles à la manière dont l'information disponible change au sein de la structure phonologique (ici en fonction de l'ordre segmental). Les performances des adultes et des enfants de 7 ans indiquent toutefois une évolution des stratégies des enfants qui deviennent de plus en plus flexibles : ils apprennent à les modifier en fonction de la manière dont leur langue maternelle structure le signal acoustique d'après des facteurs tels que l'ordre des segments.

#### 4- Effets de l'expérience linguistique

L'effet de l'expérience linguistique sur les stratégies de pondération, n'a pas été seulement mis en avant dans des expériences comparant population adulte et enfant. Nittrouer (Nittrouer, 1996) a évalué l'incidence de l'environnement (milieu socio-économique) et d'une surdité transitoire (otite de l'oreille moyenne) sur les stratégies de pondération. Les auteurs présupposaient que les enfants ayant eu des otites et venant de milieux socio-économiques défavorisés ont une expérience linguistique inférieure à celle des autres enfants car ils ont été exposés à un input linguistique de moins bonne qualité. Les stratégies de pondération des enfants de milieu socio-économique défavorisé étaient moins matures que celle des enfants ayant eu des otites. Celles des enfants ayant eu des otites étaient moins matures<sup>34</sup> que celles des enfants contrôles. Etant donné que les performances s'améliorent quand l'expérience linguistique de l'enfant est meilleure, il est à nouveau démontré, selon Nittrouer, que l'expérience linguistique influence le développement langagier chez l'enfant en modifiant les stratégies de pondération perceptive. Les scores étaient corrélés au niveau de conscience phonémique, indiquant que de bons scores de conscience phonémique sont liés à de bonnes performances de pondération (similaires aux adultes). Sans faire un lien de causalité, l'auteur précise que les stratégies de pondération pourraient également être liées aux performances de

---

<sup>34</sup> En référence aux performances des adultes des expériences précédemment présentées

lecture, puisqu'une bonne conscience phonémique est nécessaire à l'apprentissage de la lecture (voir II.3. Conscience phonologique et apprentissage de la lecture).

Mayo, Scobbie, Hewlett et Waters (Mayo, Scobbie, Hewlett, & Waters, 2003) ont particulièrement étudié la relation de causalité entre pondération d'indices acoustiques et conscience phonémique en comparant des adultes et des enfants de 5 ans dans le cadre d'une étude longitudinale sur 7 mois, divisée en trois temps (T1 T2 et T3). La même méthodologie que Nittrouer (Nittrouer, 1996) a été employée en proposant une tâche de pondération d'indice (continuum [so]-[jo] dont les transitions diffèrent) et des tâches de conscience phonémique<sup>35</sup>. Les auteurs ont constaté une tendance à l'amélioration précoce de la conscience phonémique et un développement tardif des stratégies de pondération analytique, ce qui suggère que la conscience phonémique se développe avant que les changements de stratégie de pondération n'aient lieu. Les capacités de conscience phonémique augmentaient significativement entre T1 et T2, mais pas entre T2 et T3. Les stratégies de pondération d'indice des enfants étaient significativement différentes des adultes à T1 et T2, mais plus à T3. 72% de la variance des stratégies de pondération à T3 étaient expliquées par une combinaison entre les stratégies de pondération à T2 et les capacités de découpage phonémique à T1 et T2. La catégorialité des réponses des auditeurs prédisait peu, mais de manière significative, la variation des capacités de segmentation phonémique. Les auteurs ont conclu que le développement de la conscience phonémique pourrait jouer un rôle dans les changements de pondérations des indices acoustiques de la parole.

#### I.2.2.b. Données expérimentales infirmant la DWS

Nous venons de voir qu'il existe un certain nombre de preuves expérimentales confortant l'hypothèse de la DWS selon laquelle les enfants ont des stratégies perceptives différentes des adultes et emploient les indices acoustiques différemment. Les études de Ohde ont contribué à appuyer cette "hypothèse de la sensibilité". Ohde, Haley, Vorporian et McMahon (Ohde, Haley, Vorperian, & McMahon, 1995) ont trouvé que des enfants de 5 à 11 ans n'ont pas plus fortement employé les transitions que des adultes lors d'une tâche d'identification de consonnes occlusives, contrairement à des enfants plus jeunes (3-4 ans), chez qui ce patron de résultat n'a été constaté que pour les occlusives vélaires (Ohde & Haley, 1997). Pour des stimuli bruit d'explosion + transition dont la voyelle était courte, Ohde, Haley et McMahon

---

<sup>35</sup>Conscience phonémique évaluée par deux tâches. L'une est une tâche de segmentation phonémique, où le sujet doit segmenter un mot en phonèmes séparés (ex. "please" : réponse = [p], [l], [i], [z]). L'autre est la tâche inverse, où le sujet doit prononcer un mot en assemblant des phonèmes séparés (ex. [p], [l], [i], [z] : réponse = "please").

(Ohde, Haley, & McMahon, 1996) ont constaté que les transitions n'ont pas amélioré la perception des voyelles brèves chez des enfants entre 5 et 11 ans. De plus, des portions vocaliques plus longues ont amélioré significativement l'identification de ces voyelles chez ces enfants mais pas chez les adultes. Dans leur étude longitudinale, Ohde et Haley (Ohde & Haley, 1997) ont employé des stimuli synthétiques composés soit d'une pulsation glottique, soit de 5 pulsations glottiques extraites de la portion initiale d'une occlusive, afin d'étudier l'identification de la voyelle et de la consonne. Entre 3 et 11 ans, l'identification s'était améliorée quand la durée des voyelles était allongée, quel que soit le contexte vocalique ([i], [u] et [a]) et que les transitions soient plates ou qu'elles marquent un mouvement. A 3-4 ans, l'indice le plus important pour la perception de la voyelle était les formants stables ou leur fréquence cible. Bien que la durée de l'information fréquentielle de la voyelle influençait la qualité des scores d'identification chez les enfants, suggérant que les fréquences cibles de la voyelle étaient les plus importants dans la perception, les auteurs n'ont pas directement comparé l'identification de la voyelle chez les enfants lorsqu'elle ne contient que des transitions ou que la partie stable. Cette étude ne permet donc pas de déterminer quel était l'indice le plus pondéré.

Le but de l'étude de Sussman (Sussman, 2001) était de déterminer si les enfants s'appuient plus sur les transitions comme l'affirme la DWS. Pour vérifier cette hypothèse, des enfants de 4 ans et des adultes ont identifié les stimuli synthétiques<sup>36</sup> suivants :

- des syllabes [bib] et [baeb]
- la partie stable des voyelles [i] et [ae] extraites des syllabes précédentes
- les transitions des voyelles [i] et [ae] extraites des syllabes précédentes
- les syllabes en conflit :
- la syllabe [bib] avec les transitions vocaliques de [baeb]
- la syllabe [baeb] avec les transitions vocaliques de [bib].

Les enfants comme les adultes ont été capables d'identifier la voyelle sur la base des transitions seules dans plus de 80% des présentations. Toutefois, lorsque les transitions étaient

---

<sup>36</sup>Des enfants de 6 ans atteints de Specific Language Impairment ont également participé à l'étude, mais nous ne rendons pas compte de leurs résultats dans cette section.

le seul indice disponible, les scores des enfants étaient inférieurs à ceux des adultes. Pour les stimuli ayant des indices vocaliques en conflit, tous les sujets ont eu tendance à utiliser les formants stables de la voyelle qui constituent un indice plus long et plus puissant que les transitions pour identifier la voyelle. Il semble que les stimuli plus complets et plus longs (incluant la partie vocalique stable) aient été plus profitables aux enfants qu'aux adultes puisqu'ils ont plus employé la portion stable de la voyelle pour identifier les syllabes dont les indices étaient en conflit. Cette étude contribue à conforter l'hypothèse que les enfants s'appuieraient davantage sur l'indice le plus ample et le plus long, le plus saillant acoustiquement –i.e. les formants stables- que sur les transitions de formants dynamiques pour l'identification de voyelle dans des conditions d'écoute difficiles. Les adultes ont attribué plus de poids perceptif aux transitions dynamiques mais courtes, ce qui va à l'encontre de la DWS selon laquelle les enfants s'appuieraient plus sur les transitions que les adultes.

Toutefois, il est toujours possible que les enfants emploient des stratégies différentes pour la perception des voyelles et des consonnes. Hazan et Barrett (Hazan & Barrett, 2000) ont évalué la perception d'un certain nombre d'oppositions consonantiques par des enfants entre 6 et 12 ans et par des adultes contrôles<sup>37</sup>. L'étude conforte l'hypothèse générale sous-jacente à la DWS, selon laquelle les stratégies optimales de pondération des indices acoustiques pour une opposition phonémique dans un contexte donné sont influencées par la maturation et l'expérience linguistique de l'auditeur. En revanche, l'étude ne conforte pas l'hypothèse selon laquelle la catégorisation des enfants est plus robuste quand l'opposition phonémique est signalée par des indices dynamiques, que lorsqu'elle l'est par des indices statiques. Les oppositions proposées étaient signalées par un changement de la fréquence des transitions ou par un autre indice ; or, en général, les oppositions signalées par les transitions n'ont pas été mieux identifiées par les enfants que par les adultes. Pour l'opposition de voisement des occlusives [g]-[k], les enfants ont été plus sensibles à la suppression de F1 que les adultes. Les transitions ont plus facilement permis l'identification de l'opposition de lieu d'articulation des occlusives [d]-[t] que le burst, chez les adultes et les enfants. Pour l'opposition [s]-[ʃ], la friction était un meilleur indice du lieu d'articulation que les transitions pour tous les sujets également. Les auteurs en ont conclu que la pondération des indices acoustiques entre 6 et 12 ans ne semble pas basée sur l'expérience ou l'âge, mais plutôt sur « l'informativité » de l'indice dans un contexte vocalique donné.

---

<sup>37</sup>Pour les détails de la procédure voir la section II.1.2. La Perception Catégorielle chez l'enfant, où l'étude est déjà mentionnée.

Dans l'étude de Sussman (Sussman, 2001), la nature des deux indices étudiés ne prouve pas que les portions vocaliques statiques soient acoustiquement plus saillantes que les transitions dynamiques, bien qu'elles soient plus longues, puisqu'il est tout aussi probable que le mouvement des transitions les rende perceptivement plus saillantes pour l'auditeur. Il est très difficile d'établir la saillance ou magnitude relative entre des indices différents. C'est pour cette raison que Mayo et Turk (Mayo & Turk, in review) ont étudié la magnitude, c'est-à-dire l'influence relative du même indice dans plusieurs oppositions :

- en comparant l'influence des transitions (précisément la fréquence initiale de F2) dans une opposition où elles diffèrent fortement (/no/-/mo/, /do/-/bo/, /ta/-/da/), avec une opposition où elles diffèrent faiblement (/ni/-/mi/, /de/-/be/, /ti/-/di/);
- en comparant le poids relatif d'un indice variant le long d'un continuum (murmure nasal, fréquence de l'explosion et VOT) lorsqu'il est associé à une transition de magnitude importante, et lorsqu'il est associé à une transition de faible magnitude.

Tous les auditeurs (3-4 ans, 5 ans, 7 ans et adultes) ont été influencés plus fortement par les transitions de magnitude importante que par les transitions de faible magnitude. De plus, l'effet de l'indice variant le long du continuum (murmure nasal, fréquence de l'explosion et VOT) était moindre lorsque les transitions étaient de forte magnitude. Pour l'opposition /ti/-/di/ dont la différence de transition est de faible magnitude, aucune différence n'était obtenue entre adultes et enfants, alors que les deux groupes différaient au profit des adultes pour les transitions de forte magnitude de l'opposition /ta/-/da/. Pour les autres oppositions étudiées, l'effet des transitions de faible magnitude était inférieur chez les enfants en comparaison des adultes, alors que leurs performances étaient similaires pour les indices de forte magnitude. Les auteurs en ont conclu que les effets de la maturation du système auditif invoqués par Sussman (Sussman, 2001) rendent compte de patrons généraux de pondération d'indices chez les enfants et chez les adultes, mais n'expliquent pas tout. Dans leur étude suivante, Mayo et Turk (Mayo & Turk, 2004) ont évalué l'hypothèse que les différences de pondération entre adultes et enfants sont le résultat de stratégies perceptives différentes. Les auteurs ont employé une partie des stimuli de l'étude présentée précédemment (/ni/-/mi/, /de/-/be/ et /ti/-/di/ + l'opposition /saɪ/-/ʃaɪ/) pour évaluer le modèle DWS. L'hypothèse selon laquelle les enfants apportent un poids supérieur aux transitions comparativement aux adultes est vérifiée pour l'opposition de lieu d'articulation /saɪ/-/ʃaɪ/ et l'opposition de VOT /ta/-/da/. En revanche, elle n'était pas confirmée pour les autres oppositions testées (/ni/-/mi/, /de/-/be/ et /ti/-/di/). Plus

précisément pour l'opposition /ta/-/da/, les enfants pondéraient plus fortement les transitions que l'autre indice (VOT), mais le résultat inverse était obtenu pour l'opposition /ti/-/di/ infirmant l'hypothèse selon laquelle les enfants ont une préférence systématique pour les transitions. Il semble que les stratégies de pondération des enfants ainsi que les différences entre enfants et adultes changent en fonction du contexte dans lequel le segment à identifier est inséré. Par ailleurs pour les oppositions /ni/-/mi/ /de/-/be/ les adultes identifiaient la consonne initiale grâce aux deux indices fournis, alors que les sujets de moins de 7 ans (3-4 ans et 5 ans) ne parvenaient même pas à identifier correctement les extrêmes du continuum. De plus, les adultes ont pondéré plus fortement la transition que les enfants pour /ta/-/da/, et les deux groupes lui attribuaient le même poids pour /ti/-/di/. Donc l'hypothèse selon laquelle les enfants attribuent un poids supérieur aux transitions en comparaison des adultes, est infirmée par cette étude.

Dans le chapitre précédent, nous nous sommes attachés à rendre compte de l'évolution de la perception de la parole de la naissance à l'âge adulte. Nous avons vu que les nourrissons viennent au monde avec la capacité à discriminer toutes les oppositions des langues du monde. L'expérience de la langue maternelle rend les bébés capables de traiter plus spécifiquement les sons de leur langue maternelle. Par conséquent, ils perdent les capacités innées à percevoir des oppositions non maternelles, mais cette capacité peut être réactivée chez des adultes dans des conditions expérimentales appropriées. Au cours de l'acquisition du langage chez l'enfant, des modifications de la perception se poursuivent et rendent les catégories phonémiques maternelles de plus en plus consistantes. D'autre part, les indices qui signalent les oppositions pertinentes dans la langue subissent des changements de pondération. Toutefois, l'âge n'est pas le seul facteur affectant la perception des oppositions phonémiques ; la lecture et les compétences associées influent également sur leur développement.

L'objectif du chapitre suivant est de rendre compte des mécanismes à l'œuvre lors de l'acquisition de la lecture et des compétences nécessaires à son développement. Nous porterons une attention particulière aux inter-relations entre perception des sons de la parole et lecture.

## II LA LECTURE

Les travaux sur la modélisation de la lecture reconnaissent trois étapes principales dans la lecture (pour une revue voir (Sprenger-Charolles & Casalis, 1996), (Sprenger-Charolles & Colé, 2003b)) :

- une étape de traitement perceptif : l'information visuelle des mots à lire est extraite et analysée ;
- une étape de reconnaissance des mots écrits ;
- une étape de compréhension : les relations syntaxiques entre les mots sont calculées, le sens des mots y est combiné et dans le cas d'un texte, le sens global est déterminé à partir du sens des phrases.

La dernière étape, la compréhension, constitue la finalité de la lecture : en lisant, l'individu accède au sens véhiculé par les mots représentés à l'écrit. Les travaux de recherche sur la lecture auxquels nous allons nous intéresser, portent sur les mécanismes qui permettent à l'apprenant de connecter l'écriture à ses capacités linguistiques, qui n'ont préalablement été utilisées que pour comprendre et produire la parole. Les études sur les mécanismes de la lecture chez le lecteur expert se sont concentrées sur l'identification des mots, les processus de compréhension subséquents étant identiques que l'accès soit auditif comme dans la perception de la parole ou visuel comme dans la lecture. Ces processus sont donc communs à la compréhension de la parole comme à celle de la lecture. Nous allons commencer par décrire certaines études portant sur le développement de l'identification du mot écrit.

### II.1. Apprendre à lire dans un système alphabétique

Pour apprendre à lire dans une écriture alphabétique, l'enfant doit apprendre que les sons de la langue sont codés à l'aide de symboles que sont les lettres. Avant d'apprendre à lire, l'enfant maîtrise le lexique oral, il connaît la forme sonore de mots et en a donc une représentation phonologique, et connaît également le sens de ces mots. Chez l'enfant pré-lecteur, le lexique phonologique est donc en place mais pas le lexique orthographique. Pour mettre en relation la forme orthographique avec la représentation sonore, phonologique des mots, l'enfant devra mémoriser l'ensemble des correspondances du système écrit de sa langue, ce qui est bien plus

économique que de retenir un nombre illimité de mots appris par cœur et traités globalement. Pour identifier les mots écrits, l'enfant devra donc maîtriser un ensemble limité de correspondances entre les unités sublexicales de la langue écrite, les graphèmes et les unités sublexicales de la langue orale, les phonèmes pour retrouver les mots qu'il connaît et qui sont stockés dans son lexique mental.

Parmi les modèles rendant compte de l'activité de lecture (pour une revue voir (Morais, 1999b), (Sprenger-Charolles & Casalis, 1996) les modèles à double voie (Besner, 1999), (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001) considèrent que les relations lettres-sons peuvent être exprimées sous la forme d'un ensemble restreint de règles de correspondances entre graphèmes et phonèmes. Le phonème est la plus petite unité de son et permet de différencier deux mots constituant une paire minimale : [p] et [b] sont des phonèmes permettant de distinguer [po] (« peau ») et [bo] (« beau ») en français. Les phonèmes sont représentés à l'écrit par des lettres ou des groupes de lettres appelés graphèmes. A l'écrit, les lettres « o » et « u » constituent un seul graphème lorsqu'elles sont accolées comme dans « route » mais elles constituent deux graphèmes quand elles sont séparées comme dans « utopie ». Les signes diacritiques comme les accents, le tréma, la cédille ...etc, sont également des graphèmes qui permettent d'augmenter le nombre de sons possibles représentés grâce à l'orthographe. Le graphème peut donc contenir une ou plusieurs lettres qui peuvent être accompagnées de marques diacritiques. Par conséquent, l'unité de base de l'écrit n'est pas la lettre mais le graphème qui renvoie au phonème, unité de base du système phonologique de la langue orale. Le recours à ce système de règles permet de lire les mots réguliers, qui s'écrivent comme ils se prononcent (« far » par exemple) et de prononcer les mots nouveaux et les pseudo-mots (c'est-à-dire des mots nouveaux qui n'existent pas comme « povidu » par exemple). Cette procédure appelée voie indirecte ou sublexicale ne peut, en revanche, être utilisée pour lire les mots irréguliers qui ne s'écrivent pas comme ils se prononcent (« femme » par exemple), ce qui a conduit les chercheurs à envisager une autre procédure de lecture appelée voie lexicale ou directe qui active directement les représentations orthographiques des mots.

Les modèles à étapes (Marsh, Friedman, Welsh, & Desberg, 1981), (Chall, 1983) rendent compte de l'acquisition de la lecture en s'inspirant directement des principes établis par les modèles à double voie. D'après ce modèle, le lecteur débutant passe par une série d'étapes caractérisées par l'adoption d'une procédure spécifique de traitement des mots. Chaque étape successive est fixe et identique pour tous les sujets, et les compétences propres à chaque stade

doivent être maîtrisées avant d'accéder au stade suivant. La première étape est l'étape logographique : le lecteur ne prend en compte que les traits visuels saillants tels que la typographie des lettres, sans tenir compte de leur ordre ou des facteurs phonologiques. Ainsi le sigle de la marque Coca-Cola est reconnu par certains pré-lecteurs, grâce à la typographie des lettres et à ses couleurs caractéristiques, le rouge et le blanc. L'étape suivante est la procédure par médiation phonologique dans laquelle les facteurs phonologiques deviennent cruciaux. Cette procédure est générative car elle permet à l'enfant de lire toutes les chaînes de mots qu'il connaît ou non. Elle convertit les graphèmes en phonèmes en s'appuyant sur les règles de prononciation de la langue. Les phonèmes obtenus à partir des graphèmes sont assemblés pour aboutir à la représentation phonologique du mot qui permet d'activer la représentation sémantique et orthographique correspondante. Grâce à la voie phonologique, nous sommes capables de lire « apilou crilau mivra », bien que ces pseudo-mots n'existent pas dans notre lexique orthographique. En revanche, la médiation phonologique ne peut être utilisée pour lire les mots irréguliers, qui contiennent des graphèmes à prononciation exceptionnelle (« e » se prononce [a] dans « femme », par exemple). Pour cela, les mots doivent être traités par une procédure non phonologique, la procédure orthographique. La voie orthographique convertit les lettres en unités plus larges, les graphèmes, sur la base de la familiarité orthographique. Dans le mot « orchestre » les deux lettres « c » et « h » correspondent au phonème /k/<sup>38</sup>, et constituent donc un seul graphème. Ces unités orthographiques permettent ensuite l'activation de la forme orthographique du mot, qui permettra l'activation de sa forme phonologique puis de la représentation sémantique adéquate. La voie orthographique permet notamment d'identifier des mots écrits homophones comme « ceint », « saint », « sein »... Dans ces deux dernières procédures, le traitement est linguistique et non plus visuel comme au stade logographique.

---

<sup>38</sup> Prononciation exceptionnelle. « ch » est généralement prononcé [ʃ]

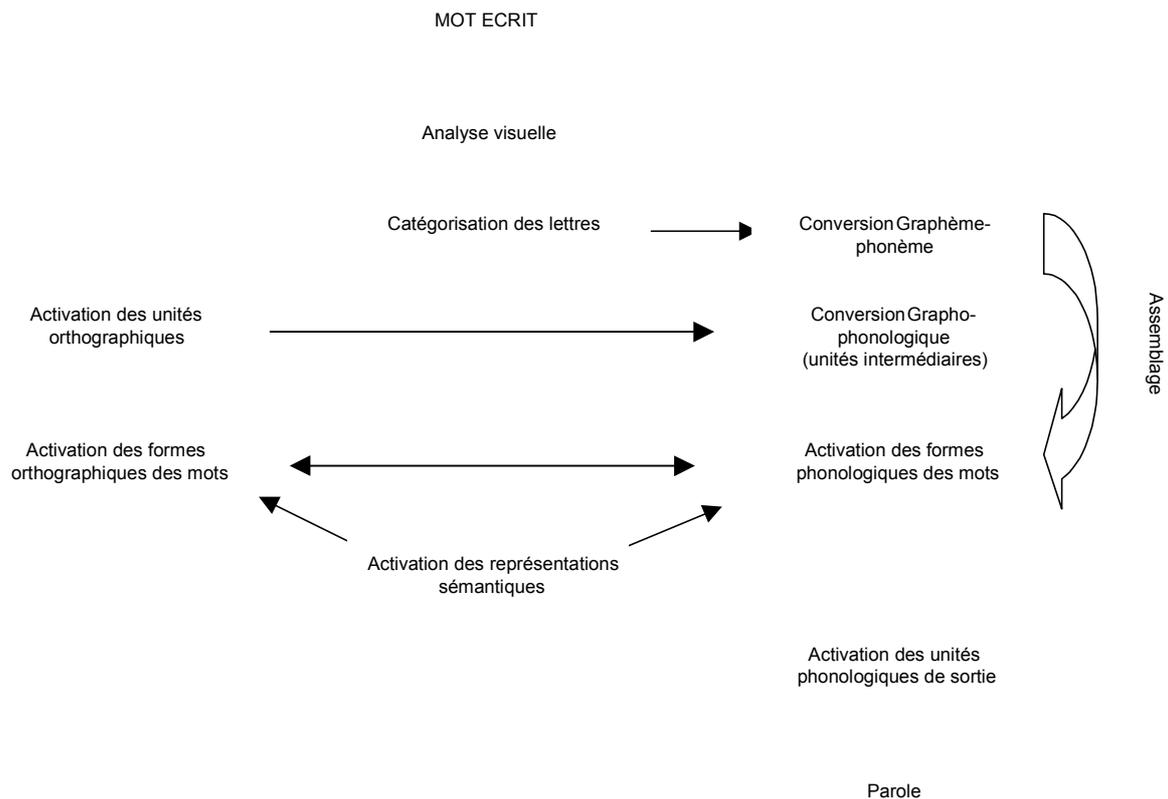


Figure 13 : Modèle du système de lecture de mot tiré de J.Morais p.139 (Morais, 1999a)

L'évaluation du modèle à étapes par Sprenger-Charolles et Casalis (Sprenger-Charolles & Casalis, 1996) indique que tous les enfants ne passent pas nécessairement par l'étape logographique, et que la procédure par médiation phonologique semble être prioritairement utilisée au début de l'acquisition de la lecture. Par ailleurs, aucun résultat ne permet de valider l'hypothèse d'un stade orthographique dans lequel la médiation phonologique ne jouerait aucun rôle. Dans la section suivante, nous allons nous attacher à évaluer et à décrire la place privilégiée que la procédure par médiation phonologique semble occuper dans les premiers moments de l'acquisition de la lecture, ainsi que dans la dynamique développementale.

## II.2. Evaluation du modèle à étape

### II.2.1. L'étape logographique

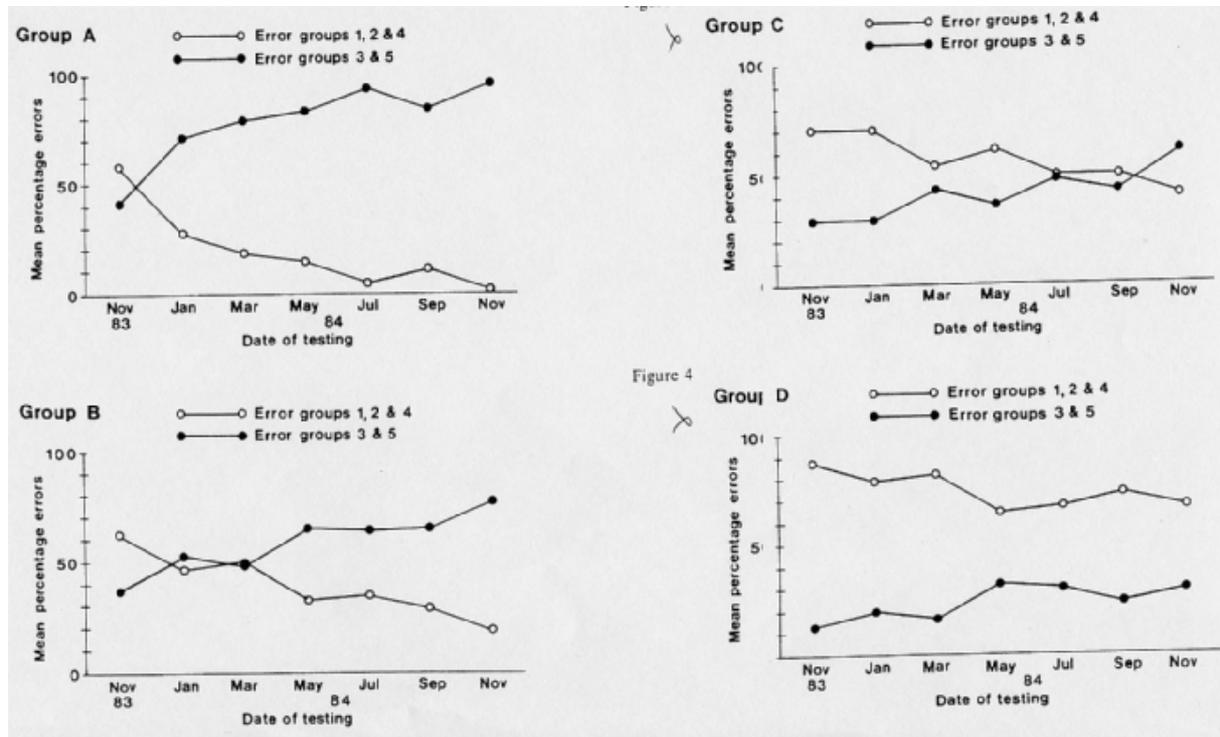


Figure 14 : Graphiques extraits de Stuart et Coltheart p.168-169 (Stuart & Coltheart, 1988) représentant l'évolution du type d'erreurs de lecture pendant la dernière année de maternelle et le début de primaire. Les ronds vides représentent les erreurs d'utilisation d'informations non pertinentes et la prise en compte d'indices graphiques saillants sans traitement séquentiel et les ronds pleins représentent les erreurs préservant les lettres initiales et/ou finales des mots. Les groupes ont été constitués en fonction de la date de réussite aux tests métaphonologiques : janvier pour le groupe A, mai pour le groupe B, juillet pour le groupe C, et le groupe D n'a pas répondu aux critères pendant la période étudiée. On remarque que les courbes permettant de représenter les erreurs se croisent à la période à laquelle les sujets réussissent les tests métaphonologiques.

Stuart et Coltheart (Stuart & Coltheart, 1988), ont étudié l'évolution des erreurs de lecture de mots<sup>39</sup> chez des enfants anglophones suivis de la dernière année de maternelle à la 4ème année de primaire. Ils ont constaté que l'utilisation d'informations non pertinentes ("play" lu "sister") ainsi que la prise en compte d'indices graphiques saillants sans traitement séquentiel ("milk" lu "like") diminuait durant cette période. En revanche, les erreurs préservant les lettres initiales et finales des mots ("cat" lu "car") qui présupposent un traitement séquentiel de type grapho-phonémique, augmentaient. Remarquons que les courbes permettant de représenter les erreurs se croisaient à la période durant laquelle les sujets réussissent les tests

<sup>39</sup> Recueil du niveau de lecture de mots auxquels ils ont été exposés à l'école, dès la maternelle.

métaphonologiques<sup>40</sup> (*Figure 14*). Pour 10 enfants sur 28 (groupe A et B), ce croisement apparaît au cours de la première année de scolarisation en maternelle ; en revanche, on ne l'observe pas chez 11 enfants (groupe D) qui n'ont pas atteint le critère de réussite aux épreuves pendant la période de test. Dans cette étude, les enfants qui possédaient des capacités métaphonologiques élevées les ont utilisées dès la maternelle pour mettre en place des stratégies de pré-lecture par médiation phonologique. Selon les auteurs, les pré-lecteurs qui ont atteint un niveau de compétence métaphonologique suffisant utilisent les lettres initiales et finales des mots en tant qu'indice phonologique dès les premiers contacts avec l'écrit et abandonnent ou n'utilisent pas la stratégie logographique.

Ehri et Wilce (Ehri & Wilce, 1983) ont mené une expérience d'apprentissage de deux types différents d'écriture chez des pré-lecteurs anglophones, l'une phonologique, l'autre logographique. La première, constituée de lettres représentant certains sons du mot (« JRF » pour girafe) s'est montrée plus efficace que la seconde qui comportait des lettres permettant une discrimination visuelle maximale (« WbC » pour girafe). Les auteurs en ont conclu qu'au début de l'apprentissage de la lecture, les informations phonologiques des mots sont plus exploitées que les informations visuelles. Masonheimer, Drum et Ehri (Masonheimer, Drum, & Ehri, 1984) ont abouti aux mêmes résultats chez des enfants experts dans la lecture de logographes, dont la majorité ont obtenu de faibles scores à une épreuve de lecture de mots et de logos hors contexte. Ces deux études indiquent qu'il est peu probable que la stratégie logographique permette d'apprendre à lire par induction, à partir d'un bain d'écrit. Cette stratégie, de nature exclusivement visuelle, n'est pas un mécanisme génératif puisqu'elle ne permet pas à l'enfant de lire de nouveaux mots et semble donc jouer un rôle mineur dans l'acquisition de la lecture.

Wimmer et Hummer (Wimmer & Hummer, 1990) ont étudié l'usage de la stratégie logographique chez des bons et mauvais lecteurs germanophones en première année de primaire. Les enfants se sont montrés capables de lire des mots et même des pseudo-mots, et leurs scores de lecture étaient prédits par leur connaissance des correspondances graphème-phonème. De plus, leurs erreurs étaient plutôt des néologismes et non des lexicalisations ou des absences de réponse qui sont habituellement observées lors de l'emploi d'une stratégie de lecture supposée logographique chez les lecteurs. Les apprentis lecteurs germanophones n'ont donc pas eu recours à une stratégie logographique pour lire. Sprenger-Charolles et Bonnet

---

<sup>40</sup> Réussissent au-delà du score du hasard deux tests de conscience phonologique, et connaissent au moins 13 des 26 lettres de l'alphabet.

(Sprenger Charolles & Bonnet, 1996) ont étudié l'évolution des stratégies de pré-lecture chez des enfants francophones entre la grande section de maternelle et la fin de la première année de primaire. L'enfant devait indiquer si l'image représentait le mot écrit au-dessous. Durant les deux premières sessions, en début et fin de grande section de maternelle, les enfants ont considéré que ce qui était écrit était correct dans la grande majorité des cas, bien que les items étaient des synonymes plus longs ("bicyclette") que le mot qu'ils utilisent normalement (au lieu de "vélo"). Dans la majorité des cas, les réponses positives étaient accompagnées de justifications sémantiques erronées (pour "bicyclette", l'enfant justifiait par "c'est écrit vélo" ou "VTT"). La forme globale du mot étant plus longue que celle habituellement employée par les enfants, une forte majorité des items proposés aurait dû être rejetées dans cette tâche si les enfants avaient employé la stratégie logographique. Dans une deuxième expérience, les mots écrits sous l'image avaient soit la même longueur que l'item cible (celui connu par l'enfant), soit la même longueur et la même syllabe initiale ou finale. Si les pré-lecteurs s'appuyaient sur la procédure logographique pour les lire, les traitements mis en œuvre ne devraient pas être séquentiels, et aucune différence ne n'aurait dû être observée entre les trois types d'items testés. C'est ce qui a été observé en début de grande section de maternelle, mais dès la fin de la grande section, les enfants désignaient plus fréquemment les items partageant la même syllabe initiale que l'item cible, ce qui indique que ces enfants se sont appuyés sur des indices graphiques locaux séquentiels traités de gauche à droite. Ces expériences n'ont donc pas permis d'observer l'utilisation de la procédure logographique chez des pré-lecteurs francophones.

Ces résultats indiquent que la stratégie logographique de lecture ne semble pas être employée par les apprentis lecteurs de systèmes d'écriture transparents et semble même être optionnelle dans les systèmes opaques comme en anglais<sup>41</sup>. Les stratégies de pré-lecture des enfants étudiés semblent s'appuyer de préférence sur des indices phonologiques.

### II.2.2. Les voies phonologique et orthographique

L'étude de Jorm, Share, McLean et Mathews (Jorm, Share, McLean, & Mathews, 1984) a contribué à montrer l'importance des capacités de décodage phonologique en lecture. Deux groupes d'enfants anglophones ont été constitués en fonction de leurs niveaux de maîtrise du recodage phonologique, mesurés en fin de maternelle par la lecture de pseudo-mots. Les

---

<sup>41</sup> Le degré de transparence des relations graphème-phonème n'est pas le même en fonction des langues. L'italien, l'espagnol ou l'allemand, sont des langues dont l'orthographe est transparente : un graphème ne représente qu'un seul phonème. En revanche, l'orthographe de l'anglais est opaque parce qu'un graphème peut représenter plusieurs phonèmes

enfants ayant obtenu les meilleurs scores de décodage phonologique avaient deux ans plus tard, neuf mois d'avance dans une épreuve d'identification de mots. C'est également ce que montre Byrne, Freebody et Gates (Byrne, Freebody, & Gates, 1992), qui ont suivi pendant un an des enfants anglophones en deuxième et troisième année du primaire. Ils ont été répartis en quatre groupes en fonction de leurs résultats à une épreuve évaluant les capacités de lecture globale (lecture de mots irréguliers) et les capacités de décodage phonologique (lecture de pseudo-mots). Un groupe de bons et un groupe de mauvais lecteurs ont été constitués en se basant sur leurs résultats aux deux types d'épreuves. Un troisième et un quatrième groupe ont été constitués : le groupe des « chinois » composé d'enfants qui ont obtenu des performances moyennes en lecture de mots irréguliers et mauvaises en lecture de pseudo-mots, et les « phéniciens » ayant obtenu des scores moyens en lecture de pseudo-mots et mauvais en lecture de mots irréguliers. Ces enfants ont passé un an plus tard des épreuves de lecture de mots réguliers, irréguliers et de pseudo-mots ainsi que des épreuves de compréhension écrite. Les bons lecteurs avaient alors de meilleurs scores que les lecteurs faibles, et les performances des « chinois » s'étaient détériorées tandis que celles des « phéniciens » s'étaient améliorées, y compris pour les mots irréguliers.

Sprenger-Charolles, Siegel et Bonnet (Sprenger-Charolles, Siegel, & Bonnet, 1998) ont étudié les effets de régularité, de fréquence et de lexicalité chez des enfants francophones entre le milieu de la 1ère année et la fin de la 4ème année de primaire afin d'évaluer l'évolution du poids des procédures sublexicale et lexicale de lecture chez l'apprenti lecteur francophone. Les enfants devaient lire à haute voix des mots réguliers et irréguliers, rares et fréquents, ainsi que des pseudo-mots appariés en difficulté orthographique aux mots réguliers ("table"- "lople"). Une différence entre lecture de mots fréquents et rares (effet de fréquence) est la signature de l'utilisation de la procédure lexicale. En effet, les mots fréquents sont mieux et plus rapidement lus, que les mots rares, leur adresse étant plus facilement accessible, parce plus souvent sollicitée. Une différence entre mots fréquents et pseudo-mots (effet de lexicalité) est un autre indicateur du recours à la procédure lexicale. En effet, les pseudo-mots ne peuvent pas avoir d'adresse dans le lexique interne des sujets puisqu'ils n'existent pas. Si l'item à lire ne fait pas partie des mots stockés dans son lexique orthographique (un mot nouveau, un nom propre), le lecteur ne peut utiliser la procédure lexicale. Il a alors recours à une procédure sublexicale : les unités sublexicales de la langue écrite (les graphèmes) sont mises en correspondance avec les unités sublexicales de la langue orale (les phonèmes), et une

différence entre mots réguliers et irréguliers au profit des premiers (effet de régularité) est un indicateur de l'utilisation de la procédure sublexicale.

En milieu de première année, les mots réguliers étaient mieux lus que les mots irréguliers (effet de régularité), que les mots soient fréquents ou non (absence d'effet de fréquence). Les performances pour les mots réguliers étaient similaires à celles des pseudo-mots (pas d'effet de la lexicalité). Ces patrons de résultats indiquent qu'à cette période, l'apprenti lecteur francophone s'appuie principalement sur la stratégie sublexicale de lecture (effet de régularité), les effets liés à l'emploi de la procédure lexicale de lecture n'étant pas significatifs (effets de fréquence et de lexicalité). En fin de première année, l'effet de régularité attestant de l'emploi de la procédure sublexicale, était supérieur à celui observé à la session précédente mais les effets témoignant du recours à la procédure lexicale de lecture étaient non significatifs en début de CP et devenaient significatifs en fin d'année. Une étude postérieure de Sprenger-Charolles, Siegel, Béchenec et Serniclaes (Sprenger Charolles, Siegel, Béchenec, & Serniclaes, 2003) leur a permis d'observer les compétences de lecture à haute voix jusqu'en fin de 4ème année de primaire<sup>42</sup>, en relevant également le temps de latence<sup>43</sup> (dont il n'a pas pu être tenu compte en 1ère année, à cause du trop faible nombre de réponses correctes). De la 2ème à la 4ème année, les pseudo-mots sont plus lentement et moins bien lus que les mots réguliers (pas d'effet de la lexicalité), les mots irréguliers sont moins bien lus que les mots réguliers mais cet effet de la régularité ne s'observe qu'en fin de 2ème année pour le temps de latence. D'après les auteurs, les différences entre précision de la réponse et temps de latence s'expliquent par le fait que ce dernier saisit les effets liés à la préprogrammation des codes articulatoires, qui seraient encapsulés pour les mots mais pas pour les pseudo-mots, surtout lorsqu'ils ne sont pas analogues à des mots de la langue, ce qui permet d'expliquer également pourquoi aucune différence n'est observée pour l'effet de régularité quand on observe le temps de latence. Sprenger-Charolles, Siegel et Béchenec (Sprenger Charolles, Siegel, & Béchenec, 1998) ont étudié l'évolution des procédures orthographique et phonologique entre la première et la deuxième année de primaire en lecture

---

<sup>42</sup> Contrairement à (Sprenger-Charolles et al., 1998) dans l'étude de 2003, il n'a pas été tenu compte des effets de fréquence, puisque même les mots peu fréquents étaient déjà connus en milieu de 1ère année de primaire. De plus, seules les performances pour les mots irréguliers, les pseudo-mots non analogues et les mots réguliers, représentant respectivement les meilleures signatures de l'accès à la procédure lexicale pour les premiers, sublexicale pour les seconds et aux deux procédures pour les derniers, ont été étudiées. Enfin en 2ème année, une troisième catégorie d'items composée de graphèmes contextuels (« c » dans « merci »/«tocir») a été ajoutée à la liste de mots réguliers et de pseudo-mots, des effets planchers ayant été observés en 1ère année, même pour les mots faciles

<sup>43</sup> Temps qui s'écoule entre le moment où commence à s'appliquer un stimulus et le moment où apparaît la réponse (Piéron, 1973).

silencieuse. Après avoir énoncé une catégorie (couleur, fruit), un item était présenté puis l'enfant devait dire si l'item appartenait à la catégorie qui venait d'être nommée (tâche de décision sémantique). L'item était parfois correctement écrit (« pomme ») et dans certains cas, des intrus phonologiques (« pome ») et visuels (« pomne ») étaient présentés. A la fin de la première année, les réponses erronées sont plus nombreuses pour les pseudo-mots homophones que pour les intrus visuels. Pour vérifier que ce résultat n'était pas dû à des connaissances orthographiques peu précises, une tâche de choix orthographique a été ajoutée, où l'enfant devait désigner le bon mot parmi trois propositions : le mot correct, un intrus visuel et un intrus phonologique. Entre la fin de la première année et le début de la deuxième, le nombre de réponses correctes double, indiquant qu'en fin de 2ème année les représentations des enfants sont bien établies. A la même époque, ces enfants ne rejettent correctement que 23% des pseudo-homophones et 46% des intrus visuels dans l'épreuve de décision sémantique. Ces résultats confirment que les caractéristiques phonologiques continuent à avoir un rôle prépondérant alors même que les performances orthographiques s'améliorent. De plus, lorsqu'ils se trompent en vérification orthographique, les enfants choisissent principalement les pseudo-homophones (75% en 1ère année et 85% en 2ème année). Dans cette épreuve, comme en décision sémantique, les pseudo-homophones sont donc une source d'erreurs plus fréquente que les intrus visuels.

La procédure sublexicale permet de lire tous les mots réguliers, connus ou non, et elle est partiellement utilisable pour la lecture de mots irréguliers composés de lettres ou de groupes de lettres décodables avec des correspondances grapho-phonémiques régulières. Il est donc possible de les lire en partie correctement en utilisant ces correspondances puis, grâce à une consultation du lexique oral, de corriger les erreurs. Par exemple, si le mot "femme" est lu en utilisant les correspondances grapho-phonémiques les plus fréquentes, on obtient l'item [fɛm] qui n'existe pas en français. Comme il existe un mot fréquent de prononciation voisine, [fam], on peut inférer que le "e" de "femme" doit être lu [a]. Les résultats précédents indiquent que la procédure sublexicale joue un rôle crucial dans l'acquisition de la lecture. Au début de leur apprentissage de la lecture, les enfants francophones utilisent principalement la procédure sublexicale dont le poids augmente au cours de l'apprentissage alors qu'apparaissent progressivement les manifestations d'un traitement lexical.

### II.2.3. Incidence de la consistance des correspondances graphème-phonème.

Dans certaines langues, les correspondances grapho-phonémiques sont plutôt transparentes, comme en espagnol par exemple : il est donc possible d'obtenir la prononciation des mots à partir de la connaissance des graphèmes. Dans d'autres orthographe comme celle de l'anglais, ces relations sont plus opaques et de nombreux mots ne peuvent se lire correctement en utilisant les relations grapho-phonémiques. Les relations graphème-phonème en anglais sont moins régulières qu'en français (Peereman & Content, 1999). Des chercheurs ont donc émis l'hypothèse que la procédure sublexicale pourrait être utilisée plus systématiquement et plus précocement dans les orthographe qui se caractérisent par des relations grapho-phonémiques prédictibles que dans celles où elles sont peu prédictibles. En conséquence, si les enfants utilisent les correspondances graphèmes-phonèmes pour apprendre à lire, cet apprentissage devrait être plus difficile pour les anglophones que pour les francophones. On peut donc s'attendre à observer une utilisation importante de la procédure sublexicale dès le début de l'acquisition de la lecture chez les francophones. C'est ce qu'indiquent les résultats de l'étude longitudinale de Bruck, Genesee et Caravolas (Bruck, Genesee, & Caravolas, 1997), qui montrent qu'en fin de première année de primaire, les scores en lecture de pseudo-mots et de mots monosyllabiques réguliers de haute fréquence<sup>44</sup> étaient plus faibles chez des enfants anglophones que chez des francophones, vu que le français est plus consistant que l'anglais. Chez les anglophones, les résultats de la tâche impliquant la connaissance des lettres, la tâche de suppression phonémique et toutes les tâches de jugement de similarité, (exceptées celles impliquant la syllabe ou la rime) étaient meilleures que chez les francophones. Les francophones étaient meilleurs en comptage syllabique et jugement de similarité impliquant la syllabe ou la rime. Les deux compétences qui constituent généralement les meilleurs prédicteurs du niveau ultérieur de lecture (connaissance des lettres et manipulation phonémique) étaient donc plus développées chez les anglophones que chez les francophones. En dépit de cela, les résultats des anglophones en fin de première année de primaire étaient inférieurs à ceux des francophones en lecture de mots et de pseudo-mots. L'analyse de régression des données a indiqué que les meilleurs prédicteurs du niveau de lecture dans les deux groupes linguistiques étaient la connaissance des lettres, la capacité de manipulation des unités subsyllabiques de type attaque rime pour les anglophones et celles portant sur les syllabes pour les francophones. Cette étude longitudinale inter-langues indique que la connaissance des lettres et certaines compétences métaphonologiques sont des prédicteurs

---

<sup>44</sup> différence toutefois plus marquée pour les pseudo-mots que pour les mots réguliers

fiables du niveau ultérieur de lecture quelle que soit la langue. Elle suggère également que les capacités d'analyse phonologique reliées à la lecture varient en fonction de la langue. Toutefois, l'effet le plus massif semble être celui de l'opacité de l'orthographe, comme en témoigne la supériorité des compétences des francophones en dépit d'une infériorité dans presque tous les domaines reliés à l'apprentissage de la lecture.

Le niveau de lecture semble donc dépendre du degré de transparence de l'orthographe : plus le système d'écriture est transparent, plus vite et mieux les enfants apprennent à lire. C'est également le cas, comparativement à des enfants anglais, pour des enfants espagnols (Goswami, Gombert and Barrera, 1998) et allemands (Frith, Wimmer and Landerl, 1998). L'anglais possède l'orthographe la plus opaque, et l'espagnol la plus transparente, l'allemand et le français occupant une position intermédiaire. La hiérarchie en lecture est conforme à ce qu'il est possible de prédire en fonction de l'opacité de l'orthographe : les scores les plus faibles se retrouvent chez les anglophones et les meilleurs chez les hispanophones, les scores des anglophones étant particulièrement faibles en lecture de pseudo-mots.

### II.3. Conscience phonologique et apprentissage de la lecture

Les études présentées précédemment montrent le rôle central de la phonologie dans la lecture. Elle a un fort pouvoir génératif, permet l'acquisition de nouveaux mots réguliers et intervient aussi dans la lecture des mots irréguliers. Un bon moyen d'évaluer les capacités phonologiques d'un individu réside dans la mesure de la conscience phonologique, ou conscience métaphonologique. Elle est définie comme la compétence qui permet d'identifier les composants phonologiques des unités linguistiques et de les manipuler intentionnellement (Gombert, 1992). Ces unités renvoient à des segments sans signification, tels que les syllabes et les phonèmes, mais également des unités infra syllabiques entre la syllabe et les phonèmes (l'attaque et la rime (Treiman, 1989)). Cette conscience phonologique amène l'apprenti lecteur à concevoir que les mots à l'oral sont constitués d'une séquence de sons, ce qui lui permet de comprendre que les sons les plus élémentaires, les phonèmes, correspondent dans une écriture alphabétique à des lettres ou à des groupes de lettres. Cette capacité à segmenter les mots en leurs constituants élémentaires, s'avère indispensable pour que l'apprenti lecteur soit en mesure de découvrir les correspondances grapho-phonémiques. Cette manipulation intentionnelle implique une connaissance explicite de ces segments qui est différente des connaissances implicites manipulées par l'enfant de manière automatique et sans focalisation attentionnelle. Cette dernière se développe naturellement au cours de l'acquisition du langage

parlé, alors que la conscience phonologique explicite serait développée ou sollicitée par l'apprentissage de la lecture. Les études menées sur la lecture ont par conséquent cherché à connaître les relations entre la conscience phonologique et l'acquisition de la lecture. Nous allons décrire une partie des travaux réalisés sur le sujet, représentant les trois points de vue les plus courants sur le rôle de la conscience phonémique dans l'acquisition de la lecture. Certains résultats expérimentaux ont permis de conclure que la conscience phonologique est un pré-requis pour l'apprentissage de la lecture, alors que d'autres études ont montré qu'elle émergerait après l'apprentissage de la lecture. Un troisième point de vue réconcilie les deux précédents et considère que la conscience phonémique est nécessaire mais n'est pas suffisante à l'apprentissage de la lecture.

### II.3.1. Pré-requis pour l'apprentissage de la lecture

Le premier point de vue considère que la capacité à segmenter les mots en phonèmes est nécessaire pour être capable de découvrir la correspondance systématique entre les éléments du langage écrit et oral. Elle est nécessaire pour l'identification des mots inconnus et améliore le niveau de pratique nécessaire au développement de la vitesse et de l'automatisation de la reconnaissance des mots. Cette hypothèse est soutenue par des données expérimentales obtenues notamment à la suite d'un entraînement des capacités métaphonologiques des sujets qui permettaient une amélioration des performances de lecture, chez les sujets auxquels l'entraînement avait profité. En effet, l'étude de Hatcher (Hatcher, Hulme, & Ellis, 1994) montre qu'un entraînement phonémique associé à un entraînement sur les correspondances graphème-phonème a eu des effets positifs sur le niveau ultérieur en lecture. Un groupe témoin recevait un apprentissage habituel en classe et trois autres étaient assignés à un entraînement particulier. Les enfants du groupe « phonologie » ont reçu un entraînement phonologique portant sur la rime, la syllabe et le phonème ; ceux du groupe « phonologie + lecture » recevaient le même entraînement de manière moins intense, et s'entraînaient à la mise en application de correspondances grapho-phonémiques. Les enfants du groupe « lecture » pratiquaient la lecture et l'écriture sans référence explicite à la phonologie. Les résultats ont montré que seul le groupe « phonologie + lecture » avait progressé davantage que le groupe témoin, en lecture de pseudo-mots et de mots (isolés et en contexte) ainsi qu'en compréhension de texte. Tunmer et Lally (Tunmer & Lally, 1986) ont également noté un effet de la conscience phonologique sur la connaissance des correspondances grapho-phonémiques, en mesurant la reconnaissance de mots chez des enfants pré-lecteurs à la suite d'un entraînement aux correspondances grapho-phonémiques. Quatre groupes ont été constitués :

les enfants ayant une bonne conscience phonologique et une bonne connaissance des relations graphème-phonème, les enfants ayant une bonne conscience phonologique et une mauvaise connaissance des relations graphème-phonème, les enfants ayant une mauvaise conscience phonologique et une bonne connaissance des relations graphème-phonème, et enfin les enfants ayant une mauvaise conscience phonologique et une mauvaise connaissance des relations graphème-phonème. Le groupe ayant le mieux réussi le post-test de reconnaissance de mots est celui composé des enfants ayant une bonne conscience phonologique et une bonne connaissance des phonèmes.

### II.3.2. Conséquence de l'apprentissage de la lecture

Les premiers travaux de conscience segmentale ont été réalisés par Liberman, Shankweiler, Fischer et Carter (Liberman, Shankweiler, Fisher, & Carter, 1974). Des enfants de 4, 5 et 6 ans devaient compter le nombre de syllabes ou le nombre de phonèmes d'un mot que prononçait un expérimentateur. Les meilleurs résultats à la tâche de segmentation phonémique ont été obtenus par les enfants de 6 ans ayant eu un entraînement formel à la lecture. Les enfants ont manifesté plus de difficultés en analyse phonémique qu'en analyse syllabique, ce qui indique que les syllabes, correspondant grossièrement à une unité articulatoire, étaient plus facilement isolées que les phonèmes. Alegria, Pignot et Morais (Alegria, Pignot, & Morais, 1982) ont répliqué cette expérience en neutralisant la différence due à la maturation psychologique entre groupes. Pour cela, deux groupes d'enfants de 6 ans ont été recrutés : les uns avaient reçu un enseignement se basant sur la méthode globale qui ne s'appuie pas sur une analyse phonémique, et les autres un enseignement se basant sur la méthode phonologique qui s'appuie sur une analyse phonémique explicite. La tâche de segmentation phonémique a été significativement mieux réussie par les enfants ayant suivi un enseignement phonologique, alors que les performances de segmentation syllabique étaient similaires. Les expériences menées avec des sujets illettrés, ont fourni des preuves supplémentaires de l'émergence de la conscience segmentale grâce à la lecture. Les études de Morais ont montré que les performances de conscience phonémique des illettrés sont inférieures à celles obtenues lors de la manipulation de syllabes ou de décision de rimes (Morais, Cary, Alegria, & Berthelson, 1979) ou quand ils doivent estimer la longueur d'une expression (Kolinski, Cary, & Morais, 1987). Des données obtenues avec des sujets confrontés à une écriture non alphabétique permettent également de soutenir l'hypothèse que les performances de lecture déterminent le niveau de conscience métaphonologique. Read, Zhang, Nie et Ding (Read, Zhang, Nie, & Ding, 1986) ont transposé le protocole expérimental de Morais (Morais et al., 1979) chez des

lecteurs du chinois. Les uns avaient appris le système logographique du chinois traditionnel ainsi que le "pinyin" qui est une représentation alphabétique du Chinois qui aide à la prononciation des caractères. Les autres étaient des lecteurs du système logographique uniquement. Les résultats indiquaient que seuls les lecteurs alphabétisés étaient capables de réaliser la tâche segmentale, alors que les performances des sujets non alphabétisés étaient similaires à celles des illettrés. Cette étude indique également que l'acquisition de la lecture dans un système alphabétique développe la capacité à manipuler les phonèmes et donc la conscience segmentale.

### II.3.3. Nécessaire mais pas suffisante à l'apprentissage de la lecture.

Les uns considèrent que la conscience phonémique est un pré-requis à la lecture, alors que pour les autres, elle n'émergerait qu'après son apprentissage. Les seconds se basent notamment sur des études montrant que contrairement aux adultes normo-lecteurs, les adultes illettrés ont de faibles performances aux tests de conscience phonologique (Morais et al., 1979). Toutefois, les études longitudinales montrent que de bons scores aux tests de conscience phonémique sont prédicteurs d'un bon niveau de lecture quelques années plus tard (Tunmer & Lally, 1986). D'après Stanovitch (Stanovitch, 1986), ces deux points de vue ne sont pas mutuellement exclusifs. Les enfants doivent avoir un niveau minimal de conscience phonémique pour acquérir les compétences basiques de lecture leur permettant en retour d'améliorer leurs performances en fournissant une base plus solide contribuant à améliorer les performances métalinguistiques. Les données de Tunmer et Nesdale (Tunmer & Nesdale, 1985) suggèrent que la conscience explicite des phonèmes est nécessaire mais pas suffisante pour acquérir les règles de correspondances grapho-phonémiques, puisque dans leur étude certains enfants ont montré de bonnes performances en segmentation phonémique alors que le décodage des pseudo-mots était mauvais, mais aucun enfant n'a montré de bonnes performances en décodage des pseudo-mots, tout en ayant un score faible en segmentation phonémique. Ces résultats suggèrent une relation de réciprocity entre le développement de la lecture et de la conscience phonémique.

Il est important de retenir qu'apprendre à lire revient à acquérir un nouveau savoir linguistique, basé sur une représentation écrite du langage. Dans un système alphabétique, l'apprenti lecteur doit apprendre que l'écriture est un code, dont la clef réside dans l'apprentissage des relations grapho-phonologiques. Nous avons vu que la transparence des relations grapho-phonémiques facilite l'apprentissage de la lecture, et que de bonnes capacités phonologiques sont cruciales pour cet apprentissage. La médiation phonologique occupe une

place prépondérante dans l'acquisition et le développement de la lecture et le niveau de lecture dépend fortement du niveau de conscience métaphonologique. Pouvoir mettre en relation les graphèmes et les phonèmes implique des capacités de segmentation phonémique, mais cette opération nécessite également des représentations phonémiques bien spécifiées. En effet, il ne suffit pas de savoir que "bain" [bɛ̃] est composé de deux phonèmes, il faut également pouvoir le distinguer de "pain" [pɛ̃]. Le long d'un continuum acoustique de [b] à [p], on perçoit deux catégories : à différences acoustiques identiques égales, on perçoit certains sons comme "p" et d'autres comme "b" (voir I.1. La Perception Catégorielle).

L'enfant qui ne se serait pas construit une catégorie pour chacun des phonèmes de sa langue, aura des difficultés pour associer à des phonèmes "flous" les graphèmes correspondants. Pour mettre en relation les graphèmes et les phonèmes, il ne suffit pas de segmenter l'oral en unités phonémiques, il faut également être capable de bien identifier et discriminer les phonèmes c'est-à-dire avoir des catégories phonémiques fermes et cohérentes.

## III LA DYSLEXIE

### III.1. Qu'est-ce que la dyslexie ?

#### III.1.1. Définition

Les études épidémiologiques estiment que les dyslexiques composeraient 5 à 10 % de la population générale (Sprenger-Charolles & Colé, 2003a). Selon la fédération mondiale de neurologie, 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. Les dyslexiques ne constituent donc qu'une partie des mauvais lecteurs qui englobent « tout lecteur dont le niveau de compréhension de l'écrit sera jugé insuffisant par rapport aux exigences sociales » (Observatoire de la lecture, 1998). Les récents travaux sur la dyslexie montrent que les dyslexiques manifesteraient des difficultés importantes à comprendre les textes écrits parce que la reconnaissance des mots écrits est déficiente tant au niveau de la précision que de la rapidité.

Le critère de diagnostic le plus souvent retenu est deux ans de retard, ce qui pose un problème puisqu'on ne peut diagnostiquer un enfant comme dyslexique qu'à partir de 8 ans. Un autre critère utilisé est l'écart par rapport à la moyenne des performances d'un groupe contrôle : on qualifie alors de déviantes les performances qui se situent à plus d'1,65 écart type de la norme ce qui correspond aux 5% les plus faibles. Les praticiens, eux, prennent en compte l'écart observé entre le niveau de lecture atteint par l'enfant et son niveau intellectuel. Les études portant sur des sujets adultes montrent que les difficultés d'apprentissage de la lecture perdurent chez les dyslexiques, jusqu'à l'âge adulte. Elbro, Nielsen et Petersen (Elbro, Nielsen, & Petersen, 1994) ont montré que les scores de lecture de mots et de pseudo-mots des dyslexiques adultes sont inférieurs à ceux d'adultes normo-lecteurs.

#### III.1.2. Déficits phonologiques et dyslexie

De nombreuses données démontrent la difficulté des enfants dyslexiques à prendre conscience de la structure phonémique de la parole et à réaliser des opérations sur des phonèmes de manière consciente. Cette difficulté pourrait être responsable, ou en tout cas associée, à leur

déficit en lecture (Snowling & Goulandris, 1996). En effet, de nombreuses expériences ont montré que les dyslexiques ont un déficit dans l'utilisation du décodage phonologique séquentiel, qui est une procédure dont l'efficacité peut être estimée au moyen de tests de lecture de pseudo-mots. De plus, les scores de lecture de pseudo-mots sont hautement corrélés avec les mesures d'habileté de conscience phonémique qui demandent une manipulation intentionnelle des phonèmes. Ces dernières mesures constituent de bons prédicteurs du succès en lecture, y compris pour la reconnaissance des mots. Les difficultés très sévères des dyslexiques en conscience phonémique sont hautement sélectives, celles-ci ne se manifestant pas pour des séquences musicales par exemple. Ainsi, en utilisant une tâche de soustraction de phonème initial (soustraire le [k] de [ku] et dire [u]), des enfants dyslexiques présentaient des résultats inférieurs à ceux des enfants normo-lecteurs de première année de primaire (Morais, Cluytens, & Alegria, 1984). En revanche, ils se sont montrés meilleurs que les non-dyslexiques dans la reproduction d'une courte séquence de notes au xylophone où il fallait omettre la première.

### III.1.3. Incidence de l'opacité de l'orthographe

La mise en correspondance des unités de l'écrit et de l'oral, les graphèmes et les phonèmes, est nécessaire pour lire. Comme nous l'avons vu précédemment, l'apprentissage de la lecture est facilité dans les langues dont l'orthographe est transparente. L'étude de Paulesu, Demonet, Fazio, McCrory, Chanoine, Brunswick, Cappa, Cossu, Habib, Frith and Frith (Paulesu et al., 2001) avait pour objectif de déterminer l'incidence de la transparence des relations grapho-phonémiques sur les performances de lecture des dyslexiques. Dans cette étude inter-langue, le déficit des procédures de lecture était plus marqué chez les dyslexiques anglais que chez les français et surtout que chez les italiens. Ce résultat indique que la transparence des relations grapho-phonémiques a une incidence sur les performances de lecture des dyslexiques. Étonnement, les performances des dyslexiques italiens se situaient entre celles des normo-lecteurs anglais et français. Si on se contente de ce constat, il est possible de conclure que la dyslexie est simplement la manifestation d'une difficulté linguistique spécifique, s'expliquant par l'opacité des relations grapho-phonémiques. Toutefois dans chaque groupe linguistique, l'écart entre les performances des dyslexiques et celles des normo-lecteurs est important. Quel que soit le degré d'opacité des relations grapho-phonémiques, les procédures d'identification des mots écrits paraissent donc toujours déficientes chez les dyslexiques. D'autre part, le déficit le plus notable est celui de la procédure sublexicale de lecture, quel que soit le degré d'opacité des relations grapho-phonémiques, ce qui indique une nouvelle fois que les

difficultés des dyslexiques sont principalement de nature phonologique (*Figure 15*). En plus des investigations comportementales, des données de neuro-imagerie recueillies dans cette étude ont permis de relever un dysfonctionnement neural commun dans les trois groupes de dyslexiques comparativement aux normo-lecteurs : une hypo-activation dans la partie antérieure du lobe temporal de l'hémisphère gauche. Ces résultats suggèrent que le déficit de lecture des dyslexiques, qui est principalement de nature phonologique, pourrait avoir une origine commune.

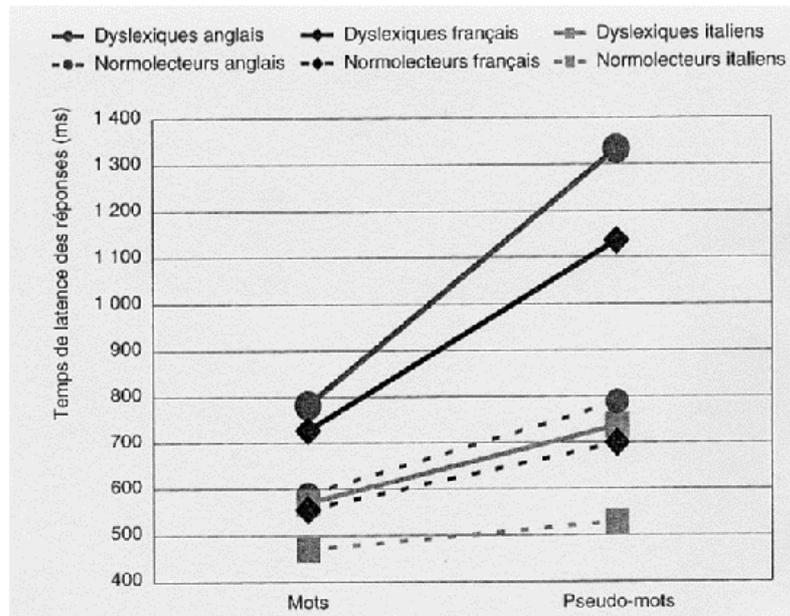


Figure 15 : Lecture de mots (à gauche) et de pseudo-mots (à droite) chez des dyslexiques adultes et des normo-lecteurs anglais, français et italiens (Paulesu et al., 2001).

#### III.1.4. Les sous-types de dyslexie : un déficit phonologique commun.

Les données sur la dyslexie acquise<sup>45</sup> ont permis d'observer que certains patients ne peuvent lire que les mots réguliers sur le plan des correspondances grapho-phonémiques et produisent des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers, même très fréquents ("sept" lu comme "septembre"). D'autres présentent le profil inverse : ils ne peuvent lire que les mots qu'ils connaissent et s'avèrent incapables de lire des mots nouveaux (Sprenger Charolles & Colé, 2003). Dans le premier cas, quand les patients s'appuient surtout sur le décodage et ont perdu les représentations orthographiques des mots, on parle de dyslexie de surface. Dans le second, quand les sujets ont des difficultés sélectives avec le décodage, on parle de dyslexie phonologique. Des études basées sur des cas uniques de dyslexie du développement ont également observé des cas de dissociation. La méthode se basant sur les profils extrêmes est critiquable parce qu'elle ne prend pas en compte les profils mixtes<sup>46</sup>, alors qu'ils pourraient représenter une partie significative de la population dyslexique (Sprenger-Charolles & Messaoud-Galusi, 2004).

<sup>45</sup> La dyslexie acquise survient chez des adultes qui ont normalement appris à lire : l'architecture cognitive sous-tendant cette compétence était donc parfaitement en place chez eux. En général, certains aspects de la lecture sont préservés et les dissociations fonctionnelles relevées permettent d'émettre des hypothèses sur les différentes composantes impliquées dans le processus de lecture (Sprenger-Charolles & Colé, 2003a).

<sup>46</sup> dyslexique ayant un déficit de traitement de la voie phonologique et de la voie orthographique de lecture

Pour évaluer la prévalence des différents profils de dyslexie, il est nécessaire de comparer leurs performances à celles d'enfants contrôles de même âge et de même niveau de lecture. Sans ces contrôles, il y aurait un risque de supposer à tort que les performances observées sont spécifiques à la dyslexie alors que ce comportement pourrait se retrouver chez des enfants lisant normalement. Il existe deux méthodes qui diffèrent par la manière dont sont constitués les "cut-offs" (limites entre les groupes) : la méthode classique<sup>47</sup> et la méthode des régressions<sup>48</sup>. Sprenger-Charolles et al. (Sprenger-Charolles & Messaoud-Galusi, 2004)[Sprenger-Charolles, June 23 2004 #262] ont examiné les études employant ces méthodes (Castles & Coltheart, 1993; Génard et al., 1998; Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang, & Peterson, 1996; Stanovich, Siegel, & Gottardo, 1997; Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000). La méthode classique a mis en avant une forte proportion de double déficit en comparaison des contrôles d'âge chronologique. Dans celles employant la méthode des régressions, la proportion de profils dissociés était plus importante. Toutefois, la proportion de profils dissociés différait suivant la langue quand la précision de la réponse était prise en compte. Quelle que soit la méthode, on observait plus de dyslexiques de surface que de dyslexiques phonologiques dans les études francophones, alors que la même proportion, voire le rapport inverse, était observées dans les études anglophones. En revanche, dans la seule étude française qui a examiné le temps de latence, les résultats relevés reproduisent ceux observés dans les études anglophones. Le résultat le plus notable de toutes ces études est que les profils de type surface disparaissent quand on compare les dyslexiques à des contrôles plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture (Sprenger Charolles, Pinton, Touzin, Béchenec, & Billard, 2004). Ce n'est pas le cas des profils de type phonologique, ce qui suggère que le déficit phonologique des dyslexiques est sévère puisqu'il se relève, y compris

---

<sup>47</sup> Dans la méthode classique, les limites entre groupes sont basées sur la distribution des performances des normo-lecteurs pour la lecture de pseudo-mots et de mots irréguliers. Les erreurs d'un dyslexique en lecture sont considérées comme étant indicatives d'un déficit si elles sont à plus d'un écart type sous le niveau des scores des normo-lecteurs. Dans cette méthode, comme dans les analyses de cas uniques, on définit comme dyslexique phonologique l'enfant dont les performances en lecture de mots irréguliers sont normales mais dont les performances en lecture de pseudo-mots se situent en dessous de la norme. L'enfant qui, à l'inverse, peut lire normalement les pseudo-mots mais a des performances en dessous de la norme en lecture de mots irréguliers, est caractérisé comme dyslexique de surface. Dans cette méthode, l'identification de sous-type se base sur un déficit sélectif des compétences phonologique ou orthographique en lecture.

<sup>48</sup> Dans la méthode des régressions, on prend comme référence les performances des normo-lecteurs en lecture de mots irréguliers, en regard de celles pour les pseudo-mots, ou l'inverse, ce qui permet de tracer deux droites de régression avec leurs intervalles de confiance (IC). La première droite permet de repérer les enfants qui ont un déficit phonologique, c'est-à-dire ceux dont les performances en lecture de pseudo-mots sont hors de l'IC ; la seconde permet de repérer ceux qui ont un déficit orthographique, dont les performances sont hors de l'IC pour les mots irréguliers. Les enfants qui se situent, dans les deux cas, hors de l'IC présentent un double déficit et ceux qui sont uniquement hors de l'IC dans l'une des comparaisons, présentent un profil dissocié de type dyslexie phonologique ou de surface. Cette classification se base sur l'observation d'un déficit relatif dans les compétences phonologiques de lecture en comparaison aux compétences orthographiques ou l'inverse.

par rapport à des enfants de même niveau de lecture mais plus jeunes qu'eux. Ces résultats reproduisent ceux obtenus avec des groupes indifférenciés de dyslexiques (Van Ijzendoorn & A.G., 1994), qui constatent que seuls les compétences phonologiques sont déficitaires en comparaison des contrôles de niveau de lecture.

Il ressort de ces études que les profils dissociés ne sont pas stables: leur nombre varie en fonction des méthodes, des mesures, de la langue et de l'âge des dyslexiques. Toutefois, au-delà de cette variabilité, le déficit phonologique paraît être le plus sévère puisqu'il se manifeste même dans la comparaison avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture. Ces résultats ne corroborent pas l'hypothèse d'une dissociation claire entre les profils de dyslexie phonologique et de surface. La procédure phonologique est employée pour la lecture des mots nouveaux, des pseudo-mots, des mots réguliers et elle est partiellement employée dans la lecture des mots irréguliers. Les faibles habiletés des dyslexiques en analyse phonémique et en mémoire phonologique à court terme pourraient entraver la mise en place de la procédure phonologique de lecture. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en outre d'un déficit mnésique va difficilement pouvoir utiliser cette procédure. D'autre part, comme les procédures orthographiques dépendent en partie de l'efficacité de la procédure phonologique, un déficit phonologique serait également responsable du déficit orthographique des dyslexiques de surface. Dans la majeure partie des cas, les dyslexiques ont un double déficit en lecture, leur déficit phonologique étant toutefois le plus sévère puisqu'il est relevé, y compris par rapport à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture. Les dyslexiques de surface auraient un simple retard d'apprentissage, leur déficit orthographique ne se retrouvant pas dans la comparaison avec des enfants de même niveau de lecture. Toutefois des déficits phonologiques en analyse phonémique et en mémoire phonologique à court terme ont quasi systématiquement été retrouvés par rapport à des enfants de même âge, voire de même niveau de lecture. Les différentes manifestations des déficits relevés dans ces études pourraient n'avoir qu'une seule et même origine, un déficit phonologique empêchant l'élaboration de représentations orthographiques. Elles s'expliqueraient par des stratégies compensatoires, par exemple privilégier la précision au détriment du temps de traitement, qui varient sous l'influence de facteurs tels que l'environnement socio-culturel des enfants et les rééducations auxquelles ils ont été soumis. Ce déficit pourrait avoir pour origine une déficience des traitements phonologiques, hors de la lecture.

### III.2. Les théories explicatives de la dyslexie.

La théorie auditive attribue la dyslexie à un déficit de traitement de l'information auditive, en dépit de capacités auditives périphériques préservées. Sur la base de ce déficit auditif, plusieurs hypothèses ont été formulées, plaçant les mécanismes sensoriels non linguistiques au centre de cette pathologie.

L'hypothèse d'un dysfonctionnement moteur chez les dyslexiques postule que des capacités d'automatisation déficitaires affecteraient les capacités censées devenir automatiques grâce à un exercice prolongé. Cette hypothèse se base sur les résultats d'un apprentissage moteur montrant une activation du cervelet inférieure à celle des contrôles (Nicolson et al., 1999). Selon eux, les structures du cervelet impliquées dans les apprentissages moteurs et dans la production de la parole seraient responsables des retards d'apprentissage de la lecture manifestés par les dyslexiques.

La seconde hypothèse suspecte un dysfonctionnement du système visuel. Le traitement visuel, au-delà du cortex occipital, se divise en deux voies. La voie dorsale, alimentée par le système magno-cellulaire est spécialisée dans la détection de mouvements et a un rôle particulièrement important dans le contrôle des mouvements oculaires. La voie centrale, dominée par le système parvo-cellulaire, est spécialisée dans l'identification de formes visuelles. Le système magno-cellulaire est spécialisé dans le traitement des basses fréquences spatiales, le système parvo-cellulaire dans le traitement des hautes fréquences. Lovegrove et Breimeyer (Lovegrove & Breimeyer, 1993) ont été les premiers à constater que le système magno-cellulaire était diminué chez les dyslexiques. Ils suggèrent que l'activité magno-cellulaire pendant une saccade oculaire permettrait de supprimer l'activité parvo-cellulaire relative à la fixation précédente, et permettrait ainsi d'éviter que l'activité soutenue de ce système se poursuive dans la fixation suivante. Une situation analogue à la double exposition en photographie serait engendrée par un système magno-cellulaire défaillant. Chez les dyslexiques l'activité magno-cellulaire serait déficiente, et cette inhibition ne serait pas suffisante et causerait des troubles dans le traitement visuel au cours de la lecture.

Le dysfonctionnement visuel magno-cellulaire et le dysfonctionnement moteur cérébelleux ont récemment été groupés dans la théorie magno-cellulaire de la dyslexie (Lovegrove & Breimeyer, 1993). Les magno-cellules étant particulièrement sensibles aux informations temporelles rapides, la théorie magno-cellulaire s'est en partie fondée sur les assomptions de

la théorie auditive. D'après cette dernière, il y aurait deux causes directes au retard de lecture des dyslexiques : les déficits phonologiques et les déficits visuels. Le premier est la conséquence d'un déficit auditif général qui partage les mêmes bases neurologiques que le second : le dysfonctionnement des magno-cellules dans le chemin sensoriel, qui a également des répercussions sur le toucher. Il atteint le cervelet par le cortex pariétal postérieur, causant d'autres dommages dans les capacités motrices. De ce point de vue, la dyslexie est envisagée comme un syndrome sensori-moteur général.

Dans une revue de la littérature, Ramus (Ramus, 2003) note qu'il n'est pas clairement établi qu'un dysfonctionnement d'origine magno-cellulaire serait la cause sous-jacente de déficits visuels, et qu'une minorité de dyslexiques (29%) semble avoir des problèmes visuels. Les déficits moteurs seraient également restreints à un sous-groupe de la population dyslexique (30 à 50%). De plus les preuves d'un lien causal entre déficits moteurs, visuels ou auditifs et la lecture ou les procédures de traitement phonologique, sont peu nombreuses. Par ailleurs, il y aurait un recouvrement partiel entre ces différents domaines de déficits et même lorsqu'un large panel de tâches est proposé, certains dyslexiques ne montrent aucun déficit sensori-moteur et semblent avoir un trouble phonologique pur (Ramus, 2003). D'après Ramus, il est probable que les dysfonctionnements sensoriels cités forment un syndrome sensori-moteur général, dont les manifestations sont variables en fonction des individus, et seraient un trait optionnel et non caractéristique de la dyslexie.

Les tenants de la théorie phonologique s'opposent aux arguments de la théorie auditive et affirment que la dyslexie proviendrait de déficits de traitement et de mémoire phonologique spécifiques aux sons de la parole.

Nous allons exposer les données expérimentales et théoriques qui ont permis l'élaboration de la théorie fondatrice des hypothèses sensori-motrices de la dyslexie, la théorie auditive, selon laquelle le déficit des dyslexiques réside dans le traitement auditif des informations acoustiques courtes et rapides. Le déficit des procédures de traitement phonologique étant le résultat le plus solide dans les études sur la dyslexie (Ramus et al., 2002), nous présenterons dans un deuxième temps les arguments et les résultats qui étayent la théorie phonologique, qui avance une origine spécifiquement linguistique à la dyslexie.

### III.2.1. L'hypothèse auditive : la dyslexie expliquée par un déficit auditif général.

Le déficit auditif mis en cause par cette théorie implique le dysfonctionnement du traitement auditif central, malgré un traitement auditif périphérique normal (audiogramme normal). Cette approche n'exclue pas l'existence de déficits linguistiques et affirme que les déficits auditifs sont la cause des déficits phonologiques, qui, à leur tour, mènent à des difficultés de lecture. Un déficit auditif causant des déficits linguistiques empêcherait également la constitution d'une conscience phonologique normale, ce qui conduirait à des difficultés de lecture.

#### III.2.1.a. Preuves expérimentales soutenant le déficit auditif général.

Les premiers résultats montrant un déficit de perception auditive viennent de l'étude de patients aphasiques par Efron (Efron, 1963). Il a comparé des patients aphasiques<sup>49</sup> et des patients traumatisés crâniens adultes, lors d'une tâche de jugement d'ordre temporel (TOJ pour Temporal Order Judgement), en utilisant des tons dont la F0 différait. Les performances des patients aphasiques étaient significativement inférieures à celles des traumatisés crâniens, ce qui a conduit Efron à conclure que l'aphasie n'est pas un trouble uniquement linguistique, mais plutôt une conséquence d'un déficit d'analyse temporelle. L'idée que l'aspect spécifiquement temporel du traitement auditif central pourrait être la cause d'un désordre langagier, a été appliquée à la dysphasie<sup>50</sup> et à la dyslexie dans une série d'expériences menées par Tallal.

La tâche principalement utilisée était une version plus élaborée de la tâche de TOJ (*Figure 16*). Cette tâche a d'abord été employée chez des enfants dysphasiques par Tallal et Piercy (Tallal & Piercy, 1973). Ils ont montré que lors des tâches de répétition ou de jugement même-différent, les performances des enfants dysphasiques étaient plus faibles que celles des

---

<sup>49</sup>L'aphasie est habituellement consécutive à une lésion cérébrale gauche. L'aphasie de Broca se manifeste par un déficit expressif. Dans ses formes les plus graves, elle s'accompagne d'une grande réduction voire, de la suppression de la capacité d'expression, et affecte autant la langue parlée que la langue écrite. Les troubles de la compréhension, affectant aussi la langue parlée et écrite, sont ceux de l'aphasie de Wernicke. ((Bérubé, 1991).

<sup>50</sup>Appelée également aphasie du développement, et *Specific Language Impairment (SLI)* dans la littérature anglophone. Elle est définie comme suit par (Bishop, 1997) "*SLI is typically diagnosed by late-developing and impaired language abilities alongside more-or-less normal cognitive abilities, and the absence of any frank neurobiological signs or peripheral hearing impairment*" (la dysphasie peut être diagnostiquée par un développement tardif et insuffisant des capacités linguistiques accompagnées de capacités cognitives plus ou moins normales, et sans aucun signe problème neurologique majeur ou déficit auditif périphérique).

contrôles pour les stimuli présentés avec des ISI courts. En revanche, Pour les ISI longs les performances atteignaient des scores plafonds. Tallal et Piercy (Tallal & Piercy, 1974) ont ensuite constaté que les dysphasiques avaient de grandes difficultés à discriminer des stimuli [ba]-[da] se distinguant par leurs transitions vocaliques, que les auteurs qualifient de « changements rapides de fréquence ». Ceci a conduit les auteurs à affirmer que le déficit auditif constaté dans cette population était spécifique au traitement des stimuli brefs ou changeant rapidement. Les auteurs ont également constaté une amélioration des scores de discrimination lorsque la durée des transitions augmentait, corroborant selon eux, le lien entre déficits des stimuli brefs ou rapides et troubles du langage.

Le même patron de résultats a été constaté chez des mauvais lecteurs (Tallal, 1980). Les procédures de TOJ et de jugement même-différent (*Figure 16*) ont été proposées à de bons et de mauvais lecteurs. Tallal a observé une interaction significative groupe\*ISI : en discrimination ou en TOJ, les scores aux stimuli séparés par des ISI courts étaient plus mauvais chez les mauvais lecteurs. En revanche, pour les ISI longs, les performances des deux groupes étaient semblables. Analysés individuellement, seuls 8 des 20 mauvais lecteurs produisaient ce patron de résultat, les 12 autres ne se distinguaient pas des contrôles. La corrélation entre un test de lecture de pseudo-mots et les performances aux stimuli présentés rapidement était positive. Les auteurs ont conclu que les mauvais lecteurs manifestent des difficultés de perception des patrons temporels qui proviendraient d'un déficit affectant la vitesse de traitement l'information perceptive (Tallal, 1980 p.191). De plus, la vitesse de présentation des informations interviendrait dans le séquençage mais aussi dans la discrimination du signal. Ces difficultés d'analyse temporelle des informations auditives seraient la cause des difficultés d'apprentissage de la lecture chez les dyslexiques.

## TEST DE REPETITION DE TALLAL (Tallal, 1980)

### Les tests de Temporal Order Judgement (TOJ) :

Une combinaison de deux stimuli de 75 ms dont la fréquence fondamentale diffère (100 vs. 305 Hz) ont été employés. Le test de répétition est composé des sous tests suivants.

**Le test d'association :** les sujets sont d'abord entraînés à répondre à chaque stimulus présenté séparément en poussant sur des boutons différents pour chaque stimulus. Ainsi les sujets apprennent à discriminer chaque stimulus, et à l'associer avec la réponse motrice correcte.

**Le test de séquençage :** les quatre paires possibles de stimuli (1-1, 2-2, 1-2 2-1) sont présentées successivement. Ils sont séparés par un intervalle inter stimulus (ISI) de 428 ms et les sujets répondent en appuyant sur les boutons en désignant l'ordre correct de présentation des signaux.

**Le test de perception rapide :** dans ce test les mêmes patrons de paires de stimuli sont à nouveau utilisés, mais l'ISI décroît progressivement de 305 à 8 ms.

### Les tests de discrimination :

Une procédure de discrimination a été également utilisée dans cette expérience pour différencier les difficultés de discrimination des difficultés de perception de l'ordre temporel.

**Test de discrimination :** Les sujets perçoivent d'abord deux tons identiques séparés par un ISI de 428 ms et doivent indiquer que les deux tons étaient identiques. Le même entraînement est reproduit avec deux tons différents. Puis les sujets appuient sur le bouton approprié après la présentation de deux tons identiques ou différents. Le même patron de test était présenté aux sujets avec des ISI décroissants de 305 à 8 ms.

**Test de discrimination rapide :** Pour le même stimulus la perception de l'ordre temporel est requise dans le test de perception rapide alors que ce n'est pas le cas dans le test de discrimination.

*Figure 16 : Descriptif du test de répétition classiquement utilisé dans les expériences de Tallal (Tallal, 1980).*

Les études employant des tâches de masquage ont également contribué à renforcer l'hypothèse que la difficulté de traitement des événements acoustiques brefs ou rapides est liée au déficit de traitement des signaux de parole. Les difficultés dans les tâches de backward masking<sup>51</sup> ont été observées chez des dyslexiques (Saunders, Protopapas, Cangiano, Salz, & Cerles, 1998; Wright et al., 1997). Cela a mené les tenants de l'hypothèse auditive à affirmer que les difficultés perceptives des dyslexiques seraient causées par une interférence entre les sons, ceux s'étant produits plus tardivement dans le décours temporel du signal agissant comme un masque sur les sons précédents. Cela établit un lien direct entre les déficits de perception des tons et les déficits de perception de la parole observés par Tallal et collaborateurs chez les dyslexiques et les dysphasiques. Le 2ème ton masquerait le premier dans les tâches de backward masking tout comme la voyelle masquerait les transitions des formants dans /ba/-/da/.

Ahissar, Protopapas, Reid et Mezernich (Ahissar, Protopapas, Reid, & Merzenich, 2000) ont également constaté un lien entre le traitement auditif et les capacités de lecture chez 102 adultes monolingues anglophones tout-venant (15-58 ans), répartis en deux groupes, l'un

<sup>51</sup>Détection d'un son (ton ou syllabe) court précédant un bruit masquant.

ayant eu des difficultés d'apprentissage de la lecture et l'autre ayant appris à lire normalement. Pour cela, différents tests de lecture et d'évaluation des capacités cognitives<sup>52</sup> leur ont été soumis, ainsi qu'une batterie de tests psycho-acoustiques<sup>53</sup>. Les performances des adultes mauvais lecteurs se sont avérées inférieures dans les tâches spécifiquement auditives (discrimination de fréquence et identification de séquence de tons), impliquant principalement la discrimination d'informations spectrales. L'ajout de contraintes temporelles, particulièrement lorsqu'une catégorisation explicite était requise, rendait la tâche encore plus difficile pour les mauvais lecteurs. En revanche, leurs performances aux tâches ne réclamant pas d'analyse spectrale (discrimination d'intensité et d'intervalles) étaient similaires aux contrôles. La perception de tons purs et la discrimination de formants de parole se sont avérées être fortement corrélées à la lecture et à la discrimination de tons purs. L'indicateur le plus fiable du niveau de lecture était l'identification d'une séquence de deux tons, capacité incriminée dans les difficultés de lecture des dyslexiques (Tallal, 1980) et le retard langagier des dysphasiques (Tallal & Piercy, 1974). 37% de la variance en lecture de pseudo-mots était expliquée par les performances de backward masking de syllabes synthétiques.

En résumé, la théorie d'un déficit auditif général affirme que le traitement temporel serait déficitaire chez les dyslexiques/dysphasiques. La perception rapide demandée par les événements auditifs, brefs ou changeant rapidement, impliqués dans les tâches de jugement de l'ordre temporel de tons à des ISI courts ou lors des tâches de backward masking, serait déficitaire chez ces enfants. Ce déficit aurait de graves implications sur la perception de la parole, notamment lors de la discrimination d'oppositions notées par des événements brefs et rapides tels que les transitions des formants. Dans ce cadre, un déficit de perception des sons de la parole affecterait les représentations phonologiques des dyslexiques et rendrait la manipulation intentionnelle des phonèmes difficile pour eux. Les corrélations observées entre performances de traitement temporel et lecture de pseudo-mots, conforterait le lien de causalité entre déficits auditifs et déficits phonologiques, qui mèneraient à leur tour aux difficultés de lecture observées chez les dyslexiques.

---

<sup>52</sup>Tests d'épellation et de lecture, de capacités cognitives (QI non verbal et de mémoire de mot).

<sup>53</sup>Batterie psycho-acoustique destinée à couvrir tous les aspects de la résolution auditive spectrale et temporelle, en employant une procédure adaptative d'estimation du seuil (asymétrique : taille des pas variables) : détection de tons dans des intervalles, d'énergie, discrimination de fréquence, d'intensité, de formants, identification de tons, *backward masking*, discrimination de fréquence sous *backward masking*.

### III.2.1.b. Données expérimentales infirmant le déficit auditif général

La théorie du déficit auditif général s'appuie donc sur une interaction entre groupe et ISI, pour soutenir l'hypothèse que chez les mauvais lecteurs/dyslexiques un déficit de traitement des stimuli aux ISI courts serait déficitaire, alors qu'il serait préservé aux ISI longs. Ce déficit affecterait les compétences phonologiques impliquées dans les tâches de conscience phonémique, de mémoire à court terme phonologique de dénomination rapide, et plus particulièrement la lecture de pseudo-mots.

Share, Jorm, Maclean et Matthews (Share, Jorm, Maclean, & Matthews, 2002) ont souhaité évaluer ces arguments chez des enfants suivis longitudinalement entre la dernière année de maternelle et la deuxième année de primaire, durant lesquelles leur niveau de lecture, compréhension écrite et jugement d'ordre temporel (tests de TOJ *Figure 16*), a été évalué. En se basant sur leur niveau de lecture en 2ème année de primaire, un groupe de mauvais lecteurs a été constitué auquel un groupe de sujets contrôles d'âge chronologique a été apparié suivant leurs QI, vocabulaire, âge, sexe et milieu social. Le groupe de mauvais lecteurs a repassé le test de répétition en 3ème année de primaire et a été apparié à des sujets contrôles en âge de lecture, sélectionnés parmi les bons lecteurs de la cohorte. Les performances des mauvais lecteurs étaient inférieures à celles des contrôles d'âge chronologique aux ISI longs, mais leurs performances étaient similaires aux ISI courts. Le déficit des mauvais lecteurs observé dans les traitements temporels était donc inverse aux prédictions de l'hypothèse auditive. Comme dans l'étude de Tallal (Tallal, 1980), les compétences phonologiques des mauvais lecteurs ayant des faibles scores aux tests de répétition ont été comparées à celles des mauvais lecteurs ayant de bons scores à ce test, sans observer de différence significative. Aucun déficit sélectif du traitement des changements acoustiques rapides n'a été observé, ce qui infirme de nouveau les hypothèses de la théorie auditive. Les difficultés à traiter les événements acoustiques rapides prétendus cruciaux pour percevoir les oppositions de leur langue chez les mauvais lecteurs n'ont donc pas été constatées. Par ailleurs, les scores des mauvais lecteurs étaient significativement inférieurs à ceux des contrôles d'âge lecture dans une tâche d'écriture et en lecture de pseudo-mots, confirmant le déficit phonologique classiquement observé dans la littérature, mais leurs scores au test de répétition étaient légèrement supérieurs à ceux des contrôles d'âge de lecture. L'argument de la théorie auditive qui avance que les résultats aux tests temporels prédisent les futurs déficits phonologiques a été également évalué : les scores aux tests temporels en maternelle ne prédisaient pas les scores de conscience phonologique ou le niveau de lecture de pseudo-mots en 2ème année de primaire. Ce résultat infirme donc

l'argument qu'un déficit de traitement temporel précoce sous-jacent aux déficits de traitements phonologiques chez les mauvais lecteurs causerait leurs difficultés de lecture.

Les mêmes hypothèses ont été évaluées par Chiappe, Stringer, Siegel et Stanowitch (Chiappe, Stringer, Siegel, & Stanowitch, 2002), en mesurant chez 30 adultes mauvais lecteurs, 32 adultes normo-lecteurs et 31 enfants normo-lecteurs de même âge de lecture, de multiples variables parmi lesquelles des tâches temporelles et phonologiques ainsi que le niveau de lecture. Les adultes mauvais lecteurs se sont montrés moins performants que les adultes contrôles dans les tâches de lecture de mots, de compréhension écrite, de conscience phonologique et de lecture de pseudo-mots. Leurs scores de conscience phonologique et de lecture de pseudo-mots étaient également inférieurs à ceux des enfants de même niveau de lecture. Ces données confirment clairement que les difficultés de lecture des mauvais lecteurs sont d'origine phonologique. Toutefois, comme Share et al. (Share et al., 2002), les mauvais lecteurs n'étaient pas plus particulièrement pénalisés aux ISI courts demandant un traitement plus rapide qu'aux ISI longs (*Tableau 4*). L'absence d'interaction entre groupe et ISI infirme l'hypothèse auditive. Ce sont les mesures de vitesse de traitement telles que les temps de latence et la dénomination rapide qui étaient les plus corrélées à la lecture et à la conscience phonologique, alors que les scores de traitement temporel l'étaient faiblement. Si les mesures de traitement temporel étaient prédictives des compétences phonologiques, alors ces dernières auraient dû partager une grande part de leur variance avec les mesures de traitement temporel, mais ce n'était pas le cas. D'autre part, seul le RAN contribuait de manière significative à la lecture de mots, indépendamment de la conscience phonologique. Aucune autre mesure temporelle ne contribuait à la variance du RAN, ce qui montre que la vitesse de dénomination est indépendante du traitement temporel ou de la vitesse de traitement. Il est donc peu probable que les déficits de dénomination des mauvais lecteurs soient liés à des déficits de traitement temporel. En revanche, il semble que les déficits de dénomination rapide reflètent de manière fiable les déficits de traitement phonologique, puisque trois quarts de la variance en dénomination rapide expliquant les performances de lecture étaient liés à la segmentation phonémique. Donc, la dénomination et la conscience phonémique semblent agir indépendamment au sein des compétences de lecture. En effet, la conscience phonologique est la capacité à identifier et à manipuler des phonèmes, et reflète des compétences langagières réceptives. La dénomination rapide reflète des procédures d'accès au mot impliquant des capacités productives. Cette dernière explique une part supplémentaire de la variance en lecture expliquée par la conscience phonologique, parce qu'avant d'accéder au mot et le

produire, il est nécessaire de mobiliser sa représentation phonologique. Les sous-processus impliqués dans l'accès au lexique lors d'une tâche de dénomination sont aussi impliqués dans l'accès lexical au mot au cours de la lecture.

Tableau 4 : Résumé des résultats de Chiappe et al. (Chiappe et al., 2002)

EPREUVES	Mauvais lecteurs vs. Contrôles âge	Mauvais lecteurs vs. Contrôles lecture	Evaluation de l'hypothèse auditive
<b>Tests de conscience phonologique</b> suppression de syllabes et phonèmes	Mauvais lecteurs inférieurs aux contrôles	Mauvais lecteurs inférieurs aux contrôles	
<b>Tâche temporelle</b> : TOJ et discrimination de syllabes /ba/ et /da/ (ISI courts et longs entre 10 et 100 ms)	<b>Scores</b> : Les mauvais lecteurs ne diffèrent pas des contrôles pour les TOJ et la discrimination quel que soit l'ISI	<b>Scores</b> : Les mauvais lecteurs ne diffèrent pas des contrôles pour les TOJ et la discrimination quel que soit l'ISI	Hypothèse auditive infirmée : les mauvais lecteurs sont similaires aux contrôles aux ISI courts.
<b>Gap détection</b> : Visuelle à des ISI entre 0 et 180 ms et Auditive à des ISI entre 5 et 60 ms.			
<b>RAN continu</b> : dénomination la plus rapide possible de chiffres présentés en lignes.	Les contrôles dénomment les chiffres plus vite que les mauvais lecteurs	Les mauvais lecteurs dénomment les chiffres plus vite que les contrôles	Hypothèse auditive infirmée pour les erreurs et les temps de latence : les ISI courts n'ont pas plus affecté les mauvais lecteurs.
<b>RAN discret</b> : présentation de chiffre lentement (2 s entre chaque stimulus) puis rapidement (250 ms entre chaque présentation)	Les contrôles d'âge dénomment les chiffres plus vite que les mauvais lecteurs quelle que soit la vitesse de présentation.	Pas de différence entre les groupes	
<b>Répétition de syllabes</b> : répéter une série d'items de 2 à 3 syllabes au rythme illustré par un métronome, lentement puis rapidement	Les erreurs étaient similaires dans les 2 groupes, mais les contrôles sont plus rapides à vitesse lente et rapide.	Les deux groupes sont similaires	Hypothèse auditive infirmée : le déficit à vitesse rapide n'est pas observé.
<b>Tâche de taping</b> : répétition d'un patron temporel sur les touches de l'ordinateur lentement puis rapidement, sans feedback.	A vitesse rapide les deux groupes sont identiques. A vitesse lente : les mauvais lecteurs sont meilleurs que les contrôles.	Les deux groupes sont similaires.	Hypothèse auditive infirmée : l'interaction prédite n'est pas observée.

Les données de Ahissar et al. précédemment citées (Ahissar et al., 2000) ont été ré-analysées par Rosen (Rosen, 2003), dans une étude qui indique qu'une mesure du QI non verbal expliquait 45% de la variance en lecture de non-mots et 35% des performances de backward masking. Donc une fois que le QI non verbal était pris en compte, la tâche de backward masking n'expliquait que 6 % de la variance en lecture de manière non significative, contrairement aux 37% évoqués par Ahissar. De la même manière la ré-analyse des données de la simple tâche de discrimination de fréquence et d'identification de tons (responsable d'après Ahissar et al d'environ 40% de la variance en lecture dans chaque cas) révèle qu'après qu'on ait tenu compte de l'influence du QI non verbal, 25% de la variance de lecture de non-mot peut être expliquée par l'une ou l'autre des deux tâches. Il semble par conséquent essentiel de considérer la contribution des capacités cognitives dans les performances auditives. Rosen précise que si le déficit auditif était la cause essentielle la dyslexie, les performances auditives devraient être fortement corrélées aux compétences linguistiques non seulement au sein de la population dyslexique mais aussi quand des dyslexiques et des normo-lecteurs sont comparés. Mais comme le note Ahissar (Ahissar et al., 2000), ces relations sont bien plus robustes entre normo-lecteurs qu'entre dyslexiques.

Dans un article critique, Studdert-Kennedy et Mody [Studdert Kennedy, 1995 #223] ont étudié les arguments de la théorie auditive. Premièrement, les auteurs déplorent le fait qu'il n'ait jamais été démontré de manière convaincante que les déficits auditifs des dyslexiques dans le traitement de tons pouvaient affecter la perception de la parole. En effet, le même patron de résultats n'a jamais été montré avec des sons non linguistiques appariés acoustiquement à la fois aux syllabes /ba/-/da/ et aux tons employés dans les études confirmant la théorie auditive. D'autre part, il est difficile d'affirmer que des difficultés de discrimination de la parole pourraient être expliquées par des difficultés à discriminer des tons, puisque qu'aucune opposition dans la langue ne dépend de variations de fréquences fondamentales telles que celles distinguant les tons employés dans les études confirmant la théorie auditive. Il est donc difficile d'établir un lien entre perception de tons et de la parole, comme le fait la théorie auditive. Il faut également noter que dans le test de répétition, les ISI courts peuvent prendre des valeurs allant jusqu'à 305 ms, qui peut difficilement être considérée comme une durée courte. D'autre part, les tenants de la théorie auditive prennent pour synonyme perception ou traitement temporel (« temporal perception or processing ») et perception rapide (« rapid perception »). La perception temporelle désigne la perception des propriétés temporelles d'un événement tel que la durée, le rythme ... et elle n'est temporelle

que si les propriétés caractérisant l'événement perçu sont temporelles. En revanche, un processus de traitement réalisé rapidement ne rend pas l'événement temporel pour autant. Par conséquent, la perception de séquences de tons présentés rapidement, demandée par la tâche de TOJ, n'est en aucun cas une mesure de la vitesse de perception ou une mesure de la perception d'événements brefs tels que les transitions. Ce dernier présupposé est également critiqué par les auteurs : la théorie auditive considère que les transitions sont des événements temporels. La transition est la conséquence de la coarticulation qui reflète la simultanéité de l'articulation de deux ou plusieurs segments voisins. Dans une syllabe CVC, la voyelle peut subir une influence anticipatoire de l'articulation de la consonne suivante et être en même temps influencée par le lieu d'articulation de la consonne la précédant. En conséquence, chaque portion de la syllabe apportera simultanément des informations sur plusieurs segments à la fois. Le segment fournira en parallèle des informations acoustiques sur les segments successifs le composant. Les changements rapides de configuration du conduit vocal, notés par les transitions, fourniront des informations à la fois sur la consonne et sur la voyelle, et leur perception n'implique pas le traitement d'une simple succession d'informations acoustiques dans le temps. De plus, il est difficile de soutenir que des difficultés de traitement temporel affectent le traitement des syllabes [ba]-[da] employées par Tallal, alors que les propriétés des transitions synthétiques manipulées partagent les mêmes caractéristiques temporelles (durée, changement de fréquences). Elles ne diffèrent que par le locus et les trajectoires des fréquences des transitions. L'opposition est donc notée par des changements spectraux et non temporels, et c'est donc la sensibilité spectrale et non temporelle que la perception de l'opposition requiert. Les preuves provenant d'expériences de backward masking sont également remises en cause par Studdert-Kennedy et Mody : si une erreur dans le jugement de l'ordre temporel de la transition de syllabes comme [ba] [da] était possible, le percept résultant serait [ab] [ad] et impliquerait l'inversion de la consonne et de la voyelle. Ce patron d'inversion n'a jamais été reporté dans les études sur la dyslexie. Nous pouvons finalement constater que dans l'étude de 1980 (Tallal, 1980), le déficit de TOJ n'a été observé que chez 8 des 20 dyslexiques participant.

Un nombre conséquent de preuves expérimentales réfutant l'existence d'un déficit auditif général chez les dyslexiques proviennent des mauvaises performances de perception catégorielle observée chez les dyslexiques. Les travaux que nous allons exposer dans la section suivante réfutent les arguments de la théorie auditive, en montrant que les dyslexiques éprouvent un déficit de PC dont l'origine est spécifiquement linguistique.

### III.2.2. L'hypothèse phonologique : la dyslexie expliquée par un déficit spécifiquement linguistique.

#### III.2.2.a. Données supportant un déficit de PC chez les dyslexiques.

Mody, Studdert-Kennedy et Brady (Mody, Studdert-Kennedy, & Brady, 1997) ont fortement contribué à montrer que les difficultés des mauvais lecteurs proviendraient d'un déficit spécifique à la parole et non d'un déficit auditif général. Pour valider cette hypothèse, les auteurs ont recruté des mauvais lecteurs en 2<sup>ème</sup> année de primaire dont les scores de TOJ étaient inférieurs à ceux des normo-lecteurs de même âge. Les tâches étaient identiques à Tallal et al. (Tallal, 1980), mais la nature des stimuli changeait : les stimuli n'étaient pas des tons de F0 différente, mais des syllabes de continua [ba]-[da] se distinguant par leur lieu d'articulation [ba]-[sa] (ou [da]-[ʃa]). Les stimuli [ba]-[da], dont les phonèmes initiaux ne se distinguaient que par un seul trait phonémique (le lieu d'articulation), ont produit le même patron de résultats que les tons de Tallal et al. : plus les ISI étaient courts, plus les erreurs des mauvais lecteurs augmentaient, sans affecter les scores des bons lecteurs. En revanche, aucun des deux groupes n'était affecté par le raccourcissement des ISI quand les syllabes se distinguaient par trois traits phonémiques ([ba]-[sa] ou [da]-[ʃa]). De même, les performances n'étaient pas affectées par les ISI lorsque des analogues sinusoïdaux des syllabes [ba]-[da] ont été présentés. Ces résultats indiquent que les difficultés des mauvais lecteurs à juger l'ordre de présentation des syllabes [ba] et [da] ne reflète pas un problème général à traiter l'ordre temporel. L'origine de ces difficultés semble phonologique, puisque l'ordre temporel des stimuli était correctement reproduit si les phonèmes se distinguaient par plus d'un trait. De plus, les difficultés des mauvais lecteurs étaient spécifiques à la parole puisqu'elles ne se manifestaient pas lors de la perception des sinusoïdes : elles ne pouvaient donc pas être attribuées à un déficit auditif général pour percevoir des informations acoustiques changeant rapidement. L'hypothèse que ces difficultés sont spécifiques au traitement des transitions brèves a également été réfutée. Quand la fréquence de l'attaque de F1 d'un continuum [sei]-[stei] était modifiée alors que la durée du silence était fixe, les performances des deux groupes étaient identiques.

De plus, l'étude de Rosen et Manganari (Rosen & Manganari, 2001) n'a pas établi de lien entre perception de la parole et « backward masking ». Les auteurs ont répliqué les difficultés des dyslexiques à réaliser des tâches de « backward masking », tout en ayant des performances de « forward masking » préservées avec des tons. Les capacités de masquage

évaluées avec des stimuli de parole n'ont pas reproduit ces résultats. Les sujets devaient discriminer les syllabes [ba]-[da] où l'opposition à distinguer était en position initiale (forward masking) et des syllabes [ab]-[ad] où l'opposition à distinguer était en position finale (backward masking). Les syllabes étaient moins bien discriminées par les dyslexiques, quelles que soient leurs positions. L'asymétrie des performances de « backward » et « forward masking » ne se répercute donc pas sur la capacité à discriminer les transitions dans la parole. Ce résultat va à l'encontre de l'hypothèse d'une relation entre un déficit de perception des transitions et performances de masquage postulée par Tallal et collaborateurs. D'autre part, la même tâche employant des analogues sinusoïdaux aux syllabes [ba]-[da] et [ab]-[ad] a été mieux réussie que son équivalent en parole, ce qui met en doute l'existence d'un déficit général auditif dans la perception des changements spectraux rapides chez les dyslexiques.

#### 1- Performances de discrimination.

Le groupe de dyslexiques de l'étude de Godfrey, Syrdal-Lasky, Millay et Knox (Godfrey, Syrdal-Lasky, Millay, & Knox, 1981) était composé de deux sous-groupes de dyslexiques phonologiques (patron d'erreurs phonologiques) et de dyslexiques visuels (patrons d'erreurs visuelles), appariés à des contrôles d'âge chronologique. Il leur a été proposé deux continua. Le premier était un continuum [ba]-[da] obtenu en modifiant la fréquence initiale de F2 et F3 par pas réguliers. Le second était un continuum [da]-[ga] obtenu en modifiant la fréquence initiale de F3 seulement. Les données d'identification et de discrimination devaient permettre d'évaluer les performances de perception catégorielle des dyslexiques, et de comparer également les performances des deux sous-groupes de dyslexiques constitués sur des critères cliniques. L'identification des deux continua était moins cohérente chez les dyslexiques que chez les contrôles : la localisation de la frontière était identique pour les deux groupes, mais pour les deux sous-groupes de dyslexiques les extrêmes étaient moins bien identifiés et la pente d'identification était plus faible surtout pour [da]-[ga]. En discrimination, le pic de discrimination des dyslexiques était inférieur à celui des contrôles et pour le continuum [da]-[ga], leurs scores de discrimination à l'intérieur de la même catégorie étaient de surcroît supérieurs à ceux des contrôles. Les performances des deux sous-groupes de dyslexiques n'étaient pas significativement différentes. L'ensemble des dyslexiques a mieux réussi à identifier et à discriminer le continuum [ba]-[da] dans lequel l'opposition était indiquée par deux indices, ce qui le rendait plus naturel que le continuum [da]-[ga] distingué par un seul indice. Une épreuve d'écoute dichotique n'ayant montré aucune différence entre sujets

contrôles et dyslexiques, les auteurs en ont conclu que le déficit de PC observé chez les dyslexiques semblait phonologique plus qu'auditif.

Dans l'expérience de Mody et al. (Mody et al., 1997), les analogues sinusoïdaux n'étaient pas exactement identiques aux syllabes de référence. Ils étaient composés de deux sinusoïdes de même fréquence que le deuxième et troisième formant des syllabes [ba]-[da] employées dans l'expérience 1. Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Demonet (Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré, & Demonet, 2001) ont souhaité déterminer l'existence d'un déficit auditif et linguistique en étudiant les différences de perception catégorielle dans ces deux modalités en employant exactement les mêmes stimuli. Pour cela, ils ont proposé à des dyslexiques et des normo-lecteurs de 13 ans un continuum [ba]-[da] et un continuum d'analogues sinusoïdaux à ces syllabes dans lequel les trois premiers formants étaient remplacés par des sons sinusoïdaux de même fréquence. Ces analogues sinusoïdaux présentent l'intérêt d'être perçus comme des sifflements lorsque le sujet est naïf (mode "acoustique"), alors qu'il percevra [ba] ou [da] si on l'informe qu'il entend des syllabes (mode "parole"). Les auteurs ont observé deux stratégies différentes en mode acoustique et en mode parole. En mode acoustique, les deux groupes ne différaient pas. Pour les continua de parole - [ba]-[da] et analogues sinusoïdaux présentés en mode parole - le même pic de discrimination était observable à 1 pas aux stimuli S3-S4 chez les normo-lecteurs et les dyslexiques. Mais les dyslexiques discriminaient de surcroît des stimuli appartenant à la même catégorie phonémique (S1-S2, S2-S3, S4-S5, S5-S6) alors que les contrôles les jugeaient identiques. Contrairement aux attentes formulées par la théorie auditive, les dyslexiques ne différaient des contrôles que dans la condition parole. Les dyslexiques pouvaient donc mieux percevoir des différences intra-catégorielles et moins bien percevoir des différences inter-catégorielles que les contrôles : ils ne percevaient donc pas les continua de parole de manière catégorielle. Ces résultats suggèrent que les dyslexiques n'éprouvent aucune difficulté à extraire les informations auditives rapides transmises par les transitions des formants. En revanche, ils ne manipulent pas les indices acoustiques brefs ou non, aussi bien que les contrôles quand il s'agissait de percevoir les sons de la parole de manière catégorielle.

Les performances de discrimination donnent une mesure directe de la PC et ont permis d'observer un déficit de PC chez les dyslexiques (Serniclaes, Bogliotti, Messaoud-Galusi, & Sprenger-Charolles, 2004a). Les données d'identification permettent d'évaluer la consistance

des catégories phonémiques par la mesure de la pente de la fonction d'identification. Des données d'identification ont également été recueillies chez des dyslexiques et ont permis de constater que les catégories phonémiques sont moins bien définies que chez les sujets normo-lecteurs du même âge.

## 2- Performances d'identification.

Blomert et Mitterer (Blomert & Mitterer, 2004) ont abouti aux mêmes conclusions que Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) grâce à des données d'identification d'un continuum [ta]-[ka] naturel et [ba]-[da] synthétique. Un déficit de perception catégorielle a été observé chez des dyslexiques principalement aux extrêmes pour le continuum synthétique, alors qu'aucune différence avec des normo-lecteurs de même âge chronologique (9 ans) n'est observable pour les stimuli naturels. Dans l'ensemble, les groupes ne diffèrent pas pour le continuum naturel qui a été le plus difficile à percevoir sans doute à cause des informations résiduelles du [ta] d'origine sur les différents exemplaires du continuum. L'aspect peu naturel du continuum synthétique n'a pas empêché les contrôles de calquer les catégories phonologiques acquises avec de la parole naturelle, sur de nouveaux stimuli de synthèse. En revanche, ils ont éprouvé des difficultés à percevoir le continuum synthétique, aux extrêmes particulièrement. L'hypothèse d'un déficit auditif chez les dyslexiques est à nouveau réfutée par ces données puisque le continuum le plus difficile à percevoir (naturel) n'est pas celui qui a mené aux différences entre groupes. En revanche, les différences entre dyslexiques et contrôles pour le continuum synthétique contribuent à conforter l'existence d'un déficit affectant les représentations phonologiques chez les dyslexiques.

Manis, Mc Bride Chang, Seidenberg, Keating, Doi, Munson et Petersen (Manis et al., 1997) ont évalué les performances d'identification d'un continuum [baθ]-[paθ] chez des dyslexiques (13 ans), des bons lecteurs de même âge chronologique et des bons lecteurs (8,5 ans) de même niveau de lecture. La courbe d'identification des dyslexiques s'est avérée moins pentue que celle des contrôles d'âge chronologique, et les extrêmes du continuum moins bien identifiés. En revanche, les contrôles d'âge lecture avaient des performances identiques aux dyslexiques. Les scores de conscience phonologique ont établi des corrélations significatives avec les performances d'identification. Les données individuelles ont indiqué qu'en comparaison de l'étendue des déficits phonologiques observables dans la population dyslexique normale, les déficits phonologiques observés dans l'échantillon de l'étude étaient particulièrement sous-représentés. Une partie des dyslexiques dont les scores de conscience

phonémique étaient inférieurs à ceux des contrôles, étaient responsables des différences entre groupes. La faible demande cognitive imposée par la tâche d'identification et la sous-représentation des troubles phonologiques dans la population dyslexique recrutée pour l'étude, pourraient expliquer que le déficit de PC n'ait pas été observé chez tous les dyslexiques. Toutefois, cette étude contribue à montrer qu'un déficit de perception catégorielle semble entretenir un lien avec les déficits phonologiques et les faibles performances de lecture observés chez les dyslexiques.

Adlard et Hazan (Adlard & Hazan, 1998) ont évalué les performances de conscience phonémique, de lecture et de perception catégorielle chez des dyslexiques et deux groupes contrôles appariés en âge chronologique et en âge de lecture. Les performances aux tests de conscience phonémique étaient dans la norme pour les deux groupes contrôles et pour 70% des dyslexiques. Les 30% de dyslexiques dont les scores aux tests de conscience phonémique étaient faibles ont été constitués en sous-groupe. Ce sous-groupe a montré des difficultés à manipuler les oppositions ne se distinguant que par un trait phonologique noté par un indice acoustique peu saillant, plus particulièrement les oppositions de consonnes occlusives, fricatives et nasales. Les scores d'identification étaient également plus faibles dans ce sous-groupe.

Joanisse, Manis, Keating et Seidenberg (Joanisse, Manis, Keating, & Seidenberg, 2000) ont observé les mêmes résultats dans une population dyslexique ayant des déficits phonologiques associés à des difficultés langagières de type dysphasie. Les deux autres sous-groupes de dyslexiques de l'étude, l'un ayant des déficits phonologiques uniquement et l'autre ne montrant qu'un retard de lecture sans déficits langagiers associés, avaient des performances d'identification similaires aux contrôles d'âge chronologique et de lecture. Il est important de noter que contrairement aux études sur la perception de la parole chez l'enfant (Hazan & Barrett, 2000; Simon & Fourcin, 1978), ces deux études n'ont observé aucune différence significative de PC entre contrôles chronologiques et contrôles d'âge de lecture, pourtant plus jeune de 2 ans en moyenne.

Le déficit de PC des dyslexiques est une donnée fiable, pourvu qu'on se place dans des conditions expérimentales appropriées (Serniclaes, 2003; Serniclaes, Van Heghe et al., 2004). Pour cela, il est nécessaire que les performances de PC des contrôles ne soient ni optimales

(effets plafonds observés chez : Manis et al., 1997 ; Joanisse et al., 2000 ; Blomert & Mitterer, 2004) ni extrêmement faibles (effet plancher observé pour un continuum de parole sinusoïdale en mode de perception hors parole chez Serniclaes et al., 2001). Le déficit de PC était présent dans les études basées sur le score de discrimination (Mody et al., 1997 ; Serniclaes et al., 2001), mais pas toujours dans celles basées sur le score d'identification (Joanisse et al., 2000 ; Manis et al., 1997). Les expériences d'identification, tâche plus facile que la discrimination, n'ont parfois permis d'observer de déficit que pour les sous-groupes de dyslexiques les plus sévèrement atteints qui souffraient de déficits associés en langage oral (Joanisse et al., 2000 ; Manis et al., 1997). Les études ayant pris les précautions nécessaires pour exclure ces facteurs n'ont mis en évidence un déficit de PC que pour les comparaisons entre dyslexiques et contrôles de même âge chronologique. Les études visant à comparer les dyslexiques avec des enfants plus jeunes mais de même âge de lecture (Joanisse et al., 2000; Manis et al., 1997 ; Besnoit, 2002 ; Boissel-Dombreval & Bouteilly, 2003) ont toutes jusqu'à présent abouti à des résultats négatifs, même avec des données de discrimination qui donnent pourtant une mesure plus globale et donc plus robuste du degré de PC (Serniclaes, Bogliotti et al., 2004a).

### III.2.2.b. Pondération d'indices acoustiques et effets lexicaux chez les dyslexiques.

Nous avons vu que les erreurs de lecture des dyslexiques résultaient de déficit des procédures phonologiques de lecture, qu'ils compensent en s'appuyant parfois sur leurs connaissances lexicales. Les erreurs lexicales comme les paralexies en lecture de mots (lire un mot différent de celui écrit « femme » lu « ferme ») et les lexicalisations en lecture de pseudo-mots (lire un mot à la place d'un pseudo-mot), montrent que l'enfant s'appuie sur son lexique pour « deviner » le mot écrit, en s'appuyant le moins possible sur la voie phonologique, qui lui permettrait pourtant de lire sans erreur le mot écrit. Le peu d'informations phonologiques qu'ils peuvent décoder est alors employé par leur système lexical pour trouver ou plutôt deviner le mot écrit.

Chiappe, Chiappe et Siegel (Chiappe, Chiappe, & Siegel, 2001) ont fait le même constat en s'appuyant sur une tâche d'identification d'une opposition [b]-[p]. La frontière catégorielle du continuum [bis]-[pif] et du continuum [bif]-[pis], qui ont un vrai mot (« peace » et « beef ») à un extrême du continuum et un pseudo-mot ([bis] et [pif]) à l'autre extrême, n'ont pas la même frontière catégorielle. Ce phénomène démontre que dans la perception de la parole l'information lexicale peut permettre d'anticiper l'information phonétique : la durée de VOT

nécessaire à l'identification de « p » sera inférieure s'il est inséré dans un mot (« peace ») plutôt que dans un pseudo-mot ([pif]). L'effet de lexicalité a été observé en CP chez des enfants bons lecteurs et suspectés à risque de retard de lecture en maternelle. Comme les études présentées dans la section précédente (Adlard & Hazan, 1998 ; Manis & Morrison, 1985), les pentes des fonctions d'identification des mauvais lecteurs étaient moins raides que celles des bons lecteurs, indiquant que leur perception des continua [b]-[p] était moins catégorielle. De plus, leurs performances aux stimuli extrêmes étaient plus aléatoires. Leurs difficultés d'identification phonémique n'étaient donc pas restreintes à la frontière catégorielle, puisque l'identification d'exemplaires extrêmes du continuum, représentant clairement les catégories /b/ et /p/, était également inférieure chez les mauvais lecteurs. L'effet lexical s'est manifesté chez les deux groupes d'enfants. Il était restreint aux stimuli ambigus chez les bons lecteurs. L'effet lexical s'est manifesté à toutes les valeurs de VOT pour les mauvais lecteurs dont les fonctions d'identification étaient plus parallèles. Les mauvais lecteurs ont donc manifesté un effet lexical supérieur à celui des bons lecteurs, ce qui indiquerait qu'en perception comme en lecture, ils s'appuient sur des facteurs lexicaux pour compenser leurs déficits phonémiques.

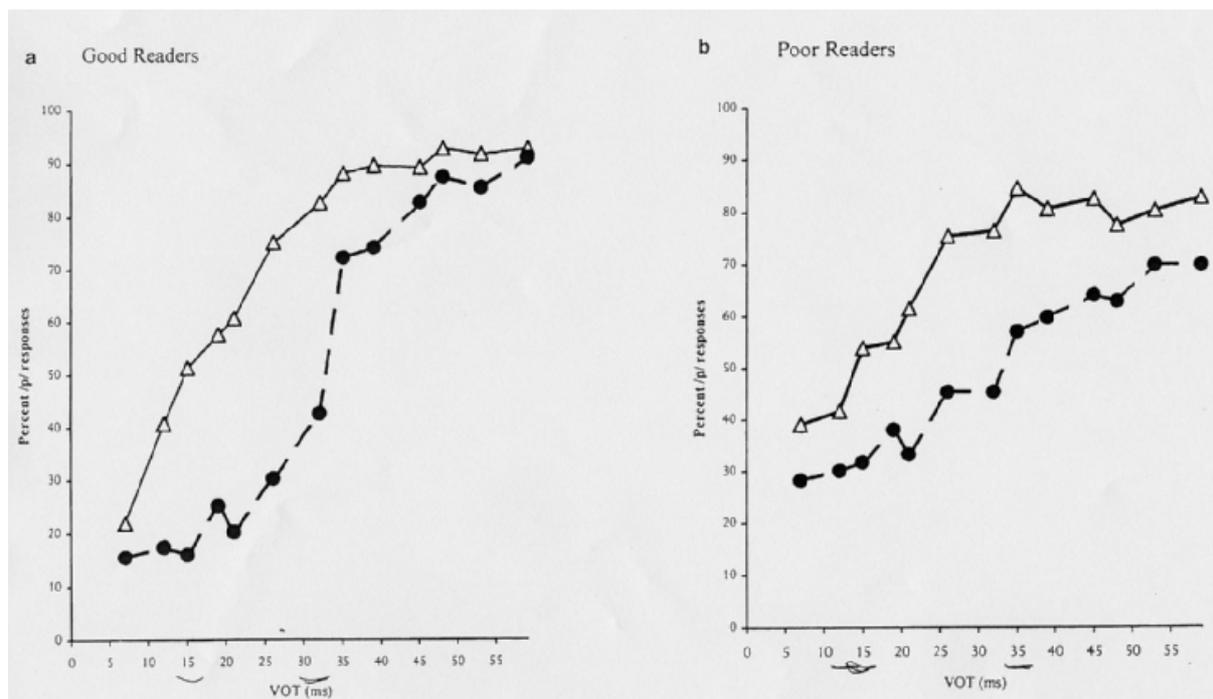


Figure 17 : Performances d'identification des bons lecteurs (à gauche) et des mauvais lecteurs (à droite) de l'étude de Chiappe et al. (Chiappe et al., 2001), pour les continua [bis]-[pis] (triangles) et [bif]-[pif] (ronds).

L'étude de Nittrouer (Nittrouer, 1999) avait pour but d'évaluer l'hypothèse de la théorie auditive selon laquelle un déficit de traitement temporel était à l'origine du déficit phonologique des dyslexiques. Les enfants de l'étude, âgés entre 8 et 12 ans, ont été répartis en deux groupes, bon et mauvais lecteurs en fonction de leur niveau de lecture. Les mauvais lecteurs se sont également avérés avoir de faibles scores de conscience phonologique. Les performances de traitement temporel ont également été évaluées pour les deux groupes. La première épreuve exigeait de reproduire des séquences de tons à des ISI décroissants, que les mauvais lecteurs n'ont pas eu plus de difficultés à réaliser que les contrôles. La seconde tâche était composée de différentes tâches d'identification d'oppositions indiquées par des changements de la fréquence des transitions, supposée être particulièrement critique chez les dyslexiques : un continuum [da]-[ta] dans lequel la fréquence des deuxième et troisième formants était manipulée, un continuum [sei]-[stei] dans lequel la durée du silence et la fréquence initiale de F1 étaient manipulées ainsi que deux continua [s-ʃ] en contexte [a] et [u] dont les transitions confortaient ou contredisaient l'identité de la fricative précédente (tâche de pondération d'indices). Pour le continuum [da]-[ta], les deux groupes ont employé les transitions de la même manière pour distinguer l'opposition de lieu d'articulation. Il en allait

de même, pour le continuum [sei]-[stei]. Ces résultats indiquent que les dyslexiques ont été capables d'employer la durée du silence et la transition aussi efficacement que les contrôles pour percevoir la consonne occlusive. En revanche, l'identification du lieu d'articulation de la fricative différait entre dyslexiques et contrôles : chez les dyslexiques, le poids attribué au bruit de friction était inférieur, et le poids accordé aux transitions était supérieur à celui des contrôles. D'après l'auteur, les courbes d'identification des dyslexiques sont semblables à celles de sujets plus jeunes recrutés dans d'autres études (Nittrouer, 1992 ; Nittrouer & Miller, 1997a ; Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987), montrant des stratégies perceptives immatures. Cette expérience montre non seulement que les dyslexiques ne semblent pas éprouver de difficultés de traitement temporel, mais également qu'ils n'ont pas de difficultés à percevoir la transition et à s'en servir pour percevoir les oppositions de la parole.

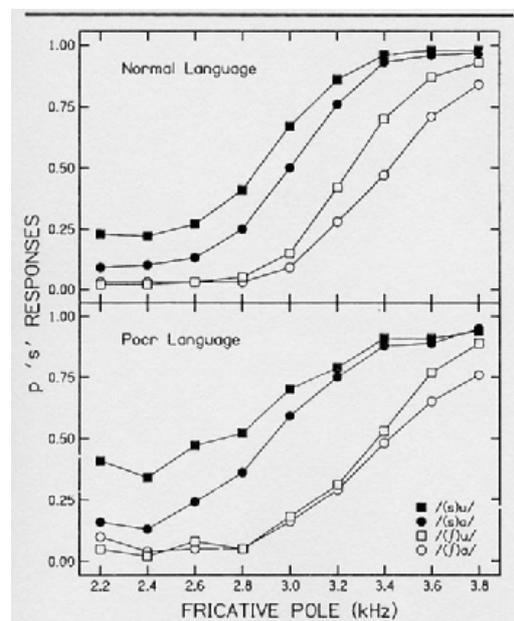


Figure 18 : Performances d'identification moyenne pour les continua [su]-[ʃu] et [sa]-[ʃa], chez les dyslexiques (en bas) et les contrôles d'âge chronologique (en haut) de l'expérience de Nittrouer (Nittrouer, 1999)

### III.2.3 Une explication unitaire de la dyslexie : la perception allophonique.

Dans les travaux que nous avons précédemment cités sur la PC chez les dyslexiques, il a été montré qu'ils se distinguaient des normo-lecteurs par de scores de discrimination à la frontière phonémique (Godfrey et al., 1981) et une pente d'identification plus faibles (Adlard & Hazan, 1998). Cela montre que la frontière est moins précise chez ces enfants, et donc que la perception des dyslexiques est moins catégorielle que celles des normo-lecteurs. Les résultats

de l'étude de Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) ont montré de surcroît que les performances intra-catégorielles des dyslexiques étaient supérieures à celles des contrôles. D'après Serniclaes (Serniclaes, 2003) un déficit dans le développement des catégories phonémiques engendrerait la persistance de plus de catégories que nécessaire pour percevoir les phonèmes. Dans ce cas, le système phonologique des dyslexiques se baserait sur des allophones plutôt que sur les phonèmes comme les contrôles. L'hypothèse développée par Serniclaes (Serniclaes, 2003), est que le déficit de perception catégorielle des dyslexiques trouve son origine dans l'absence de couplage phonologique ou du moins dans un degré de couplage plus faible que celui des normo-lecteurs. Le développement phonologique se limiterait chez ces enfants à sélectionner les prédispositions phonétiques pertinentes dans la langue maternelle sans pour autant procéder au couplage entre prédispositions en redondance allophonique dans la langue. 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 du sujet. Le déficit perceptif observé chez les dyslexiques semble correspondre à une étape du développement perceptif normal puisque le déficit de PC se retrouve également chez des enfants plus jeunes mais de même âge de lecture (Hazan & Barrett, 2000; Simon & Fourcin, 1978). Il s'agirait donc d'un retard plutôt que d'une déviance, qui tout en ayant des conséquences limitées sur le langage oral, aurait des répercussions importantes sur le langage écrit.

Pour tester cette hypothèse, Serniclaes et al. (Serniclaes, Van Heghe et al., 2004) ont testé la PC de francophones monolingues adultes, d'enfants de 9 ans dyslexiques et de contrôles appariés en âge chronologique. Deux continua [ga]-[ka] et [pa]-[ba] ont été synthétisés en analogues sinusoïdaux des sons du langage (les formants ont été remplacés par des tons purs). Un continuum synthétique [ba]-[pa] et un continuum [ga]-[ka] de parole naturelle ont également été proposés aux sujets. Puisqu'aucune différence statistique significative n'a été obtenue entre continua quel que soit le groupe (interaction continuum\*pair\*group non significative), les continua ont tous été analysés en même temps. Ces continua devaient permettre d'évaluer les scores de PC à la frontière phonémique pertinente en français (+ 10 ms de VOT) (Serniclaes, 1987) et à la frontière allophonique (- 30 ms de VOT) discriminée par les nourrissons avant 10 mois (Aslin, Pisoni, Hennessey and Perrey (Aslin, Pisoni, Hennessy, & Perrey, 1981) correspondant à une des deux frontières observées dans les langues à trois catégories de voisement (Abramson & Lisker, 1970). La perception était catégorielle chez les adultes et les normo-lecteurs, mais le pic de discrimination à la frontière phonémique des

premiers était supérieur à celui des seconds. Comme attendu, l'effet de la frontière phonémique était plus important chez les normo-lecteurs que chez les dyslexiques. Les adultes et les normo-lecteurs exhibaient également un pic secondaire (-30 ms), non significatif et inférieur à celui localisé à la frontière phonémique (+10 ms). En revanche, les deux pics étaient identiques et significatifs chez les dyslexiques. La sensibilité accrue des dyslexiques à la frontière -30 ms de VOT indique que leur profil de discrimination est plus proche de celui des nourrissons, parce qu'ils distinguent les 3 catégories. Les réponses des dyslexiques ont également été influencées par leur langue maternelle, puisque le second pic de discrimination à +10 ms de VOT, coïncide avec la frontière de voisement des adultes.

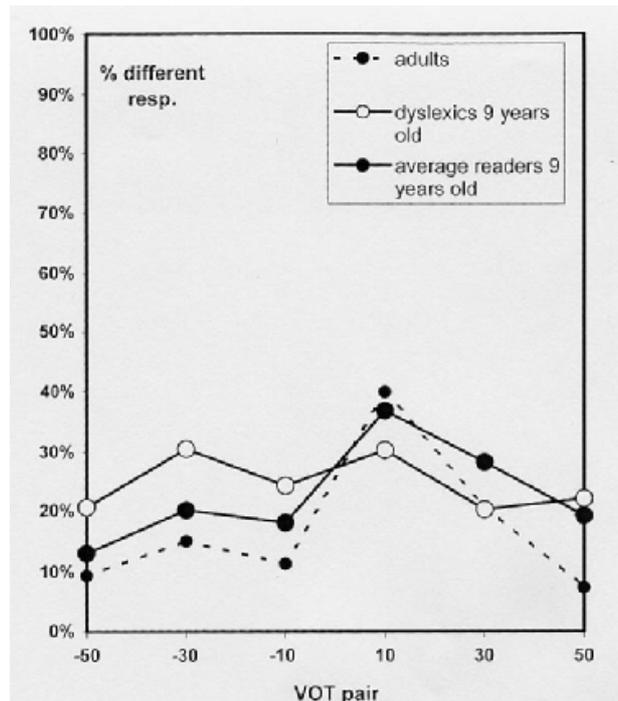


Figure 19 : Extrait de Serniclaes et al. (Serniclaes, Van Heghe et al., 2004). Réponses de discrimination des enfants dyslexiques (ronds blancs trait plein), des contrôles d'âge chronologique (ronds noirs traits pleins) et des adultes (ronds noirs pointillés). On observe deux pics de discrimination égaux chez les dyslexiques. Les adultes et les contrôles n'en exhibent qu'un, qui correspond à la frontière de voisement en français. Le pic additionnel des dyslexiques correspond à une frontière supplémentaire dans les langues à trois catégories de voisement.

Cette étude confirme la présence d'un déficit de perception catégorielle chez les enfants dyslexiques provenant d'une meilleure discrimination des différences allophoniques. De plus, des résultats similaires ont été obtenus par une autre étude (Bogliotti, 2003), montrant que des enfants francophones de 10 ans présentant des retards de lecture ont été plus sensibles que des contrôles de même âge à une frontière phonétique différente de la frontière phonémique du français. Les mauvais lecteurs présentaient un pic de discrimination d'un continuum [do]-[to] au voisinage de 0 à +20 ms de VOT, à la frontière de voisement pour les occlusives en français (Serniclaes, 1987) et un autre entre -30 à -10 ms de VOT, correspondant à une des deux frontières phonétiques universelles et à une frontière phonémique en Thaï (Lisker & Abramson, 1970). Les bons lecteurs ne présentaient qu'un seul pic localisé entre +0 et +20 ms de VOT, correspondant à la frontière de voisement pour les occlusives en français (Serniclaes, 1987).

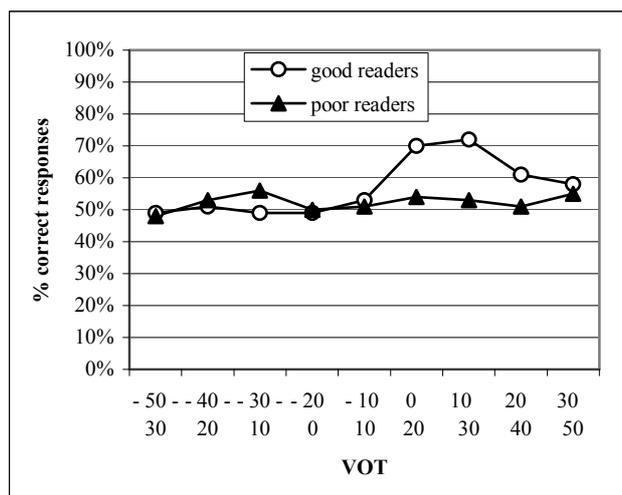


Figure 20 : Performances de discrimination des bons lecteurs (ronds vides) et des mauvais lecteurs (triangles pleins) de l'étude de Bogliotti (Bogliotti, 2003). On observe deux pics de discrimination chez les mauvais lecteurs, l'un entre 0 et +20 ms, frontière résultant du couplage entre prédispositions et pertinente en français (Serniclaes, 1987) et l'autre entre -30 et -10 ms de VOT, frontière universelle et pertinente en Thaï (Lisker & Abramson, 1970). Les bons lecteurs n'exhibent qu'un seul pic localisé entre 0 et +20 ms correspondant la frontière pertinente en français.

Comprendre la parole avec des catégories allophoniques plutôt que phonologiques ne devrait pas poser de problème majeur. La perception resterait catégorielle mais se baserait sur des allophones au lieu des phonèmes. La perception allophonique implique toutefois qu'un montant d'information supérieur doit être traité pour accéder au lexique. L'accès au lexique mental est envisageable avec des représentations allophoniques, mais il devient alors plus lourd en terme de traitement de l'information. La situation est très différente pour le langage écrit, qui requiert des catégories phonémiques bien définies. Le manque d'invariance des représentations phonémiques constitue un obstacle considérable pour l'établissement des correspondances graphème-phonème. Pour être capable d'associer correctement les graphèmes aux phonèmes, il faut pouvoir s'appuyer sur des représentations phonologiques bien spécifiées. Si les représentations phonologiques ne sont pas bien spécifiées, les connections entre graphèmes et phonèmes seront difficiles à établir. De plus, nous savons que le niveau de consistance grapho-phonologique est un facteur majeur affectant l'apprentissage de la lecture : plus le système d'écriture est transparent, plus vite et mieux les enfants apprennent à lire. L'absence de couplage entre prédispositions phonétiques constituerait donc un facteur de complexité considérable car elle hypothèque la formation des relations grapho-

phonologiques, même dans un système alphabétique complètement transparent<sup>54</sup>, puisque chaque graphème devra être associé à plusieurs unités différentes, de nature allophonique. Un enfant qui perçoit des allophones au lieu des phonèmes, par exemple /b/, /p/ et /ph/ au lieu de /b/ et /ph/, aura des difficultés à attribuer le même symbole graphique "p" aux phonèmes /p/ et /ph/ appartenant à des catégories phonémiques distinctes dans son répertoire. De plus, l'hypothèse de la perception allophonique se concilie parfaitement avec les autres déficits observés chez les dyslexiques, en particulier les déficits de conscience phonologique et de mémoire phonologique à court terme. Ce type de déficits pourrait également contribuer également au déficit en mémoire phonologique à court terme observé chez les dyslexiques. En effet le nombre d'unités de décodage est beaucoup plus élevé avec un système perceptif qui se fonde sur les allophones au lieu des phonèmes, et la charge en mémoire à court terme phonologique serait donc plus lourde. De même la perception allophonique peut entraver les opérations de manipulation explicite des phonèmes et offre une explication unitaire à différents types de déficits phonologiques : elle pourrait donc en constituer l'origine commune.

---

54 S'il n'y a pas de système d'écriture totalement transparent, certains le sont plus que d'autres : l'espagnol, l'italien, l'allemand et même le français, par rapport à l'anglais. Voir section II.2.3. Incidence de la consistance des correspondances graphème-phonème.

## IV. CONCLUSION ET PRESENTATION DES OBJECTIFS DU TRAVAIL DE RECHERCHE

Les travaux présentés dans la revue de littérature suggèrent que le mécanisme de la lecture dans les écritures alphabétiques se base sur le principe de la mise en correspondance des graphèmes et des phonèmes, ce qui confère au phonème un statut privilégié dans la lecture et son acquisition. Les études portant sur les relations entre conscience phonologique et lecture ont établi qu'il existe des relations entre la capacité à manipuler les phonèmes et le niveau de lecture la même année et les années suivantes. D'autres études signalent que les mauvais lecteurs et les dyslexiques ont des performances de perception catégorielle inférieures à celles de contrôles d'âge chronologique, mais similaires à celles de contrôles plus jeunes de même niveau de lecture. Ce résultat peut permettre de comprendre les difficultés qu'ils rencontrent en lecture quand ils doivent associer les graphèmes aux phonèmes correspondants.

Dans l'étude 1, nous évaluerons deux aspects de la perception des sons de la parole. D'une part, nous avons repris le protocole expérimental développé par Serniclaes et al. 2001) : les analogues sinusoïdaux d'un continuum [ba-da] ont été présentés dans deux conditions (non parole et parole), ainsi qu'un continuum [ba-da] plus proche de la parole naturelle. D'autre part, nous avons présenté un continuum [ai-aei] dont la durée des transitions intervocaliques variait (Carré et al., 2001). Les objectifs de cette étude sont d'évaluer :

- 1) l'effet de l'âge et de l'apprentissage de la lecture sur la perception des sons de la parole à l'aide de données longitudinales recueillies avant et après l'apprentissage de la lecture (GSM-CE1) ;
- 2) l'effet du niveau de lecture sur la perception des sons de la parole. Nous avons comparé un groupe de bons et de mauvais lecteurs de CM1 ;
- 3) si les résultats observés en 1) et 2) sont ou non spécifiques au traitement de la parole, en comparant les résultats obtenus en condition parole et non parole pour les mêmes signaux ;

- 4) si le traitement de la parole est relié à des traitements phonologiques plus explicites tels que ceux mis en relief dans les épreuves de conscience phonologique (analyse de corrélations).

L'objectif de notre seconde étude est d'évaluer plus précisément les changements de consistance des catégories phonémiques en mesurant les stratégies de pondération de la friction, de la transition et de la voyelle de l'opposition [s-ʃ] en fonction de l'âge et du niveau de lecture. D'après le modèle Developmental Weighting Shift, l'effet de l'âge et de l'expérience linguistique modifierait les stratégies de pondération relative, et les enfants attribueraient un poids plus important aux indices dynamiques alors que les adultes pondèreraient plus fortement les indices statiques. Dans notre étude, nous avons comparé des enfants de différentes tranches d'âge et des adultes, ainsi que des dyslexiques appariés à deux groupes de normo-lecteurs en fonction, d'une part, de l'âge chronologique et, d'autre part, du niveau de lecture. Nos hypothèses sont que les stratégies de pondération devraient être conformes aux hypothèses du DWS

- 1) les enfants devraient pondérer plus fortement la transition ;
- 2) les adultes devraient attribuer un poids perceptif plus important à la friction et à la voyelle ;
- 3) les stratégies de pondération des indices acoustiques d'un groupe de dyslexiques devraient différer de celles des contrôles d'âge chronologique ;
- 4) en revanche, elles devraient être similaires à celles des contrôles d'âge de lecture.

## ETUDES EXPERIMENTALES

ETUDE 1 : PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE,  
CAPACITES METAPHONOLOGIQUES ET LECTURE.

Pour apprendre à lire, l'enfant doit découvrir le principe alphabétique qui se base sur la correspondance entre l'unité minimale de la langue écrite, le graphème, et l'unité minimale de la langue orale, le phonème. Ce principe appelé « codage phonologique » inscrit le phonème au centre de l'apprentissage et du développement de la lecture (Ehri & Wilce, 1983); (Byrne et al., 1992);(Stuart & Coltheart, 1988). Les travaux sur la conscience phonologique ont contribué à démontrer le rôle primordial des traitements phonologiques dans la lecture (Hatcher et al., 1994); (Tunmer & Lally, 1986)). Elle est définie comme la capacité à manipuler consciemment les segments constituant le signal de parole (Treiman, 1989). Elle reflète la capacité à réaliser des opérations mentales sur des unités, telles que le phonème, dont on sait qu'elles sont au centre du principe de codage phonologique (Ziegler & Goswami, in press). Tunmer et Nesdale (Tunmer & Nesdale, 1985) ont établi des liens entre conscience phonologique et lecture et ont également montré que la conscience phonologique avant l'apprentissage de la lecture est un indicateur fiable du futur niveau de lecture.

L'étude de sujets dyslexiques a également contribué à mieux connaître les relations qu'entretiennent traitements des informations phonologiques et lecture. La dyslexie développementale se caractérise par des difficultés de lecture chez des enfants et des adultes qui possèdent l'intelligence, la motivation et la scolarisation adéquate pour apprendre à lire (Shaywitz, 1998). Le déficit de lecture des dyslexiques concerne plus spécifiquement la mise en œuvre du décodage phonologique comme l'illustrent leurs difficultés spécifiques en lecture de pseudo-mots, qui s'accompagnent de difficultés à réaliser les tâches de conscience phonologique (Sprenger-Charolles et al., 2000). De plus, des études sur la perception de la parole ont constaté que les performances de perception catégorielle des dyslexiques étaient significativement détériorées, (Studdert-Kennedy & Mody, 1995). La perception catégorielle est définie comme le phénomène par lequel les différences acoustiques entre les sons de la parole ne sont pas perceptibles, sauf s'ils appartiennent à des catégories phonétiques différentes (Liberman et al., 1967). Parmi ces études, Serniclaes, Sprenger-Charolles, Carré et Demonet (Serniclaes et al., 2001) ont constaté que les performances de discrimination d'un continuum [ba-da] par des dyslexiques de 13 ans étaient moins catégorielles que celles des contrôles appariés en âge chronologique : ils discriminaient moins les différences inter-catégorielles, et discriminaient mieux les différences intra-catégorielles. Cette étude a également contribué à montrer la spécificité linguistique de ce déficit. Des sinusoides

analogues aux syllabes [ba-da], perçues une première fois comme des bruits et une seconde comme des syllabes [ba-da], ont permis d'observer des différences entre dyslexiques et contrôles dans la condition linguistique et non dans la condition auditive. Le déficit de perception catégorielle des dyslexiques a également été observé par des études ayant recueilli des données d'identification dont les pentes des fonctions étaient inférieures à celles des contrôles de même âge (Adlard & Hazan, 1998). D'après les auteurs, les difficultés d'identification et de discrimination de continua phonémiques chez les dyslexiques sont la preuve que leurs catégories phonémiques seraient moins robustes et moins bien définies que celles des normo-lecteurs. Le manque de consistance des catégories phonémiques est considéré comme une explication possible du retard de lecture des dyslexiques et de leurs difficultés spécifiques de traitement phonologique. En effet, l'élaboration du codage phonologique chez l'apprenti lecteur nécessite d'apprendre à isoler les segments de parole que sont les phonèmes. Mais des catégories phonémiques mal définies pourraient dégrader la représentation du phonème auquel le dyslexique accède durant la mise en correspondance graphème-phonème, expliquant ainsi les difficultés de traitement phonologique et de lecture des dyslexiques.

L'étude du développement linguistique chez l'enfant a montré que la consistance des catégories phonémiques s'améliore au cours de l'acquisition du langage. Plusieurs études ont indiqué que les pentes d'identification d'oppositions phonémiques augmentaient parallèlement à l'âge du sujet (Simon & Fourcin, 1978), (Hazan & Barrett, 2000). Carré et al. (Carré, Sprenger-Charolles, Messaoud-Galusi, & Serniclaes, 2000) ont observé un effet de l'âge sur l'identification d'un continuum de transition vocalique. Dans cette étude, l'indice utilisé pour générer le continuum était la durée de la transition intervocalique d'une syllabe [ai], comprise entre 50 et 300 ms, et la tâche consistait à identifier le stimulus comme étant /ai/ ou /aei/. A 13 ans, les performances étaient comparables à celles mises en évidence dans une expérience antérieure sur des adultes (Carré, Ainsworth, Jospa, Maeda, & Padeloup, 2001) dont le seuil de perception entre /ai/ et /aei/ était de 200 ms. En revanche, les auditeurs de 6 ans ont répondu [ai] quelle que soit la durée de la transition vocalique. D'après les auteurs, l'émergence d'une voyelle supplémentaire s'explique par la prise en compte du paramètre syllabique par le système perceptif, qui ne détecterait la voyelle /e/ qu'à la condition que la durée approximative d'une syllabe soit dépassée. Les propriétés moins

analytiques de la mémoire à court terme chez les plus jeunes ne leur auraient pas permis de tenir compte du paramètre syllabique.

Le premier objectif de l'étude présentée ici est d'évaluer l'effet de l'âge sur la perception des catégories phonémiques durant l'acquisition du langage et son interaction avec l'acquisition de la lecture. Nous avons reproduit les protocoles expérimentaux de Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) et de Carré et al. (Carré et al., 2000), auprès d'enfants suivis longitudinalement de l'année de maternelle précédant l'apprentissage de la lecture (GSM), à la deuxième année d'enseignement de la lecture en primaire (CE1). Nous nous attendons à ce que les performances de discrimination et les pentes d'identification des continua phonémiques présentés s'améliorent au cours du développement.

Notre second objectif est d'évaluer la consistance des catégories phonémiques chez des enfants ayant des retards de lecture. Les protocoles expérimentaux de Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) et de Carré et al. (Carré et al., 2000) ont été proposés à de bons et de mauvais lecteurs de 10 ans scolarisés en quatrième année de primaire (CM1). Nous nous attendons à ce que les pentes d'identification des mauvais lecteurs soient inférieures à celles des bons lecteurs et que leurs scores de discrimination soient moins catégoriels que ceux des bons lecteurs lors du traitement de stimuli linguistiques uniquement.

Le troisième objectif de cette étude est de mesurer la relation qu'entretiennent la conscience phonologique, la consistance des catégories phonémiques et la lecture. Nous avons évalué le niveau de conscience phonologique, la mémoire phonologique à court terme, le niveau de lecture et le QI des enfants suivis longitudinalement de la GSM au CE1, et des CM1. Nous nous attendons à ce que la conscience phonologique prédise de manière fiable le niveau ultérieur de lecture. A partir des résultats des tâches perceptives, des mesures de catégorialité ont été calculées afin d'étudier la relation entre catégories phonémiques et lecture. Si le manque de robustesse des catégories phonémiques est à l'origine du retard de lecture des mauvais lecteurs, alors l'âge de lecture devrait être prédictible à partir des scores de catégorialité.

# I. METHODOLOGIE.

## I.1. Populations

### I.1.1. Etude longitudinale GSM, CP, CE1

Une étude longitudinale consiste à collecter des données pour un même groupe d'individus à des moments différents de leur développement. A l'inverse, les études transversales étudient des données collectées chez des individus différents à différents stades de développement. L'intérêt de l'étude longitudinale réside dans le fait que les individus étudiés sont les mêmes à chaque stade du développement, ce qui permet d'éviter l'introduction de biais par l'absence de différences individuelles parfois difficiles à contrôler. Les différences observées entre sessions d'une étude longitudinale peuvent être imputées au développement, plus certainement que dans le cadre d'une étude transversale. De plus, dans les études longitudinales, les flux de population sont mieux contrôlés puisque les redoublants sont repérés tandis que, dans les études transversales, un biais en faveur des classes supérieures peut intervenir (Sprenger-Charolles & Colé, 2003a).

Nous avons suivis 33 enfants longitudinalement de la grande section de maternelle (GSM) à la deuxième année de primaire (CE1), en trois sessions. La première session a eu lieu en fin de GSM, la seconde en fin de CP et la troisième en fin de CE1. Les résultats de 33 enfants ont pu être récoltés.

### I.1.2. Bons et mauvais lecteurs de CM1.

De plus, 26 enfants scolarisés en quatrième année de primaire (CM1) ont été examinés. Ils ont été répartis selon leurs niveaux de lecture en deux groupes : le premier était composé de 8 bons et le second de 18 mauvais lecteurs. Le niveau de lecture des bons lecteurs était supérieur ou égal à celui attendu à la date de passation de l'épreuve (mai de CM1), et les mauvais lecteurs avaient au moins 8 mois de retard en lecture.

Les passations se sont déroulées dans les écoles du XX<sup>ème</sup> arrondissement de Paris, dans lesquelles les sujets ont été recrutés. Les critères d'inclusion dans les cohortes exigeaient un QI verbal et non verbal dans la norme. Les enfants redoublants ou en avance ont été exclus.

## I.2. Les épreuves.

### I.2.1. La lecture.

BAT-ELEM (Savigny, 1974) : Les hypothèses exigeaient de sélectionner des enfants non lecteurs à la première session de l'étude longitudinale. En GSM, le test de lecture devait donc permettre de déceler les enfants lecteurs, afin de les exclure de la cohorte. Pour cela, le test du BATELEM leur a été proposé. Ils devaient lire une planche sur laquelle étaient inscrites les lettres "i", "o", "u" et "é" suivies d'une série de digraphes "bi", "ra", "né", "ou", "oi". Les enfants considérés comme lecteurs étaient capables de lire au moins un des digraphes et étaient par conséquent exclus de l'étude.

Alouette (Lefavrais, 1965) : Aux sessions 2 et 3 de l'étude longitudinale et en CM1, nous souhaitons obtenir une évaluation plus fine des performances de lecture. Pour cela, l'Alouette s'est montrée une épreuve fiable<sup>55</sup>. Ce test se compose d'un texte de 265 mots que le sujet doit lire aussi vite et aussi correctement que possible. Ce texte comprend des mots rares comme « arrimé », des mots dont la prononciation est proche, « Annie-amie », ainsi que des mots dont la prononciation des phonèmes varie en fonction du contexte orthographique, « gai-gai ». Il contient également des phrases et des mots leurres : « au clair de lune » au lieu de « au clair de la lune », ou « cordeau » après « moineau » alors que le lecteur s'attend à « corbeau ». Les erreurs et le temps de lecture sont relevés pendant la lecture. Le nombre d'erreurs commises, variable d'un lecteur à un autre, est fonction de l'écart qui sépare cette vitesse de lecture factice, apparente, et la vraie vitesse qui permettrait une lecture correcte. La vitesse de lecture pondérée par les fautes permet d'obtenir la vitesse normale, évaluée en âge de lecture.

---

<sup>55</sup> Ce test s'est montré particulièrement fiable dans l'étude de Sprenger-Charolles et al. (Sprenger Charolles, Colé, Béchenec, & Kipffer-Piquard, in press) dont le but était d'examiner un outil d'évaluation de l'efficacité des procédures de lecture (EVALEC) chez une centaine d'enfants de quatre niveaux scolaires (de la 1<sup>ère</sup> à la 4<sup>ème</sup> année de primaire). L'Alouette s'est montrée corrélée aux tests de lecture d'EVALEC (lecture de mots réguliers et irréguliers et pseudo-mots courts et longs) pour la précision de la réponse, et pour le temps de latence quand la précision n'était pas significative.

### I.2.2. QI verbal et non verbal.

Le QI verbal a été évalué grâce au TVAP (Deltour & Hupkens, 1980) pour la population suivie longitudinalement. Dans ce test 30, planches de 6 images (plus 1 planche d'essai) étaient présentées une à une. A chaque planche, l'enfant devait désigner l'image correspondant au mot énoncé par l'expérimentateur. Une bonne réponse augmentait le score de 2 points. Il n'augmentait que d'1 point si l'image désignée représentait un mot sémantiquement proche. Aucun point n'était accordé aux réponses incorrectes. Pour être inclus dans la population de l'étude, la norme du test requérait un score minimum de 30 en GSM, de 36 en CP et de 42 en CE1. Trois scores n'ont pu être recueillis à la session 3 (N = 30). Le TVAP n'étant plus valide après 9 ans, le QI verbal des CM1 a été évalué par l'EVIP (Dunn, Thériault-Whalen, & Dunn, 1993). L'enfant devait désigner l'image correspondant au mot énoncé par l'expérimentateur, parmi 4 images proposées. Le test s'interrompt quand l'enfant réalise six erreurs dans une série de 8 réponses consécutives. Un score n'a pu être obtenu (N=25), mais les participants répondaient tous aux normes du test.

Le QI non verbal a été évalué grâce aux Matrices de Raven (Raven, Court, & Raven, 1986). Dans ce test, 36 planches composées d'un motif (ou une série de motifs) étaient représentées, dont une partie manquait. L'enfant devait désigner la solution permettant de compléter la partie manquante parmi les 6 solutions proposées en bas de la planche. A chaque réponse correcte, 1 point était accordé à l'enfant, qui devait obtenir un score minimum de 12 en GSM, de 13 en CP et en CE1, et de 23 en CM1, pour être inclus dans l'étude selon la norme fixée par le test.

### I.2.3. Conscience phonémique et mémoire phonologique à court terme.

Pour les tâches de conscience phonologique et de mémoire phonologique à court terme, les sujets devaient manipuler des pseudo-mots présentés oralement. Si ces items avaient été prononcés par chaque expérimentateur, des biais auraient pu être introduits entre les sessions par des différences entre expérimentateurs (prononciation, accent ...). Pour neutraliser ces biais, les pseudo-mots ont été préalablement enregistrés afin que les items des tests soient exactement les mêmes pour tous les participants et les sessions.

Dans la tâche de segmentation, l'enfant devait "manger le début du mot" présenté par l'ordinateur. Un exemple était donné à l'enfant, ensuite un essai était réalisé avec lui en lui donnant un feed back, puis le test commençait. L'épreuve était composée de 3 sous-tests, et les mots étaient en fait des pseudo-mots. Dans le premier sous-test, l'enfant devait supprimer la syllabe initiale de 10 pseudo-mots trisyllabiques. Dans le second, l'enfant devait supprimer la consonne initiale de 12 pseudo-mots monosyllabiques consonne-voyelle-consonne, (CVC) et dans le troisième il devait supprimer la consonne initiale de 12 pseudo-mots monosyllabiques consonne-consonne-voyelle (CCV). Le score était établi en attribuant un point par réponse correcte.

Dans la tâche de mémoire phonologique à court terme, l'enfant devait répéter des pseudo-mots de 3, 4, 5 et 6 syllabes. Les 3 premiers items constituaient l'essai, puis les items suivants contenaient un nombre croissant de syllabes, présentées par bloc de 6. Pour atteindre le critère de réussite de chaque bloc (3, 4, 5 et 6 syllabes), l'enfant devait répéter correctement au moins 4 des 6 items. Le score était établi en fonction du bloc de syllabes le plus long (3, 4, 5 ou 6) pour lequel l'enfant avait atteint le critère. Les enfants ayant échoué dès la série de 3 syllabes, obtenaient un score par défaut de 2.

## I.2.4. Discrimination de continua [ba-da].

### I.2.4.a. Matériel.

Remez et Rubin (Remez & Rubin, 1981) ont reproduit une phrase naturelle d'un locuteur anglais, grâce à trois sons sinusoïdaux. La fréquence de ces derniers était identique à celle des trois premiers formants du signal naturel : « Where were you a year ago ? ». Le signal artificiel obtenu ne contenait aucune énergie à l'exception des fréquences de chacune des trois sinusoïdes, qui correspondaient aux fréquences centrales des formants de la phrase naturelle. Il était donc sensiblement différent du signal naturel de départ : il ne contenait ni formants, ni variation de fréquence fondamentale. Leur but était d'établir que l'absence d'indices acoustiques classiques rend les sinusoïdes perceptibles à la fois comme une succession de tons et comme une phrase intelligible. Les sujets devaient identifier les sons sinusoïdaux en choisissant parmi des réponses correspondant à des bruits et à la phrase naturelle originale. La majorité des auditeurs de l'étude ont perçu les sinusoïdes comme des bruits. La même tâche a été répétée, en informant les sujets qu'ils entendraient de la parole. Dans cette condition, la phrase d'origine répliquée par des sinusoïdes a été perçue (where were you a year ago). Les sujets ont jugé que la qualité de la voix était artificielle, mais très intelligible. Le continuum [ba]-[da] créé par Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001), que nous employons dans l'expérience 1, est basé sur le même principe.

Deux versions du continuum [ba]-[da] ont été construites et se distinguaient par la méthode de synthèse. Les paramètres que nous allons décrire ont été appliqués à des sons sinusoïdaux purs et à des sons sinusoïdaux auxquels des modulations de basse fréquence (100 Hz) ont été ajoutées et qui ont eu pour effet de donner aux sons l'équivalent d'un pitch en parole naturelle.

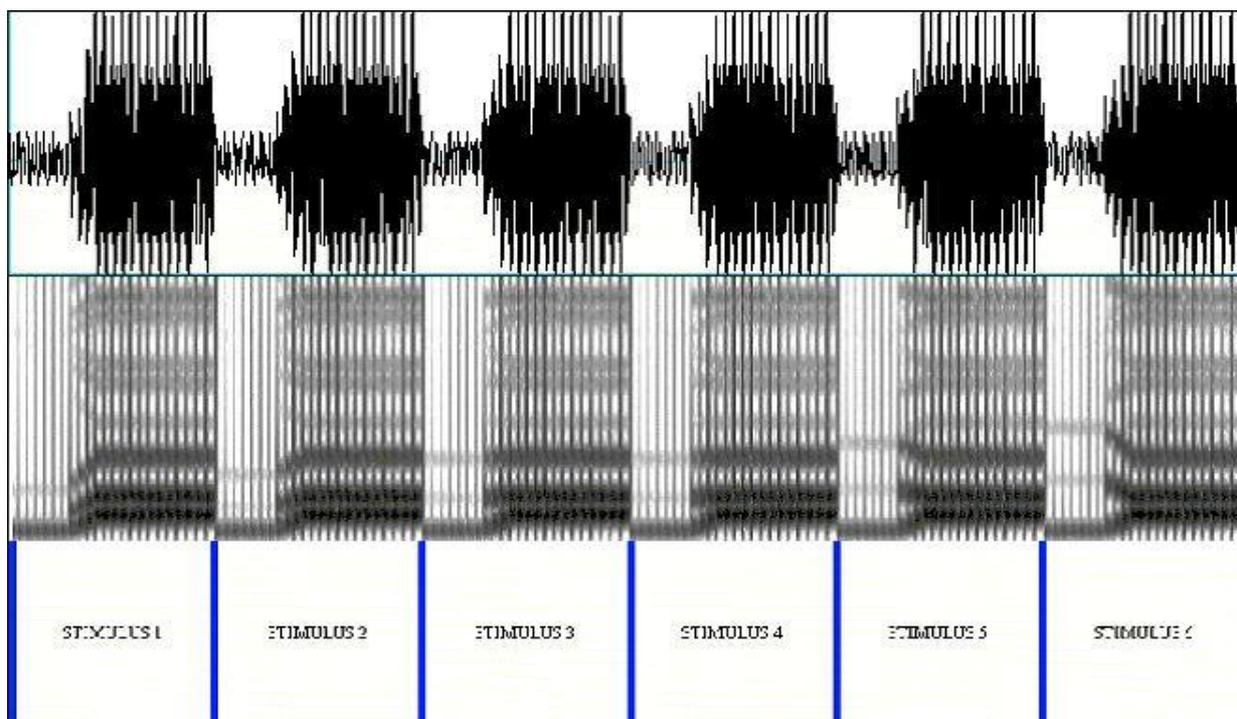


Figure 21 : Spectrogramme des 6 signaux du continuum de sinusôides allant de [ba] (stimulus 1) à [da] (stimulus 6) et comportant des modulations de basses fréquences.

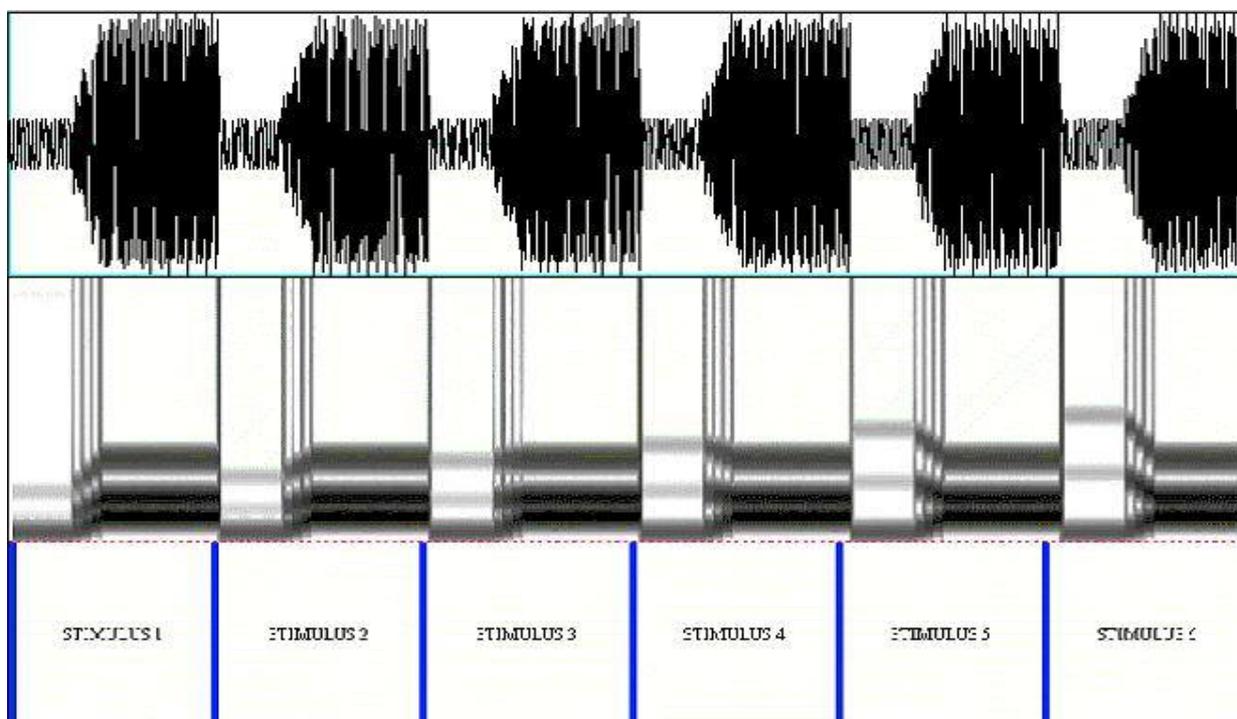


Figure 22 : Spectrogramme des 6 signaux du continuum de sinusôides pures allant de [ba] (stimulus 1) à [da] (stimulus 6).

Les stimuli extrêmes ont été obtenus en attribuant aux sons sinusoïdaux synthétisés des fréquences appropriées pour la perception de syllabes [ba] et [da]. La fréquence initiale de la sinusoïde répliquant la transition de F2 pour les stimuli extrêmes commençait à 700 Hz pour [ba] et à 2075 Hz pour [da]. La fréquence initiale de la sinusoïde répliquant la transition du troisième formant commençait à 1550 Hz pour [ba] et à 3875 Hz pour [da]. La portion stable des sinusoïdes répliquant F2 et F3 était fixée à 1300 Hz et 2500 Hz respectivement. Les stimuli intermédiaires du continuum ont été obtenus en modifiant la fréquence initiale de la deuxième sinusoïde par pas de 275 Hz et celle de la troisième sinusoïde par pas de 475 Hz. La transition de la première sinusoïde était fixée à 200 Hz et sa portion stable à 750 Hz pour les six signaux synthétiques. Les transitions des sinusoïdes duraient 40 millisecondes et la portion stable 170 ms.

*Tableau 5: Fréquences des trois sinusoïdes présentes dans les continua [ba]-[da] employés étude 2.*

		Sinusoïde 1	Sinusoïde 2	Sinusoïde 3
Stimulus 1	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	700 hz	1550 hz
	Fréquence de la portion stable (170 ms)	750 hz	1300 hz	2500 hz
Stimulus 2	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	975 hz	1975 hz
Stimulus 3	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	1250 hz	2450 hz
Stimulus 4	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	1525 hz	2925 hz
Stimulus 5	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	1800 hz	3400 hz
Stimulus 6	Fréquence initiale de la transition (40 ms)	200 hz	2075 hz	3875 hz

#### I.2.4.b. Procédure.

La procédure est identique à celle employée par Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) et se compose de deux continua présentés dans trois conditions expérimentales. Les sinusoïdes pures ont la particularité d'être perçues en général comme des bruits la première fois alors qu'elles sont perçues comme de la parole si l'auditeur en est informé (Remez & Rubin, 1981).

Le continuum de sinusoïdes modulées paraissait plus semblable aux syllabes [ba]-[da] naturelles.

La première condition expérimentale présentait le continuum de sinusoïdes pures comme des bruits que les auditeurs devaient discriminer. Puis le continuum de sinusoïdes pures était à nouveau présenté et les auditeurs étaient informés que les bruits précédemment perçus étaient en fait des syllabes [ba] et [da] qu'ils devaient de nouveau discriminer. Finalement, le continuum de sinusoïdes modulées était proposé aux auditeurs qui avaient pour instruction de discriminer les syllabes [ba]-[da] présentées. Nous désignerons respectivement ces trois sous-tests par la condition sinusoïde-sinusoïde (SS), condition sinusoïde-parole (SP) et condition parole-parole (PP). Aux sessions 2 (CP) et 3 (CE1) de l'étude longitudinale, les enfants n'ont pas passé la condition SS, puisqu'ils n'étaient plus naïfs.

Les 6 stimuli composant les continua ont été présentés sous forme d'une tâche de discrimination AX : l'auditeur devait indiquer si le premier stimulus de la paire (A) était identique ou différent du second (X). Les stimuli composant les paires différaient d'un pas le long du continuum : les paires possibles se composaient de chaque stimulus présenté avec son voisin immédiat (stimulus 1 – stimulus 2 ou stimulus 2 – stimulus 1) ou du même stimulus présenté deux fois (stimulus 1 – stimulus 1). Chaque paire a été présentée 4 fois.

Les scores de discrimination ont été calculés à partir des réponses aux paires "même" et "différent". Pour chaque paire de stimuli (p.ex. S1 et S2), les réponses "même" aux paires constituées du même stimulus ( S1-S1 + S2-S2) ont été ajoutées aux réponses "différents" pour les paires dont les stimuli étaient différents (S1-S2+ S2-S1). Cette somme était divisée par le nombre total de présentation de chaque stimulus de la paire (4 combinaisons \* 4 présentations = 16).

$$\frac{(S1-S1)+(S2-S2)+(4 - S1-S2)+(4 - S2-S1)}{16}$$

16

Les résultats d'auditeurs adultes normo-lecteurs ont indiqué que la frontière phonémique des continua de parole est localisée à la paire S3-S4 (Leloup, 2001).

Le score retenu pour réaliser les corrélations et régressions entre variables était l'effet de frontière phonémique (PBE) en condition parole-parole. Il s'obtient en soustrayant la moyenne des scores de discrimination aux paires intra-phonémiques du score de discrimination de la paire inter-phonémique. Il permet de rendre compte de la catégorialité des capacités de discrimination, en fournissant une mesure conjointe de la perception catégorielle et de la précision de la frontière catégorielle (Serniclaes, 2004).

$$(S3-S4) - (\text{moyenne } (S1-S2, S2-S3, S4-S5, S5-S6))$$

### I.2.5. Identification d'un continuum [ai-aei].

#### I.2.5.a. Matériel.

Ces signaux étaient composés de la voyelle synthétique initiale [a] et de la voyelle synthétique finale [i]. La voyelle [a] durait 100 ms, F1 était fixé à 200 Hz et F2 à 1200 Hz. La voyelle [i] durait 150 ms, F1 était fixé à 200 Hz et F2 à 2500 Hz. Le continuum portait sur la transition intervocalique, dont la durée comprise entre 50 ms et 300 ms était modifiée par pas de 50 ms. Un spectrogramme des signaux est présenté *Figure 1*.

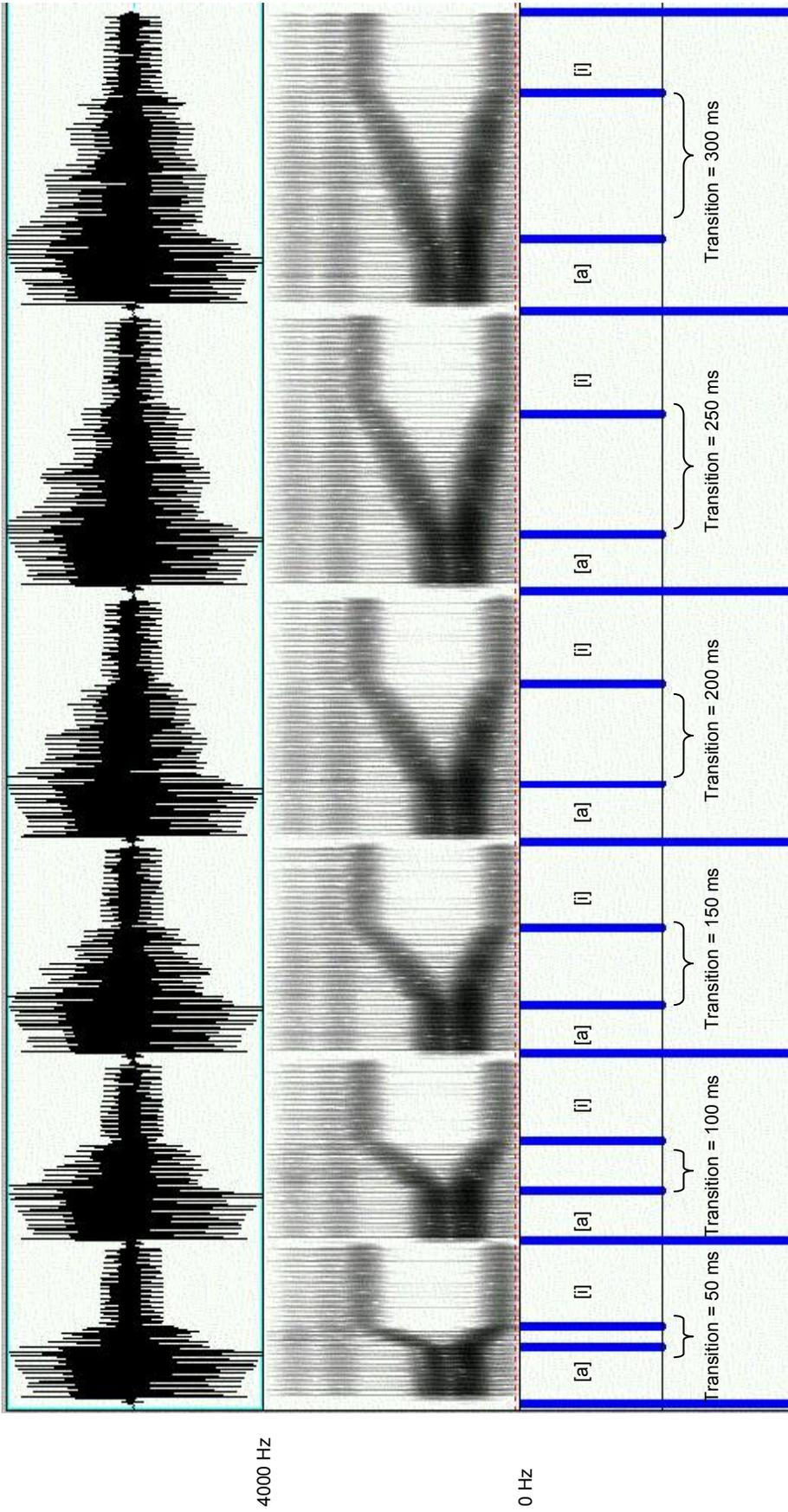


Figure 23: Spectrogramme des 6 stimuli [ai] de l'expérience 2 dont la durée de la transition a été modifiée (50 à 300 ms)

#### I.2.5.b. Procédure.

Les auditeurs devaient identifier les stimuli et indiquer s'ils entendaient « 2 sons » ou « plus de 2 sons ». L'étude de groupe et les corrélations avec les autres variables ont été calculées à partir des pentes des fonctions d'identification ajustées à chaque individu par régression logistique. La pente de la fonction d'identification constitue un indicateur de la précision des catégories phonémiques (Serniclaes, 2004).

## II. PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE : INCIDENCE DE L'AGE ET DU NIVEAU DE LECTURE

### II.1. Résultats de la tâche de discrimination [ba-da].

#### II.1.1. Etude longitudinale GSM, CP, CE1.

La *Figure 24* présente les performances de discrimination pour les trois conditions expérimentales en grande section de maternelle (GSM) et pour les deux conditions « parole » uniquement en première (CP) et en seconde (CE1) année de primaire des 33 enfants suivis longitudinalement. Les moyennes et écarts-types des scores de discrimination pour chaque paire, condition et session, sont présentés *Tableau 6*. Les paires de stimuli significativement discriminées dans chaque condition expérimentale et chaque session de l'étude longitudinale, sont présentées *Tableau 7*.

Les données des conditions sinusoïde-parole et sinusoïde-sinusoïde recueillies en GSM ont été analysées par une ANOVA à mesures répétées avec la condition (SS ou SP) et les paires (5 paires) comme facteurs intra-sujet. Les facteurs condition et paire n'étaient pas significatifs ( $F(1, 32) = 1,39$   $p=0,24$ ,  $F(4, 128) = 1,47$   $p=0,21$ , respectivement), et l'interaction condition\*paire non plus ( $F(4, 128) = 2,24$   $p=0,07$ ). Les tests-t pour échantillon unique réalisés pour chaque paire (valeur du test = 50%, score du hasard) indiquent que la paire S3-S4, chevauchant la frontière phonémique, n'est pas discriminée au-delà du score du hasard.

Les données des conditions sinusoïde-parole et parole-parole des 3 sessions de l'étude longitudinale ont été analysées par une ANOVA à mesures répétées avec la session (GSM CP CE1), la condition (SP, PP) et les paires (5 paires) comme facteur intra-sujet. Les effets généraux de la session, de la condition et des paires étaient significatifs ( $F(2, 64) = 6,38$   $p<0,01$ ,  $F(1, 32) = 13,61$   $p<0,01$ ,  $F(4, 128) = 23,96$   $p<0,01$ , respectivement). Les interactions session\*paire et condition\*paire étaient significatives ( $F(8, 258) = 3,43$   $p<0,01$ ,  $F(4, 128) = 3,20$   $p<0,05$ , respectivement), mais pas les interactions session\*condition et session\*condition\*paire ( $F<1$ ). L'étude des contrastes a indiqué que l'effet de la session était

significatif pour les comparaisons entre GSM et CP ( $F(1 ;32)=6,37$   $p<0,05$ ) mais pas entre CP et CE1 ( $F(1 ;32)=1,23$   $p>0,10$ ). Le contraste entre la paire S3-S4 et la moyenne des 4 autres paires (S1-S2, S2-S3, S4-S5 et S5-S6), ou « effet de frontière phonémique », était significatif ( $F(1 ;32)=42$   $p<0,001$ ). L'effet de frontière phonémique augmentait (juste) significativement entre CP et GSM (contraste d'interaction session\*paire :  $F(1 ;32)=4,03$   $p=0,053$ ) mais non entre CE1 et CP ( $F(1 ;32)=2,86$   $p=0,10$ ). Enfin, l'effet de frontière phonémique était significativement plus élevé en condition PP par rapport à SP (contraste d'interaction condition\*paire :  $F(1 ;32)=8,54$   $p<0,01$ ).

La méthode de synthèse distinguant la condition SP et PP leur donnant un aspect plus ou moins proche de la parole naturelle a donc particulièrement influencé la discrimination de la paire S3-S4. L'effet de la session était principalement du à des différences entre GSM et CP, dont les scores de discrimination diffèrent pour les paires S1-S2 et S3-S4. Les tests-t de l'hypothèse de discrimination au hasard (50%) confirment que les paires discriminées au-delà du score du hasard dépendent de la condition et de la session (*Tableau 7*). Pour les trois sessions et les deux conditions (SP, PP) les tests-t nous indiquent que seules certaines paires étaient significativement discriminées au-delà du score du hasard. En condition SP, aucune paire n'était discriminée au-dessus du hasard par les GSM et les CP discriminaient les paires S2-S3, qu'ils ne discriminaient plus en condition PP. En condition PP, cette paire était discriminée au-dessus du hasard à chacune des trois sessions mais les CE1 discriminaient en outre la paire intra-catégorielle S4-S5 au-delà du score du hasard dans cette condition. Enfin, notons qu'en condition SS (groupe GSM), la paire S4-S5 était discriminée au-dessus du hasard.

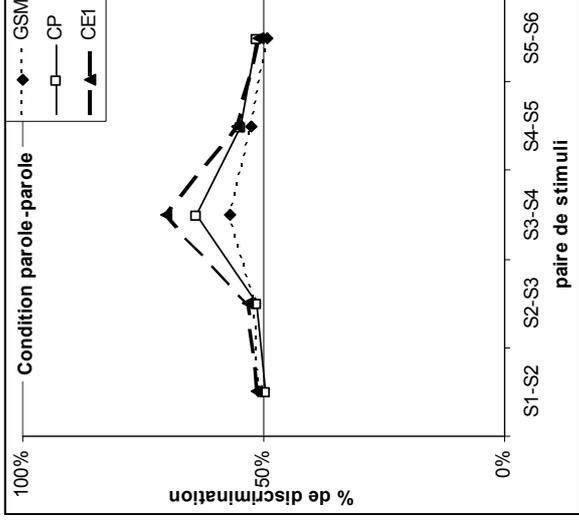
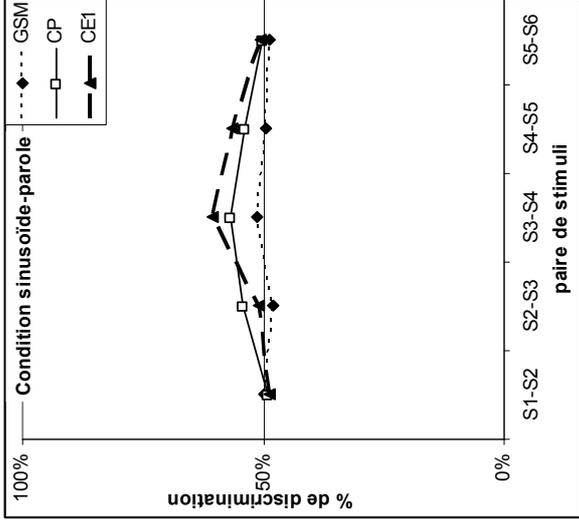
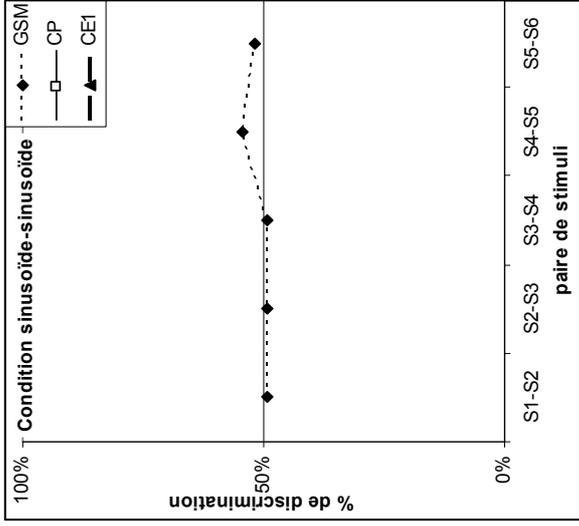


Figure 24 : Scores de discrimination pour les trois conditions sinusoïde-sinusoïde (à gauche) ; sinusoïde-parole (au centre) et parole-parole (à droite), pour chaque session GSM (losanges pleins), CP (carrés vides) et CE1 (triangles pleins).

	Condition sinusoïde-sinusoïde						Condition sinusoïde-parole						Condition parole-parole					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)		M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	S5-S6 (ET)		M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	
GSM	49% (5%)	49% (8%)	49% (8%)	55% (6%)	52% (8%)		50% (7%)	48% (7%)	51% (11%)	50% (11%)	49% (10%)		51% (6%)	52% (8%)	57% (13%)	53% (9%)	49% (11%)	
CP							49% (8%)	54% (10%)	57% (14%)	54% (12%)	50% (9%)		50% (5%)	52% (7%)	64% (16%)	55% (15%)	51% (11%)	
CE1							49% (8%)	51% (10%)	60% (17%)	56% (11%)	50% (10%)		52% (8%)	53% (10%)	70% (19%)	55% (13%)	51% (11%)	

Tableau 6 : Scores de discrimination moyens (et écart-types) pour les 3 conditions expérimentales et les 3 sessions de l'étude longitudinale.

	Condition sinusoïde-sinusoïde						Condition sinusoïde-parole						Condition parole-parole					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
	t(32)	t(32)	t(32)	t(32)	t(32)		t(32)	t(32)	t(32)	t(32)	t(32)		t(32)	t(32)	t(32)	t(32)	t(32)	
GSM	-0,81 NS	-0,55 NS	-0,57 NS	<b>4,28</b> <b>p&lt;0,01</b>	1,30 NS		-0,16 NS	-1,47 NS	0,69 NS	-0,19 NS	-0,79 NS		0,87 NS	1,25 NS	<b>2,91</b> <b>p&lt;0,01</b>	1,75 NS	-0,41 NS	
CP							t(32) = -0,53 NS	t(32) = <b>2,46</b> <b>p&lt;0,05</b>	t(32) = <b>2,87</b> <b>p&lt;0,01</b>	t(32) = 1,76 NS	t(32) = 0,13 NS		t(32) = -0,24 NS	t(32) = 1,31 NS	t(32) = <b>5,13</b> <b>p&lt;0,01</b>	t(32) = 1,88 NS	t(32) = 0,71 NS	
CE1							t(32) = -0,84 NS	t(32) = 0,42 NS	t(32) = <b>3,50</b> <b>p&lt;0,01</b>	t(32) = 0,22 NS	t(32) = 1,09 NS		t(32) = 1,82 NS	t(32) = t(32) =	t(32) = <b>5,98</b> <b>p&lt;0,01</b>	t(32) = <b>2,47</b> <b>p&lt;0,05</b>	t(32) = 0,48 NS	

Tableau 7 : Test-t pour échantillon indépendant, valeur de test 50%, pour chaque paire, condition et session. Quand le test est significatif, le score de discrimination est significativement différent du score du hasard (50%).

## II.1.2. Etude comparative (bons et mauvais lecteurs de CM1).

L'ensemble des scores de discrimination des 26 enfants de quatrième année de primaire (CM1) et les performances des deux groupes de niveau de lecture sont présentés *Figure 25*, dans les trois conditions expérimentales. Le *Tableau 8* présente les moyennes et écarts-types des scores de discrimination de l'ensemble des CM1 pour chaque condition, et pour les deux groupes de niveau de lecture. Les paires de stimuli significativement discriminées en CM1 sont présentées *Tableau 9*.

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur les données récoltées en CM1, avec la condition (SS SP et PP) et les paires comme facteur intra-sujet et le groupe de lecture comme facteur inter-sujet. L'effet de la condition était proche de la significativité ( $F(2, 48) = 3,03$   $p < 0,06$ ), celui de la paire était significatif ( $F(4, 96) = 14,14$   $p < 0,01$ ), mais pas celui du groupe ( $F(1, 24) = 1,28$   $p > 0,10$ ). L'interaction condition\*paire était significative ( $F(8, 192) = 6,33$   $p < 0,01$ ), mais aucune interaction impliquant le groupe ne s'est avérée significative (condition\*groupe  $F(2, 48) = 1,08$ ,  $p > 0,10$ , paire\*groupe  $F < 1$ , condition\*paire\*groupe  $F < 1$ ).

La condition d'écoute, en mode parole ou non, a donc modifié la discrimination des paires chez les bons et les mauvais lecteurs sans distinction. Les tests-t de l'hypothèse de discrimination au hasard (50%) indiquent qu'en condition SS, la paire S3-S4 chevauchant la frontière phonémique n'a pas été discriminée, contrairement aux conditions SP et PP. Toutefois, les paires intra-catégorielles S4-S5 et S5-S6 étaient également discriminées au-delà du score du hasard dans les conditions SP et PP respectivement. Enfin, la paire S4-S5 est également discriminée au-delà du hasard en condition SS.

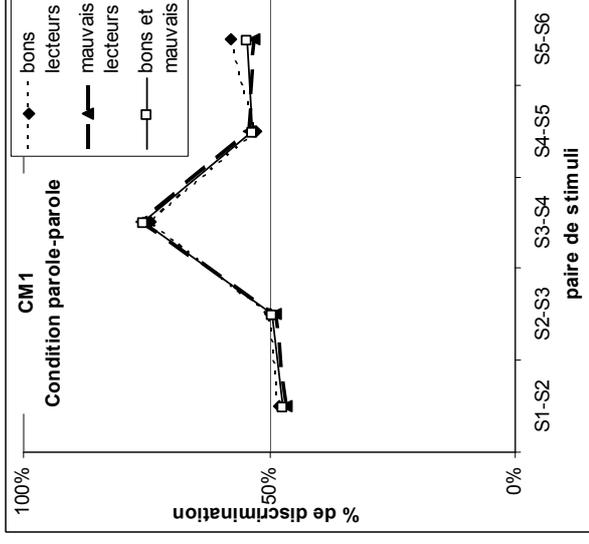
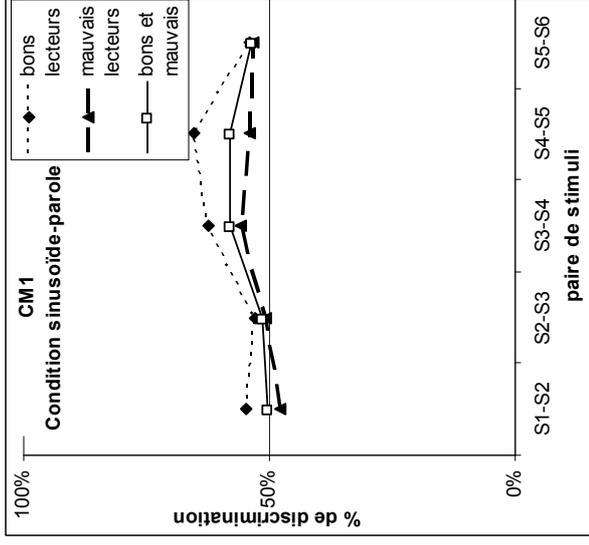
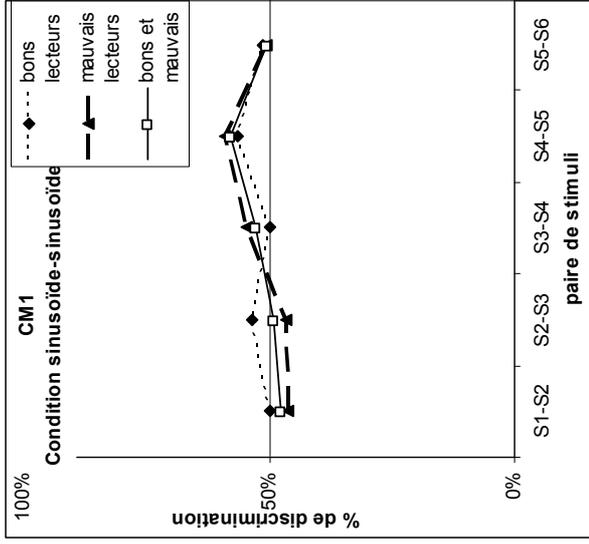


Figure 25 : Scores de discrimination pour les trois conditions sinusoidé-sinusoidé (à gauche) ; sinusoidé-parole (au centre) et parole-parole (à droite), pour les bons (losanges et ligne pointillée) et les mauvais lecteurs (triangle et ligne pleine) de CM1.

	Condition sinusoïde-sinusoïde						Condition sinusoïde-parole						Condition parole-parole					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)		M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	S5-S6 (13%)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	M (ET)	
Bons et Mauvais lecteurs	48% (11%)	49% (11%)	53% (13%)	58% (12%)	51% (11%)	54%	50% (11%)	51% (12%)	58% (14%)	58% (13%)	54% (13%)	47% (9%)	49% (8%)	75% (25%)	54% (10%)	55% (9%)		
Bons lecteurs	50% (9%)	53% (8%)	50% (12%)	56% (13%)	51% (12%)	54%	55% (13%)	53% (14%)	63% (16%)	65% (16%)	54% (16%)	48% (7%)	50% (3%)	74% (14%)	53% (13%)	58% (10%)		
Mauvais lecteurs	46% (12%)	47% (11%)	54% (13%)	59% (12%)	50% (10%)	53%	48% (9%)	51% (11%)	56% (12%)	54% (9%)	53% (11%)	47% (10%)	49% (10%)	76% (29%)	54% (8%)	53% (8%)		

Tableau 8 : Scores de discrimination moyens (et écart-types) pour les bons et mauvais lecteurs dans les 3 conditions expérimentales.

CM1	Condition sinusoïde-sinusoïde						Condition sinusoïde-parole						Condition parole-parole					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
Bons et mauvais lecteurs	t(25) = -1,08 NS	t(25) = -0,47 NS	t(25) = 1,17 NS	t(25) = 3,35 p<0,01	t(25) = 0,34 NS	t(25) = 0,11 NS	t(25) = 0,11 NS	t(25) = 0,62 NS	t(25) = 3,05 p<0,01	t(25) = 3,19 p<0,01	t(25) = 1,45 NS	t(25) = -1,66 NS	t(25) = -0,45 NS	t(25) = 5,25 p<0,01	t(25) = 1,89 NS	t(25) = 2,56 p<0,05		

Tableau 9 : Test-t pour échantillon indépendant, valeur de test 50%, pour chaque paire, condition. Quand le test est significatif, le score de discrimination est significativement différent du score du hasard (50%).

## II.2. Résultats de la tâche d'identification [ai]

### II.2.1. Etude longitudinale GSM, CP, CE1

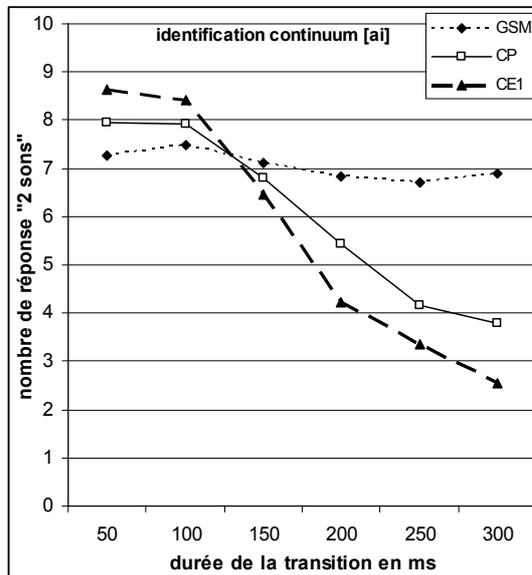


Figure 26: scores d'identification (réponses « 2 sons ») en fonction de la durée de la transition du continuum [ai], aux 3 sessions de l'étude longitudinale : GSM (losanges pleins), CP (carrés vides) et CE1 (triangles pleins).

Tableau 10: Moyenne des réponses « 2 sons » (et écart-type) pour chaque durée de transition du continuum [ai] à chaque session.

	50	100	150	200	250	300
GSM	7 (3)	7 (3)	7 (3)	7 (3)	7 (4)	7 (3)
CP	8 (2)	8 (2)	7 (2)	5 (3)	4 (3)	4 (3)
CE1	9 (2)	8 (1)	6 (2)	4 (2)	3 (3)	3 (2)

Tableau 11 : Pentas de la fonction d'identification de chaque session, ajustées sur le groupe (à gauche) et ajustées sur les individus (à droite) obtenues par Régression Logistique

	Pentes moyennes	
	Ajustées par groupe	Ajustées par individu
GSM	-0,0012	-0,0010
CP	-0,0086	-0,0126
CE1	-0,0130	-0,0201

Les scores moyens d'identification du continuum de transition [ai], ont été analysés par Régression Logistique et testés par  $\chi^2$  de Wald. Les scores des trois sessions de l'étude longitudinale différaient suivant la durée de la transition et la session ( $\chi^2(1) = 452,33$   $p < 0,01$ ,  $\chi^2(2) = 73,94$   $p < 0,01$ , respectivement). L'interaction significative session\*durée ( $\chi^2(2) = 185,1$   $p < 0,01$ ) a été contrôlée en réalisant une ANOVA à mesures répétées à partir des pentes ajustées par individu, avec la session comme facteur intra-sujet. L'ANOVA a confirmé les résultats de la régression logistique en indiquant que les moyennes des pentes individuelles des fonctions d'identification étaient significativement différentes suivant la session ( $F(2, 64) = 28,48$   $p < 0,01$ ). Les contrastes indiquent que les GSM et CP différaient

significativement ( $F(1, 32) = 21,49$   $p < 0,01$ ) ainsi que les CP et CE1 ( $F(1, 32) = 16,34$   $p < 0,01$ ). Les auditeurs de GSM perçoivent majoritairement « 2 sons » quelle que soit la durée de la transition (voir *Figure 26*) et la pente d'identification augmente progressivement jusqu'en CE1 (*Tableau 11*).

## II.2.2. Etude comparative (bons et mauvais lecteurs de CM1)

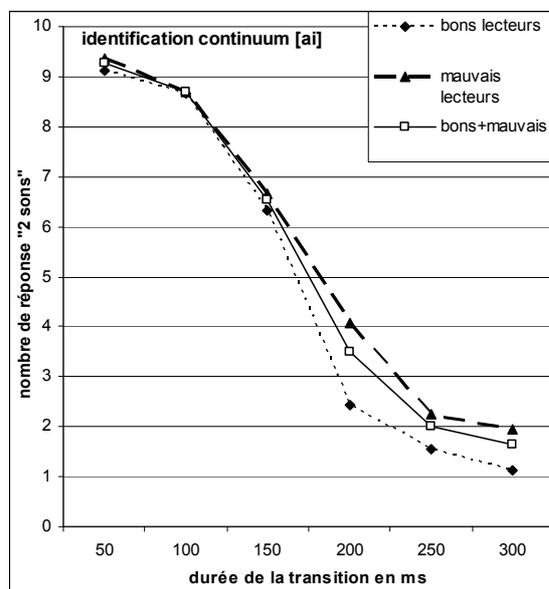


Figure 27 : scores d'identification (réponses « 2 sons ») en fonction de la durée de la transition du continuum [ai] chez les bons (losanges et ligne pointillée) et les mauvais lecteurs (triangle et ligne pleine) de CM1.

Tableau 12 : Moyenne des réponses « 2 sons » (et écart-type) pour chaque durée de transition du continuum [ai] dans les deux groupes de lecture.

	50	100	150	200	250	300
Bons Lecteurs	9 (1)	9 (1)	6 (2)	2 (1)	2 (1)	1 (1)
Mauvais Lecteurs	9 (2)	9 (1)	7 (2)	4 (3)	2 (3)	2 (3)
Bons et Mauvais	9 (1)	9 (1)	7 (2)	4 (3)	2 (2)	2 (2)

Tableau 13: Pentas de la fonction d'identification de chaque groupe de lecture, ajustées sur le groupe (à gauche) et ajustées sur les individus (à droite) obtenues par Régression Logistique.

	Pentes moyennes	
	Ajustées par groupe	Ajustées par individu
Bons Lecteurs	-0,0208	-0,0286
Mauvais Lecteurs	-0,0177	-0,0296
Bons et Mauvais	-0,0193	-0,0293

L'effet de la durée de la transition était significatif ( $\chi^2(1) = 366,24$   $p < 0,01$ ), mais ni l'effet général du groupe ni l'interaction groupe\*durée n'étaient significatifs ( $\chi^2(1) < 1$ ,  $\chi^2(1) = 2,47$ ,  $p > 0,10$  respectivement). L'ANOVA à un facteur groupe réalisée sur les pentes ajustées par individu confirme les résultats de la régression logistique : l'effet du groupe n'était pas significatif ( $F < 1$ ). Bien que la pente de la fonction d'identification moyenne soit plus faible pour les mauvais lecteurs (Figure 27), les moyennes des pentes individuelles étaient semblables et la différence n'était pas significative.

## II.3. Discussion.

Nous avons réalisé ces études de groupe dans le but de mettre en avant un effet du niveau de lecture et de l'âge sur la perception catégorielle.

### *Effet de la condition (parole / non parole)*

En CM1, les performances de discrimination des bons lecteurs en condition SS étaient semblables à celles des mauvais lecteurs de même âge. La discrimination des stimuli non linguistiques était conforme aux résultats de Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) qui n'ont pas constaté d'effet évident du niveau de lecture sur le traitement des stimuli non linguistiques.

En condition SS, les GSM et les CM1 ont discriminé la paire S4-S5 et ceci réapparaît en condition SP pour les CM1 et en condition PP pour les CE1. Conformément à la littérature (Rosen & Howell, 1987), un pic de discrimination est apparu lors de la discrimination du continuum non linguistique chez les GSM et les CM1, mais ce pic ne correspondait pas à la frontière phonémique située en S3-S4 en mode linguistique (condition SP). En mode non linguistique (condition SS), le continuum n'a donc pas été perçu de manière catégorielle. Les auditeurs de CM1 ont discriminé significativement la paire attendue S3-S4 quand ils étaient informés que les stimuli étaient des syllabes (SP), mais pas quand les mêmes stimuli étaient présentés comme des bruits (SS). En revanche, la consigne n'a pas eu l'effet attendu chez les enfants de GSM qui n'ont pas discriminé la frontière phonémique en S3-S4, ni en condition SS ni en condition SP.

Cependant, en condition PP, un pic de discrimination est présent en S3-S4, ce qui suggère que les enfants de GSM sont capables de percevoir les informations acoustiques qui distinguent les catégories phonémiques présentées et de faire une relation cohérente avec le système de réponse qui leur était proposé.

Il semble donc que pour les enfants de GSM la perception catégorielle dépende à la fois du mode de présentation des stimuli (parole / non parole) et de leur structure acoustique. Les difficultés de perception catégorielle des GSM semblent donc provenir du traitement perceptif de l'information acoustique. Les faibles performances perceptives en GSM peuvent s'expliquer par des difficultés à accéder aux représentations phonémiques des syllabes /ba/ /da/ à partir d'un signal acoustique appauvri. En effet, les informations acoustiques

disponibles en parole synthétique sont plus limitées qu'en parole naturelle. De plus, l'aspect artificiel de la synthèse en condition SP est renforcé par l'absence de modulations de basses fréquences (F0). Ces résultats suggèrent que, bien que les enfants soient capables de reconnaître les phonèmes à l'oral, ils réalisent difficilement cette tâche dans des conditions où les indices acoustiques sont limités.

#### *Différence de perception catégorielle en fonction du niveau de lecture*

Les pentes des fonctions d'identification étaient plus fortes et les pics de discrimination à la frontière phonémique plus prononcés chez les bons que chez les mauvais lecteurs. Les différences entre bons et mauvais lecteurs étaient dans le sens attendu, mais les différences n'étaient pas significatives. Aucun des critères de perception catégorielle employés, ni la pente de la fonction d'identification, ni l'effet de frontière phonémique, ne nous ont permis de reproduire l'effet du niveau de lecture observé par Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) lors du traitement des stimuli linguistiques. Les différences entre notre étude et celle de Serniclaes et al., pourraient provenir des critères de sélection des mauvais lecteurs. Dans notre étude, ils ont été recrutés parmi une population tout-venant, alors que Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) les ont sélectionnés pour la sévérité de leur déficit de lecture. Le retard de lecture requis dans notre population était de 8 mois, alors que Serniclaes et al. requéraient deux ans de retard minimum, ce qui correspond au critère diagnostique de la dyslexie (Sprenger-Charolles & Colé, 2003a). Leur déficit de lecture étant moins sévère, les catégories phonémiques des mauvais lecteurs de notre étude pourraient être mieux préservées que celles des dyslexiques de l'étude de Serniclaes et al. De plus, les bons lecteurs de notre étude étaient âgés de 10 ans en moyenne, alors que ceux de Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) étaient âgés de 13 ans et avaient par conséquent plus d'expérience linguistique.

#### *Différence de perception catégorielle en fonction de l'âge*

Nous avons constaté une amélioration de la consistance et de la catégorialité des performances parallèlement à l'âge. En condition SP, les GSM ne discriminaient pas la paire chevauchant la frontière phonémique malgré la consigne décrivant les stimuli comme des syllabes. A la session suivante, en CP, la paire S3-S4 chevauchant la frontière phonémique ainsi qu'une paire intra-catégorielle étaient discriminées. En CE1, seule la paire chevauchant la frontière phonémique était significativement discriminée. De plus, la perception du continuum était plus catégorielle en CE1 qu'en CP, et en CP qu'en GSM. De même, le score

de discrimination à la frontière catégorielle S3-S4 augmentait de la GSM au CE1. Enfin l'amélioration de la consistance des catégories phonémiques avec l'âge en condition SP était confirmée par une augmentation significative des pentes d'identification du continuum de transition [ai] de la GSM au CE1. Hazan et Barrett (Hazan & Barrett, 2000) et Simon et Fourcin (Simon & Fourcin, 1978) ont également observé une augmentation de la valeur des pentes des fonctions d'identification de diverses oppositions consonantiques de 2 à 14 ans.

En résumé, la catégorialité des scores de discrimination s'est améliorée de la première à la troisième session de l'étude, en affaiblissant la discriminabilité des paires intra-catégorielles en condition SP, en augmentant la discriminabilité de la paire inter-catégorielle en condition SP et PP et en améliorant la précision des catégories phonémiques dans la tâche d'identification. La perception devenait plus catégorielle avec l'âge et l'expérience linguistique, ce qui est conforme aux résultats des autres études citées dans la revue de littérature.

### III. CORRELATIONS ENTRE PERCEPTION DES SONS DE LA PAROLE CAPACITES METAPHONOLOGIQUES ET LECTURE.

#### III.1. Résultats des épreuves : moyennes et écarts-types.

Le *Tableau 14* illustre les scores bruts moyens et les écarts-types des épreuves de lecture, de conscience phonologique, des tests de QI ainsi que l'âge chronologique à chaque session de l'étude longitudinale. A partir des scores bruts individuels, nous avons calculé l'effet de frontière phonémique en condition PP (qui rend compte de la catégorialité des réponses) et la pente de la fonction d'identification du continuum de transition [ai] (qui mesure la précision des catégories phonémiques).

*Tableau 14 : Moyennes et Ecart-types des épreuves évaluées à chaque session de l'étude longitudinale, grande section de maternelle (session 1), CP (session 2) et CE1 (session 3).*

	Grande Section de Maternelle		1 <sup>ère</sup> année de Primaire (CP)		2 <sup>ème</sup> année de Primaire (CE1)	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Age chronologique (en mois)	71	3	83	3	95	3
QI non verbal	20	4	26	6	26	6
QI verbal	41	6	47	6	49	6
Mémoire phonologique	4	1	4	1	4	1
Segmentation syllabique	1	2	6	3	8	3
Segmentation phonémique (CVC)	3	4	9	4	10	3
Segmentation phonémique (CCV)	2	2	7	3	7	3
Effet frontière phonémique [bada]	0,0568	0,1508	0,1212	0,1452	0,1747	0,1951
Pentes fonction d'identification [ai]	-0,0010	0,0072	-0,0126	0,0112	0,0201	0,0144
Age de lecture (en mois)			85	9	98	15

Le Tableau 15 illustre les scores moyens et écarts-types de l'ensemble des CM1 et leurs scores en fonction du groupe de niveau de lecture. Les scores des tâches perceptives sont l'effet de frontière phonémique et les pentes des fonctions d'identification. Notons que les différences moyennes entre bons et mauvais lecteurs sont les plus faibles pour la condition PP (Figure 25), sur laquelle se base le calcul de l'effet de frontière phonémique.

Tableau 15 : Moyennes et Ecart-types pour les variables étudiées en CM1, pour l'ensemble des sujets et pour les sous-groupes bons et mauvais lecteurs.

	Ensemble des sujets de CM1		Bons lecteurs de CM1		Mauvais lecteurs de CM1	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
<b>Age chronologique (en mois)</b>	120	4	120	4	120	4
<b>QI non verbal</b>	31	4	33	2	30	4
<b>QI verbal</b>	53	3	54	3	52	3
<b>Mémoire phonologique</b>	4	1	5	1	4	1
<b>Segmentation syllabique</b>	9	1	9	1	9	1
<b>Segmentation phonémique (CVC)</b>	11	1	11	1	11	1
<b>Segmentation phonémique (CCV)</b>	10	2	10	1	9	2
<b>Effet frontière phonémique [bada]</b>	0,0487	0,1178	0,0573	0,1187	0,0441	0,1207
<b>Pentes fonctions d'identification [ai]</b>	-0,0042	0,0231	0,0046	0,0172	-0,0088	0,0248
<b>Age de lecture (en mois)</b>	112	19	132	8	102	13

### III.2. Corrélations entre perception des sons de la parole, conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture.

Les corrélations entre variables mesurées en GSM présentées *Tableau 16*, ont été obtenues en calculant le coefficient  $r$  de Pearson. Lorsqu'une différence importante était observée entre le coefficient paramétrique  $r$  de Pearson et le coefficient non paramétrique Tau de Kendall (*Tableau 17*), les « outliers » ont été exclus (*Figure 35*) et les coefficients  $r$  de Pearson recalculés (*Tableau 18*). Dans le *Tableau 16*, les corrélations significatives sont suivies d'une ou deux astérisques (\* ou \*\*), mais celles qui ne sont pas en gras n'ont pas été discutées car elles n'étaient plus significatives après suppression des outliers.

En grande section de maternelle, les corrélations impliquant les tâches perceptives n'étaient pas significatives. Les tâches de segmentation phonémique étaient corrélées entre elles ( $r=0,607$ ), mais aucune tâche de conscience phonologique n'était corrélée à la mémoire phonologique. De manière surprenante, les trois tâches de conscience phonologique étaient corrélées aux QI verbal ou non verbal ( $r=$  de 0,429 à 0,617). Les QI verbal et non verbal étaient inter-corrélés ( $r=0,459$ ).

Tableau 16: Corrélations entre épreuves en GSM (grande section de maternelle) chez les 33 sujets de l'étude.

	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1. Age chronologique</b>								
2. QI non verbal	0,047							
3. QI verbal	-0,041	<b>0,459**</b>						
4. Mémoire phonologique	0,040	-0,049	0,167					
5. Segmentation syllabique	-0,234	0,609**	0,379*	0,083				
6. Segmentation phonémique (CVC)	-0,221	<b>0,429*</b>	<b>0,567**</b>	0,263	0,434*			
7. Segmentation phonémique (CCV)	-0,195	<b>0,617**</b>	0,206	0,178	0,536**	<b>0,607**</b>		
8. Effet frontière phonémique [bada]	0,093	-0,060	0,080	0,185	-0,284	-0,135	-0,245	
9. Pentes fonctions d'identification [ai]	-0,268	0,102	0,229	-0,043	-0,164	0,169	0,169	0,044

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 17 : Tau de Kendall pour les variables suspectées de comporter des outliers en GSM (N=33).

	2.	3.	6.	7.
<b>5. Segmentation syllabique</b>	0,242	0,174	0,168	0,247

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 18 : Nombre de sujets (N) et Coefficient de Pearson (r) recalculé en excluant les outliers en GSM.

	2.	3.	6.	7.
	N	r	N	r
<b>5. Segmentation syllabique</b>	33	-0,061	33	0,239
N = 30			33	-0,098

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Le *Tableau 19* présente le résultat des corrélations  $r$  de Pearson entre variables mesurées en CP. L'examen des données n'a fait ressortir aucun outlier. Par conséquent, toutes les corrélations significatives du *Tableau 19* sont en gras et seront discutées dans l'analyse.

Contrairement à la session précédente, les tâches perceptives en CP étaient corrélées à plusieurs variables mesurées la même année. L'effet de frontière phonémique [ba-da] corrélait avec les pentes du continuum [ai] ( $r=0,361$ ). De plus, les pentes du continuum [ai] corrélaient aux tâches de segmentation syllabique ( $r=0,407$ ) et de segmentation phonémique CCV ( $r=0,432$ ). La segmentation phonémique CCV était corrélée aux deux autres tâches de conscience phonologique : segmentation syllabique ( $r=0,453$ ) et segmentation phonémique CVC ( $r=0,677$ ). En GSM, la mémoire phonologique n'était corrélée à aucune tâche de conscience phonologique, alors qu'en CP la mémoire phonologique était corrélée à la segmentation syllabique et phonémique CVC ( $r=0,413$ ,  $r=0,387$  respectivement). La tâche de segmentation phonémique CVC corrélait avec l'âge de lecture ( $r=0,512$ ). Comme à la session précédente, le QI verbal, mais pas le QI non verbal, corrélait avec des tâches de conscience phonologique (segmentation syllabique  $r=0,394$  et phonémique CCV  $r=0,353$ ) et avec le QI non verbal ( $r=0,444$ ).

Tableau 19 : Corrélations entre épreuves en CP chez les 33 sujets de l'étude.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Age chronologique									
2. QI non verbal	-0,132								
3. QI verbal	-0,138	<b>0,444**</b>							
4. Mémoire phonologique	-0,091	0,077	0,226						
5. Segmentation syllabique	-0,150	0,166	<b>0,394*</b>	<b>0,413*</b>					
6. Segmentation phonémique (CVC)	-0,065	0,293	0,307	<b>0,387*</b>	0,300				
7. Segmentation phonémique (CCV)	0,091	0,279	<b>0,353*</b>	0,304	<b>0,453**</b>	<b>0,677**</b>			
8. Effet frontière phonémique [bada]	-0,240	0,101	0,031	0,088	0,111	-0,013	0,066		
9. Pentes fonctions d'identification [ai]	0,201	0,246	0,287	0,078	<b>0,407*</b>	0,316	<b>0,432*</b>	<b>0,361**</b>	
10. Age de lecture	-0,245	0,302	0,249	0,344	0,320	<b>0,512**</b>	0,246	0,011	0,077

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Les corrélations  $r$  de Pearson entre variables mesurées en CE1 sont présentées *Tableau 20*. Comme pour la session de GSM, nous n'avons tenu compte que des corrélations en gras qui restent significatives après exclusion des outliers (*Tableau 22*).

En CE1, comme en CP, les pentes des fonctions d'identification du continuum [ai] étaient corrélées à la segmentation syllabique ( $r=0,497$ ) ainsi qu'à la mémoire phonologique ( $r=0,591$ ). En revanche, toujours comme en CP, l'effet de frontière phonémique n'était corrélé à aucune épreuve mesurée. Les tâches de conscience phonologique corrélées étaient la segmentation syllabique et phonémique CCV ( $r=0,577$ ) qui étaient toutes deux corrélées à la mémoire phonologique ( $r=0,521$  et  $0,661$ , respectivement). L'âge de lecture corrélait à la segmentation phonémique CCV ( $r=0,509$ ). QI et tâches de conscience phonologique restaient corrélés en CE1. De plus, on relève quelques corrélations entre QI verbal et non verbal et conscience phonologique, mémoire phonologique et lecture : QI non verbal avec la segmentation syllabique, phonémique CCV et la mémoire phonologique à court terme ( $r=0,590$ ,  $r=0,512$ ,  $r=0,376$  respectivement) ; le QI verbal corrélait avec la segmentation syllabique, phonémique CVC et la mémoire phonologique à court terme ( $r=0,441$ ,  $r=0,516$ ,  $r=0,476$  respectivement) ; l'âge de lecture avec QI non verbal ( $r=0,441$ ).

Tableau 20 : Corrélations entre épreuves en CEI chez les 33 sujets de l'étude.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Age chronologique									
2. QI non verbal	-0,105								
3. QI verbal	-0,208	0,314							
4. Mémoire phonologique	-0,026	<b>0,376*</b>	<b>0,476**</b>						
5. Segmentation syllabique	0,113	<b>0,590**</b>	<b>0,538**</b>	<b>0,521**</b>					
6. Segmentation phonémique (CVC)	-0,250	0,409*	<b>0,451*</b>	0,436*	0,498**				
7. Segmentation phonémique (CCV)	-0,118	<b>0,512**</b>	0,375*	<b>0,445**</b>	<b>0,577**</b>	0,458**			
8. Effet frontière phonémique [bada]	0,025	0,247	0,002	0,061	0,073	0,009	0,0143		
9. Pentes fonctions d'identification [ai]	0,199	0,342	0,337	<b>0,591*</b>	<b>0,497**</b>	0,259	0,297	0,136	
10. Age de lecture	<b>-0,361*</b>	<b>0,441*</b>	0,269	0,248	0,256	0,366*	<b>0,509**</b>	0,172	0,177

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 21 : Tau de Kendall pour les variables suspectées de comporter des outliers en CEI (N=33).

	5.	6.	7.
2. QI non verbal		<b>0,366**</b>	
3. QI verbal	<b>0,285*</b>	<b>0,368*</b>	<b>0,279*</b>
4. Mémoire phonologique		<b>0,383*</b>	<b>0,488**</b>
5. Segmentation syllabique		0,251	
7. Segmentation phonémique (CCV)		<b>0,309*</b>	
10. Age de lecture		<b>0,265*</b>	

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 22 : Nombre de sujets (N) et Coefficient de Pearson (r) recalculé en excluant les outliers en CE1.

	5.		6.		7.	
	N	R	N	r	N	r
<b>2. QI non verbal</b> N = 33			31	0,214		
<b>3. QI verbal</b> N = 32	33	<b>0,441*</b>	33	<b>0,516*</b>	33	0,269
<b>4. Mémoire phonologique</b> N = 33			32	0,278	32	<b>0,661*</b>
<b>5. Segmentation syllabique</b> N = 33			31	0,162		
<b>7. Segmentation phonémique (CCV)</b> N = 33			31	0,285		
<b>10. Age de lecture</b> N = 33			31	0,217		

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Les corrélations entre variables mesurées auprès de la population examinée en CM1 sont présentées *Tableau 23*. Les valeurs en gras sont restées significatives après exclusion des outliers (*Tableau 25*).

En CM1, l'effet de frontière phonémique était corrélé à la mémoire phonologique ( $r=0,450$ ), mais aucune autre variable n'était corrélée aux épreuves perceptives. La segmentation syllabique était corrélée à la segmentation phonémique CCV ( $r=0,414$ ), et la segmentation phonémique CCV à l'âge de lecture ( $r=0,472$ ). La corrélation entre les QI verbal et non verbal était significative ( $r=0,670$ ).

Tableau 23 : Corrélations entre épreuves chez les 26 sujets de l'étude réalisée en quatrième année de primaire (CMI).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Age chronologique									
2. QI non verbal	-0,042								
3. QI verbal	-0,011	<b>0,670**</b>							
4. Mémoire phonologique	0,084	0,043	0,067						
5. Segmentation syllabique	-0,089	-0,401*	-0,023	0,171					
6. Segmentation phonémique (CVC)	-0,177	0,228	-0,112	0,203	0,139				
7. Segmentation phonémique (CCV)	-0,024	-0,180	-0,054	0,058	<b>0,414*</b>	0,493*			
8. Effet frontière phonémique [bada]	0,346	-0,059	-0,040	<b>0,450*</b>	0,010	-0,174	0,007		
9. Pentes fonctions d'identification [ai]	0,166	0,015	0,225	0,219	0,202	0,189	0,152	0,133	
10. Age de lecture	-0,096	0,158	0,379	0,301	0,333	0,246	<b>0,472**</b>	0,016	0,371

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 24 : Tau de Kendall pour les variables suspectées de comporter des outliers en CMI (N=26)

	6.	5.
7. Segmentation phonémique (CCV)	<b>0,417*</b>	
2. QI non verbal		<b>-0,323*</b>

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 25 : Nombre de sujets (N) et Coefficient de Pearson (r) recalculé en excluant les outliers en CMI.

	6.		5.	
	N	r	N	r
7. Segmentation phonémique (CCV)	26	0,336		
N=24				
2. QI non verbal			26	-0,367
N=25				

Le *Tableau 26* illustre les corrélations entre variables mesurées en GSM et âge de lecture en CP et en CE1. Comme précédemment, les corrélations significatives sont suivies d'astérisques, et seules les corrélations significatives après recalcul sans les outliers (*Tableau 28*) sont en gras et seront discutées dans l'analyse.

Les corrélations entre âge de lecture en CP et en CE1 et les épreuves évaluées en GSM, indiquent qu'après exclusion des outliers, seul le QI verbal en GSM était corrélé à l'âge de lecture aux deux sessions suivantes.

*Tableau 26: Corrélations entre les épreuves mesurées en GSM et l'âge de lecture en CP et CE1*

	Age de lecture CP	Age de lecture CE1
<b>QI non verbal GSM</b>	0,387**	0,203
<b>QI verbal GSM</b>	<b>0,484*</b>	<b>0,382*</b>
<b>Mémoire phonologique GSM</b>	0,090	-0,055
<b>Segmentation syllabique GSM</b>	0,588**	0,397*
<b>Segmentation phonémique (CVC) GSM</b>	0,259	0,307
<b>Segmentation phonémique (CCV) GSM</b>	0,376*	-0,148
<b>Effet frontière phonémique [bada] GSM</b>	0,007	-0,013
<b>Pentes fonctions d'identification [ai] GSM</b>	0,106	0,203

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

*Tableau 27 : Tau de Kendall pour les épreuves en GSM corrélées à l'âge de lecture en CP et CE1 et suspectées de comporter des outliers*

	Age de lecture CP N=30	Age de lecture CE1 N=33
<b>QI non verbal GSM N=33</b>	-0,161	
<b>QI verbal GSM N=33</b>	<b>0,419*</b>	
<b>Segmentation syllabique GSM N=33 - 30</b>	0,248	0,094
<b>Segmentation phonémique (CCV) GSM N=33</b>	-0,057	

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

Tableau 28 : Nombre de sujets (N) et Coefficient de Pearson (r) recalculé en excluant les outliers en GSM.

	Age de lecture CP	Age de lecture CE1
	r	r
<b>QI non verbal GSM</b>	0,138	
<b>Segmentation syllabique GSM</b>	0,358	-0,094
<b>Segmentation phonémique (CCV) GSM</b>	-0,057	

Aucun outlier n'a été exclu des corrélations entre épreuves en CP et âge de lecture en CE1 (Tableau 29).

L'âge de lecture en CE1 était significativement corrélé à deux épreuves de conscience phonologique en CP, la segmentation phonémique CVC ( $r=0,521$ ) et CCV ( $r=0,325$ ).

Tableau 29 : Corrélations entre les épreuves mesurées en CP et l'âge de lecture en CE1

	Age de lecture CE1
QI non verbal CP	0,270
QI verbal CP	0,191
Mémoire phonologique CP	0,150
Segmentation syllabique CP	0,258
Segmentation phonémique (CVC) CP	<b>0,521*</b>
Segmentation phonémique (CCV) CP	<b>0,325**</b>
Effet frontière phonémique [bada] CP	0,080
Pentes fonctions d'identification [ai] CP	0,105

\*\* la corrélation est significative au niveau 0.01 / \* la corrélation est significative au niveau 0.05

### III.3. Discussion.

Un des objectifs de cette étude était d'examiner les relations entre les compétences classiquement reconnues comme étant corrélées à la lecture (conscience phonologique et mémoire phonologique) d'une part, et la perception catégorielle d'autre part.

#### *Perception catégorielle vs. Mémoire phonologique et Conscience métahologique*

Contrairement à l'hypothèse formulée initialement, aucune des tâches perceptives n'était corrélée au niveau de lecture. Toutefois, des liens avec des capacités associées à la lecture ont été observés : la pente d'identification du continuum [ai] était corrélée à la segmentation syllabique (en CP et en CE1) et à la segmentation phonémique (CCV en CP) ainsi qu'à la mémoire phonologique à court terme (en CE1). La mémoire phonologique en CM1 était également corrélée à la discrimination du continuum [ba]-[da] la même année. Les corrélations étant positives, de bons scores de segmentation syllabique sont associés à des pentes d'identification et à des PBE élevées.

Trois explications sont possibles. Une première tient à ce que les tâches de PC utilisées (tout comme celles de conscience phonologique) impliquent une charge mnésique. Ainsi la tâche d'identification demande à l'auditeur de confronter le stimulus à ses propres catégories phonémiques, ce qui nécessite que le stimulus soit maintenu en mémoire jusqu'à son identification. De même, la tâche de discrimination « AX » requiert l'intervention de la mémoire sans laquelle la trace du stimulus « A » disparaîtrait avant l'arrivée du stimulus « X » (il est nécessaire de préalablement les stocker pour pouvoir les comparer et émettre finalement un jugement sur leur similarité).

La seconde explication reprend l'hypothèse formulée par Carré et al. (Carré et al., 2000) selon lesquels la perception du phonème [e] dépend des capacités d'une mémoire phonologique à court terme appelée « auditory phonetic short term transform » qui tiendrait progressivement compte du découpage syllabique du français sous l'effet de l'acquisition de la langue. De fait, les enfants ayant les meilleurs scores de mémoire phonologique ont retenu un plus grand nombre de syllabes : la durée d'information phonologique qu'ils sont capables de stocker est donc plus importante. Dans ce cadre, le lien entre la pente d'identification du continuum de

transition [ai] et la mémoire phonologique à court terme (ainsi que la segmentation syllabique) indique que plus la pente est élevée, plus le sujet tient compte de la durée de la transition pour identifier le stimulus. Ce résultat permet de soutenir l'hypothèse que la taille de la mémoire phonologique détermine la prise en compte du paramètre syllabique.

La troisième explication tient compte des mesures de pentes et de l'effet de frontière phonémique en tant qu'indications de la catégorialité, de la précision et de la consistance des catégories phonémiques de l'auditeur. Les voyelles étant à la fois des phonèmes et des syllabes, on peut expliquer l'émergence de la voyelle supplémentaire en considérant que le paramètre critique est la taille du phonème et non la syllabe. Le lien entre mémoire phonologique et PBE (en CM1) et la pente d'identification (en CP et CE1), indiquerait que la capacité à mémoriser des informations phonologiques et la robustesse des catégories phonémiques seraient liées. Il est à noter qu'en CP, ces deux tâches perceptives étaient positivement corrélées ce qui indique que les enfants qui identifient le mieux le continuum de transition sont également ceux qui ont le mieux discriminé le continuum [ba-da].

*Inter-corrélations entre les épreuves de conscience phonologique ainsi qu'entre ces épreuves et la mémoire.*

Les tâches de conscience phonologique sont inter-corrélées aux 3 sessions de l'étude longitudinale tout comme en CM1. Une forte corrélation positive entre les tâches de segmentation phonémique (CCV et CVC) est observée en GSM et CP. Ce résultat indique que le score de segmentation phonémique de syllabes dont l'attaque est simple, est lié au score de segmentation phonémique de syllabes dont l'attaque est complexe. Les compétences de segmentation syllabique et phonémique sont liées en CP, CE1 ainsi qu'en CM1 mais pas en GSM, probablement en raison d'effets plancher. En CP, CE1 et CM1, le niveau de conscience phonologique semble être évalué de manière cohérente et fiable par la segmentation syllabique et phonémique.

En CP et en CE1, la conscience phonologique corrèle positivement avec la mémoire phonologique à court terme. Cette relation signale l'intervention de la mémoire à court terme dans les tâches de conscience phonologique. Ce résultat peut s'expliquer par la forte

mobilisation des capacités mémorielles dans une tâche de segmentation qui nécessite que pendant la suppression du segment initial, l'autre partie de l'item soit conservée en mémoire.

#### *Niveau de lecture vs. conscience phonologique*

Les hypothèses formulées au sujet des corrélations impliquant le niveau de lecture sont en partie confirmées. Les scores de conscience phonologique en GSM ne sont pas corrélés au niveau de lecture en CP et en CE1 probablement en raison d'effets plancher plus particulièrement pour les tâches impliquant les syllabes en GSM<sup>56</sup>. En revanche en CP, CE1 et en CM1, le niveau de lecture est corrélé avec les tâches de conscience phonologique. Ce sont plus précisément les tâches de segmentation phonémique qui sont corrélées au niveau de lecture à tous les niveaux scolaires (CP, CE1, CM1). De même, ce sont les deux tâches de segmentation phonémique en CP qui sont liées au futur niveau de lecture de CE1. Les corrélations avec le QI sont surprenantes étant donné la littérature dans le domaine signalant que le QI et la lecture d'une part, et la conscience phonologique d'autre part, évaluent des compétences indépendantes (Siegel, 1988).

---

<sup>56</sup> En GSM, 24 sujets sur 33 obtiennent un score de 0/10 à la tâche de segmentation syllabique, 22 sujets sur 33 obtiennent un score inférieur à 2/12 à la tâche de segmentation phonémique CVC, et 20 sujets sur 33 obtiennent un score inférieur à 2/12 à la tâche de segmentation phonémique CCV.

## IV. CONCLUSIONS

Cette étude de corrélations nous a permis d'établir des liens entre conscience phonologique et lecture ainsi qu'entre conscience phonologique et catégorisation phonémique. En revanche, les données longitudinales, tout comme l'étude comparative des bons et mauvais lecteurs, ne nous ont pas permis d'établir d'effet du niveau de lecture sur la catégorisation phonémique, probablement pour des raisons méthodologiques. D'autre part, nous avons reproduit l'amélioration des catégories phonémiques parallèlement au développement linguistique.

ETUDE 2 : PONDERATION DES INDICES  
ACOUSTIQUES EN FONCTION DE L'AGE ET DU  
NIVEAU DE LECTURE.

De nombreuses études ont montré que des indices contribuant au même percept n'ont pas nécessairement le même poids perceptif (Dorman et al., 1977), (Whalen, 1991), (Fitch et al., 1980). Whalen (Whalen, 1981) a étudié la pondération relative des indices acoustiques signalant l'opposition [s]-[ʃ] en anglais, et a déterminé que l'identification du lieu d'articulation de la fricative, dépendait de la fréquence du bruit fricatif et de la configuration de la transition. Les stimuli étaient des exemplaires naturels des syllabes [si] [su] [ʃi] et [ʃu] dont les segments fricatifs initiaux ont été remplacés par un continuum synthétique de friction allant de [s] à [ʃ]. Le poids perceptif de ces indices n'était pas le même : la friction était l'indice majeur, mais quand sa fréquence était ambiguë, l'auditeur tenait compte du lieu d'articulation indiqué par la transition. Le contexte vocalique affectait également l'identification de l'opposition. Aux fréquences ambiguës, la fricative était plus fréquemment identifiée [s], quand la voyelle suivante était arrondie que lorsqu'elle ne l'était pas : les frontières phonémiques des continua étaient localisées à des fréquences plus basses pour [u] que pour [i]. Mann et Repp (Mann & Repp, 1980) ont répliqué et complété ces observations en insérant une portion de silence entre le bruit de friction et la voyelle. Le silence a eu pour conséquence d'annuler l'effet de la transition, alors qu'il n'a qu'affaibli l'effet de la voyelle. Les auditeurs ont indiqué qu'ils avaient perçu le segment fricatif séparément de la voyelle comme s'ils avaient été produits par deux sources différentes. La transition étant une conséquence acoustique du mouvement articulaire réalisé lors de la production de plusieurs phonèmes successifs, les auteurs en ont conclu que l'effet de la transition est une preuve qu'une transition appropriée est nécessaire pour percevoir la continuité entre la friction et la voyelle. Par conséquent, elle est intégrée avec les autres indices comme un percept unique. A l'inverse, la qualité de la voyelle (+/- labial) est un facteur indépendant affectant la production des consonnes fricatives. L'effet de la voyelle reflète la compensation perceptive de l'arrondissement anticipatoire de la voyelle sur la consonne fricative précédente dont l'effet est d'abaisser la fréquence de la friction.

Dans une série d'expériences (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997a, 1997b; Nittrouer et al., 2000; Nittrouer & Studdert-Kennedy, 1987), Nittrouer a employé des syllabes fricative-voyelle pour étudier l'évolution des changements de pondération des indices acoustiques de l'enfance à l'âge adulte. Ces études ont indiqué que le poids attribué au spectre du bruit de

friction, à l'arrondissement de la voyelle et à la transition dépendait de l'âge et de l'expérience linguistique de l'auditeur. Le poids perceptif de la friction et du contexte vocalique augmentait et le poids attribué aux transitions diminuait parallèlement à l'âge. Ces résultats sont à l'origine du modèle Developmental Weighting Scheme (DWS), selon lequel les enfants sont plus sensibles aux informations acoustiques dynamiques, comme la transition, qui les aide à diviser le flot continu de parole en syllabes, alors que les adultes sont plus sensibles aux informations statiques qui leur permettent d'accéder aux traits phonétiques (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997b).

Nittrouer (Nittrouer, 1999) a également conduit une étude dont le but était d'évaluer l'hypothèse d'un déficit de traitement des informations acoustiques temporelles (Tallal, 1980) telles que les transitions chez les mauvais lecteurs et les dyslexiques, en comparant leurs stratégies de pondération à celles de normo-lecteurs de même âge. Trois continua de parole et un continuum de tons ont été proposés à des mauvais et des bons lecteurs de 8 à 10 ans, dont la conscience phonologique a également été mesurée. Les résultats ont infirmé l'hypothèse d'un déficit de traitement temporel chez les mauvais lecteurs : le poids de la transition s'est avéré plus élevé chez les mauvais que chez les normo-lecteurs, mais le poids qu'ils attribuaient à la friction était inférieur. Aujourd'hui, de nombreux chercheurs s'accordent à dire que le déficit central dans la dyslexie réside dans le traitement de l'information phonologique (Ramus et al., 2002) pour une revue voir (Ramus, 2003; Rosen, 2003). La dyslexie développementale se caractérise par des difficultés de lecture chez des enfants et des adultes qui possèdent l'intelligence, la motivation et la scolarisation adéquate pour apprendre à lire (Shaywitz, 1998). Les recherches sur la perception catégorielle ont montré que le déficit phonologique des dyslexiques pourrait provenir de catégories phonémiques moins bien définies que celles des normo-lecteurs (Godfrey et al., 1981; Mody et al., 1997; Werker & Tees, 1987). Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001) ont montré que les scores de discrimination des dyslexiques étaient moins catégoriels que ceux des contrôles d'âge chronologique. Comparativement aux contrôles, les dyslexiques discriminaient mieux les différences acoustiques entre stimuli appartenant à la même catégorie phonémique, et discriminaient moins bien les stimuli appartenant à des catégories différentes que les contrôles. Les auteurs ont conclu qu'une perception intra-catégorielle accrue pourrait être

responsable d'un déficit des représentations phonologiques de la parole, empêchant les dyslexiques d'établir des correspondances grapho-phonémiques fiables et occasionnant un retard de lecture. Cependant, les études visant à comparer les capacités de perception catégorielle des dyslexiques avec celles d'enfants plus jeunes mais de même âge de lecture n'ont pas permis de mettre en relief des différences (Besnoit, 2002; Joanisse et al., 2000; Manis et al., 1996; Serniclaes, Bogliotti et al., 2004a).

Le premier objectif de notre travail est d'étudier le développement des stratégies de pondération des indices acoustiques chez des adultes et des enfants de 7 ans francophones monolingues. Si le DWS modélise les stratégies de pondération des indices acoustiques conformément au développement linguistique, nous devrions reproduire les résultats obtenus par Nittrouer, auprès de ces auditeurs francophones : les enfants devraient attribuer un poids supérieur à l'effet de la transition, alors que les adultes devraient pondérer plus fortement la friction et la qualité de la voyelle. Notre second objectif est de comparer les performances de perception catégorielle entre enfants normo-lecteurs et adultes. Des résultats d'identification obtenus chez des auditeurs anglophones suggèrent que la pente de la fonction d'identification augmente entre 2 et 14 ans, ce qui signifie que la perception catégorielle s'améliore en fonction de l'âge (Hazan & Barrett, 2000; Simon & Fourcin, 1978). Enfin, notre troisième objectif est d'apporter de nouveaux résultats sur le déficit de perception de la parole des dyslexiques en étudiant les stratégies de pondération de mauvais lecteurs formellement diagnostiqués comme dyslexiques. Les stratégies de pondération des indices acoustiques chez les dyslexiques seront comparées à celles de normo-lecteurs de même âge et à celles d'enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture. La comparaison avec les contrôles d'âge chronologique nous permettra de déterminer si le déficit de perception de la parole des dyslexiques affecte également les stratégies de pondération des indices acoustiques et contextuels signalant une opposition de lieu d'articulation entre fricatives. La comparaison avec les contrôles plus jeunes de même niveau de lecture nous permettra de déterminer si le déficit perceptif observé reflète un délai dans le développement des stratégies de pondération. Si leurs stratégies de pondération sont semblables, alors les dyslexiques ont un retard développemental ; alors que si elles diffèrent, leurs performances sont déviantes. Les travaux sur la PC ont montré que le déficit de perception de la parole des dyslexiques s'observait

comparativement à des contrôles d'âge chronologique mais pas comparativement à des contrôles de niveau de lecture. Nous nous attendons à des stratégies de pondération des indices acoustiques et contextuels différentes de celles des contrôles d'âge chronologique mais semblables à celles des contrôles de niveau de lecture.

# I. METHODOLOGIE.

## I.1. Populations.

Les sujets recrutés étaient des locuteurs monolingues de langue maternelle française.

### I.1.1. Les adultes (AD)

Ce groupe était composé de 18 sujets âgés de 18 à 30 ans, dont le niveau scolaire correspondait au minimum au bac et qui ont été principalement recrutés à l'université Paris 3-ILPGA. La dyslexie et les retards de lecture dans l'enfance étaient des critères d'exclusion de la population. Les 9 hommes et 9 femmes constituant le groupe devaient obtenir le score maximal de lecture (14 ans 3 mois niveau 3<sup>ème</sup>) au test de l'Alouette (Lefavrais, 1965).

### I.1.2. Les Dyslexiques (DYS)

6 filles et 10 garçons dyslexiques composaient le groupe des dyslexiques. Ils ont été recrutés à l'école spécialisée pour enfants dyslexiques de l'hôpital du Kremlin Bicêtre. Ils ont été sélectionnés sur la base des critères suivants : (1) diagnostique formel de dyslexie par un orthophoniste, (2) audition normale (test audiométrique), (3) QI non verbal évalué par les matrices de Raven (Raven et al., 1986) dans la norme et (4) niveau de lecture inférieur de plus de 18 mois à leur âge chronologique selon l'Alouette (Lefavrais, 1965). Leur âge chronologique moyen était de 9 ans 8 mois et leur niveau de lecture moyen était de 6 ans 10 mois. Aucun des dyslexiques n'a obtenu un niveau de lecture supérieur à la première année de primaire (CP).

### I.1.c. Les contrôles d'âge chronologique (CAC)

Ce groupe était constitué de 9 filles et 7 garçons dont l'âge chronologique était apparié à celui des dyslexiques (+/- 3 mois). L'absence de retard de lecture selon l'Alouette (Lefavrais, 1965) a indiqué que les enfants étaient tous normo-lecteurs. Les critères d'inclusion concernant l'audition et le QI devaient également être respectés.

### I.1.d. Les contrôles de niveau de lecture - 7 ans (CNL)

Les 8 filles et 8 garçons constituant ce groupe ont été sélectionnés parmi 33 enfants suivis longitudinalement pendant 3 ans<sup>57</sup>. Les sujets sélectionnés devaient être normo-lecteurs selon le test de l'Alouette (Lefavrais, 1965). Le niveau de lecture du groupe a été apparié sujet par sujet à celui des dyslexiques. Le niveau de lecture et l'âge moyen du groupe étaient de 7 ans. Nous ferons référence à ce groupe en tant que «7 ans» en comparaison aux adultes et en tant que «contrôle de niveau de lecture» en comparaison des dyslexiques. Les critères d'inclusion concernant l'audition et le QI non verbal ont été respectés.

*Tableau 30 : Moyennes, écart-types et étendues de la distribution des scores aux épreuves déterminant les critères d'inclusion dans la population de l'étude.*

	<i>Dyslexiques (n=16)</i>		<i>Contrôles AC (n=16)</i>		<i>Contrôles NL (n=16)</i>	
	Moyenne (Ecart-type)	Distribution	Moyenne (Ecart-type)	Distribution	Moyenne (Ecart-type)	Distribution
Age chronologique (en année)	9,8 (0,10)	de 8,9 à 11,10	10,4 (1,2)	de 7,10 à 12	7,1 (0,3)	de 6,6 à 7,5
Age de lecture (en année)	6,10 (0,5)	de 6,6 à 7,8	10 (1,10)	de 7,1 à 12,10	7 (0,3)	de 6,8 à 7,5
QI non verbal (scores bruts)	32 (3)	de 28 à 36	30 (5)	de 19 à 35	26 (6)	de 20 à 33
QI non verbal (scores en percentiles)	87 (12)	de 50 à 95	85 (13)	de 50 à 95	77 (27)	de 25 à 95

Les scores aux épreuves standardisées évaluant l'inclusion dans la population de l'étude, sont présentés *Tableau 30* pour les trois groupes d'enfants. Des ANOVAs à un facteur groupe ont été réalisées pour les facteurs âge chronologique, niveau de lecture, QI non verbal et sexe, afin de contrôler l'appariement entre dyslexiques et contrôles. Le facteur groupe n'était significatif pour aucune des épreuves lors de la comparaison entre dyslexiques et contrôles d'âge chronologique (QI non verbal et âge chronologique ( $F < 1$ ), sexe ( $F(1;31) = 1,09$  ns)), excepté l'âge de lecture ( $F(1;31) = 46,26$   $p < .001$ ). Pour les contrôles de niveau de lecture,

<sup>57</sup> Cette population a été suivie longitudinalement de la dernière année de maternelle à la seconde année de primaire. D'autres données recueillies pour l'ensemble de cette population sont présentées dans l'étude 1.

aucune variable d'inclusion excepté l'âge chronologique ( $F(1;31) = 145$   $p < .001$ ) ne s'est avérée différer significativement des dyslexiques : âge de lecture ( $F(1;31) = 3,4$  ns) ; QI non verbal ( $F(1;31) = 1,7$  ns) ; sexe ( $F < 1$ ). Les groupes étaient donc correctement appariés.

## I.2. Matériel.

Un continuum de bruit fricatif a été généré en modifiant simultanément le premier pôle fricatif de 2 à 5 KHz et le second de 4 à 7 KHz par pas de 300 Hz. La fréquence d'échantillonnage a été fixée à 22050 Hz. Les stimuli employés partageaient tous la même portion fricative, 11 signaux composant un continuum fricatif de lieu d'articulation représentant l'opposition fricative sourde dentale - alvéolaire [s]-[ʃ]. La durée de la portion fricative était de 220 ms, celle de la portion vocalique de 270 ms, conformément aux valeurs indiquées par Nittrouer et Miller (Nittrouer & Miller, 1997a). Les paramètres de synthèse des portions syllabiques correspondaient aux voyelles [a] et [u] dont les transitions initiales ont été configurées deux fois chacune afin qu'elles soient appropriées dans un cas pour [s] et dans l'autre pour [ʃ]. La durée totale d'un stimulus était de 490 ms, dont 220 ms pour la portion fricative et 270 ms pour la portion vocalique incluant transition et portion stable des formants. Chacune de ces quatre portions vocaliques a été combinée aux 11 bruits de friction, de manière à obtenir  $4 * 11 = 44$  stimuli fricative-voyelle

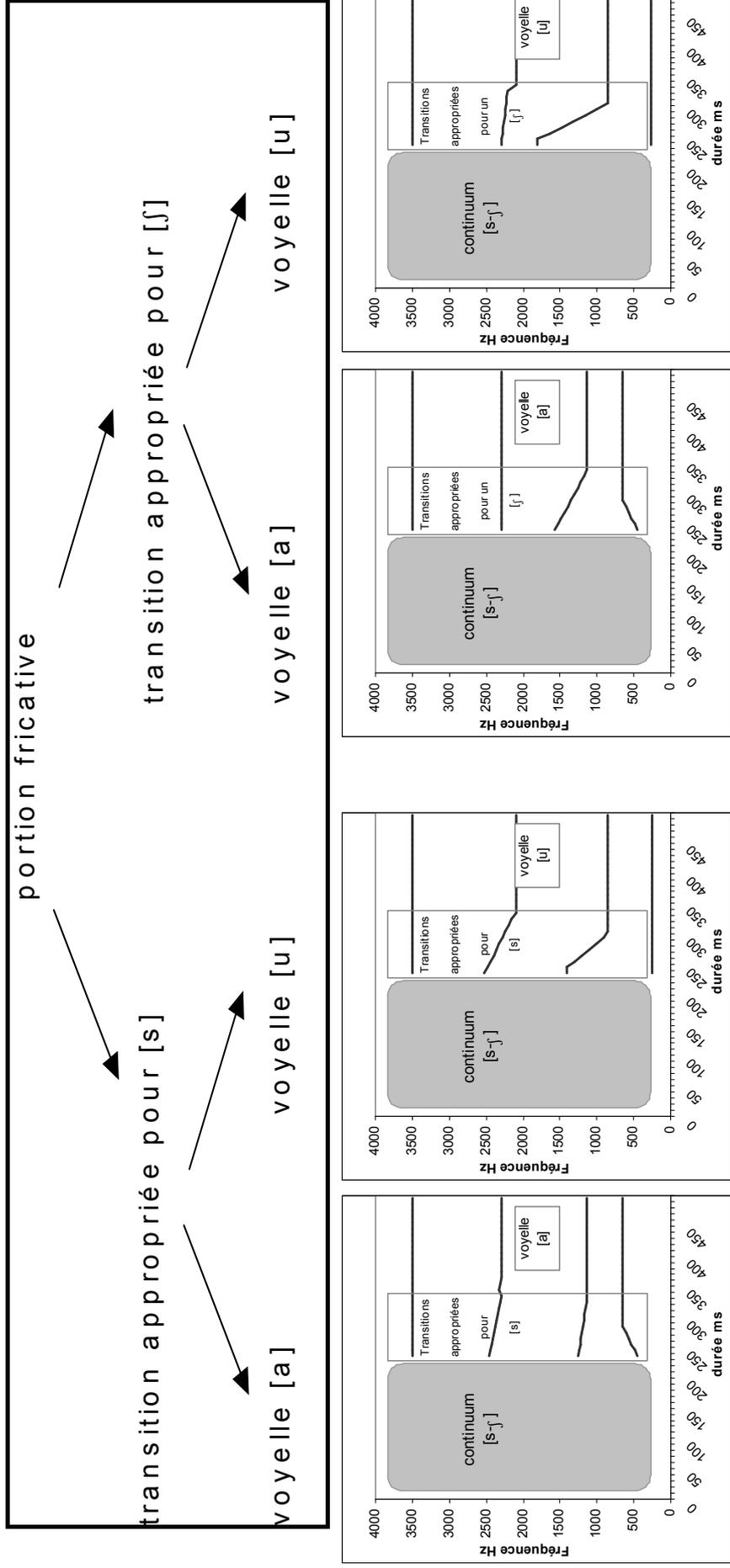


Figure 28 : Représentation schématique de la construction des stimuli de l'expérience 1 et de leurs spectrogrammes.

Tableau 31: Fréquences et moyennes de la fréquence des deux pôles fricatifs, pour les portions fricatives des signaux.

	Pôle fricatif 1 en Hz	Pôle fricatif 2 en Hz	Moyenne de 2 pôles fricatifs en Hz
<b>Stimulus 1</b>	2000	4000	3000
<b>Stimulus 2</b>	2300	4300	3300
<b>Stimulus 3</b>	2600	4600	3600
<b>Stimulus 4</b>	2900	4900	3900
<b>Stimulus 5</b>	3200	5200	4200
<b>Stimulus 6</b>	3500	5500	4500
<b>Stimulus 7</b>	3800	5800	4800
<b>Stimulus 8</b>	4100	6100	5100
<b>Stimulus 9</b>	4400	6400	5400
<b>Stimulus 10</b>	4700	6700	5700
<b>Stimulus 11</b>	5000	7000	6000

Les signaux de l'expérience 1 ont été synthétisés à une fréquence d'échantillonnage de 22050 Hz. Ils partagent tous la même portion fricative, 11 signaux formant un continuum [s]-[ʃ], dont la fréquence des deux pôles fricatifs ont été manipulés par pas de 300 Hz de 2 à 5 KHz pour le premier pôle fricatif, et de 4 à 7 KHz pour le second (Tableau 31). Les pôles fricatifs dont la fréquence était basse, ont été identifiés /ʃ/ et ceux dont la fréquence était élevée ont été identifiés /s/. La *Figure 18* désigne chaque portion fricative par la moyenne des deux pôles fricatifs, dont la valeur est indiquée Tableau 31.

Pour la voyelle [a], la fréquence de F1 débutait à 450 Hz, augmentait progressivement jusqu'à 650 Hz pendant les 50 premières millisecondes puis était maintenue à cette fréquence. F2 diminuait progressivement jusqu'à 1130 Hz pendant les 100 premières millisecondes, puis était maintenu à cette fréquence. F3 diminuait progressivement jusqu'à 2300 Hz pendant les 100 premières millisecondes, puis était maintenu à cette fréquence. La fréquence initiale des transitions appropriées pour [ʃ] était de 1550 Hz pour F2 et 2300 Hz pour F3 (pas de transition de F3). Celle des transitions appropriées pour [s] était de 1250 Hz pour F2 et 2460 Hz pour F3. La fréquence fondamentale chutait progressivement de 100 à 80 Hz pendant toute la durée de la portion vocalique.

Pour la voyelle [u], les paramètres de Nittrouer (Nittrouer & Miller, 1997a experiment 3)<sup>58</sup> n'ont pas pu être reproduits. En effet, les auditeurs francophones non phonéticiens ayant pré-testé ces signaux, ont reporté avoir perçu une voyelle qui ne semblait pas française. Les paramètres ont été modifiés de manière à ce que la voyelle [u] soit reconnue par les pré-testeurs francophones<sup>59</sup>. La fréquence de F1 était maintenue à 250 Hz pour toute la durée de la voyelle. La fréquence initiale des transitions appropriées pour [ʃ] était de 1800 Hz pour F2 et de 2300 Hz pour F3. La fréquence de F2 diminuait pendant les 70 premières millisecondes pour atteindre une fréquence stable de 850 Hz pendant le reste de la portion vocalique. F3 diminuait à une fréquence de 2100 Hz pendant les 100 premières millisecondes, puis était maintenu à cette fréquence. La fréquence initiale des transitions appropriées pour [s] était de 1400 Hz pour F2 et 2520 Hz pour F3. Pendant les 70 premières millisecondes, F2 atteignait 850 Hz, puis restait stable. Pendant les 100 premières millisecondes, F3 atteignait 2100 Hz puis était maintenu à cette valeur. La fréquence fondamentale débutait à 120 Hz et diminuait progressivement jusqu'à 100 Hz à la fin de la voyelle. La fréquence des transitions et de la partie stable des formants vocaliques est indiquée Tableau 32, Tableau 33, Tableau 34 et Tableau 35 pour chaque type de transition dans chaque contexte vocalique.

Chacune de ces quatre portions vocaliques a été combinée aux 11 bruits de friction, de manière à obtenir  $4 * 11 = 44$  stimuli fricative – voyelle.

---

<sup>58</sup> F1 valait 250 Hz. Pour la transition appropriée pour [ʃ], la fréquence initiale de F2 était de 1800 Hz et atteignait progressivement 850 Hz à la fin de la voyelle. La fréquence initiale de F3 était de 2200 Hz et atteignait 2100 Hz durant les premières 130 ms. Pour la transition appropriée pour [s], la fréquence initiale de F2 était 1480 Hz et atteignait progressivement 850 Hz à la fin de la voyelle. F3 débutait à 2520 Hz et atteignait 2100 Hz durant les 130 premières millisecondes.

<sup>59</sup> Les pré-testeurs ont identifié correctement la portion vocalique dont les paramètres étaient adéquats pour la voyelle [a]. En revanche, ils ont catégoriquement identifié les portions vocaliques [u] de Nittrouer et Miller /yu/. Les pré-testeurs francophones ont été identifiés les transitions de la voyelle [u] comme [y], voyelle existant dans l'inventaire phonémique du français, mais pas de l'anglais. Afin d'être le plus fidèle possible aux paramètres de Nittrouer et Miller, la fréquence des formants a été modifiée de manière à respecter les fréquences initiales et finales des transitions, mais en réduisant la durée afin de prévenir la perception de la voyelle [y]. Conformément à nos attentes, la voyelle obtenue a été identifiée [u].

Tableau 32 : Fréquences des transitions formantiques et de la partie stable des formants pour [ʃ] dans le contexte vocalique [a]

	0 à 220 ms	230 ms	240 ms	250 ms	260 ms	270 ms	280 ms	290 ms	300 ms	310 ms	320 ms	330 ms	340 ms	350 ms	360 ms	370 ms	380 ms	390 ms	400 ms	410 ms	420 ms	430 ms	440 ms	450 ms	460 ms	470 ms	480 ms	490 ms	
F1 en Hz	Portion fricative	450	490	530	570	610	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
F2 en Hz	Portion fricative	1570	1526	1482	1438	1394	1350	1306	1262	1218	1174	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130
F3 en Hz	Portion fricative	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
F4 en Hz	Portion fricative	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

Tableau 33 : Fréquences des transitions formantiques et de la partie stable des formants pour [ʒ] dans le contexte vocalique [u]

	0 à 220 ms	230 ms	240 ms	250 ms	260 ms	270 ms	280 ms	290 ms	300 ms	310 ms	320 ms	330 ms	340 ms	350 ms	360 ms	370 ms	380 ms	390 ms	400 ms	410 ms	420 ms	430 ms	440 ms	450 ms	460 ms	470 ms	480 ms	490 ms	
F1 en Hz	Portion fricative	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
F2 en Hz	Portion fricative	1800	1800	1640	1480	1320	1160	1000	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
F3 en Hz	Portion fricative	2300	2290	2280	2270	2260	2250	2240	2230	2220	2210	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
F4 en Hz	Portion fricative	3499	3499	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

Tableau 34 : Fréquences des transitions formantiques et de la partie stable des formants pour la transition appropriée pour [s] dans le contexte vocalique [a]

	0 à 220 ms	230 ms	240 ms	250 ms	260 ms	270 ms	280 ms	290 ms	300 ms	310 ms	320 ms	330 ms	340 ms	350 ms	360 ms	370 ms	380 ms	390 ms	400 ms	410 ms	420 ms	430 ms	440 ms	450 ms	460 ms	470 ms	480 ms	490 ms	
F1 en Hz	Portion fricative	450	490	530	570	610	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	
F2 en Hz	Portion fricative	1250	1238	1226	1214	1202	1190	1178	1166	1154	1142	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	1130	
F3 en Hz	Portion fricative	2460	2444	2428	2412	2396	2380	2364	2348	2332	2316	2300	2324	2312	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
F4 en Hz	Portion fricative	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

Tableau 35 : Fréquences des transitions formantiques et de la partie stable des formants pour la transition appropriée pour [s] dans le contexte vocalique [u]

	0 à 220 ms	230 ms	240 ms	250 ms	260 ms	270 ms	280 ms	290 ms	300 ms	310 ms	320 ms	330 ms	340 ms	350 ms	360 ms	370 ms	380 ms	390 ms	400 ms	410 ms	420 ms	430 ms	440 ms	450 ms	460 ms	470 ms	480 ms	490 ms	
F1 en Hz	Portion fricative	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	
F2 en Hz	Portion fricative	1400	1400	1300	1200	1100	1000	900	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
F3 en Hz	Portion fricative	2520	2480	2440	2400	2360	2320	2280	2240	2200	2160	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
F4 en Hz	Portion fricative	3499	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500

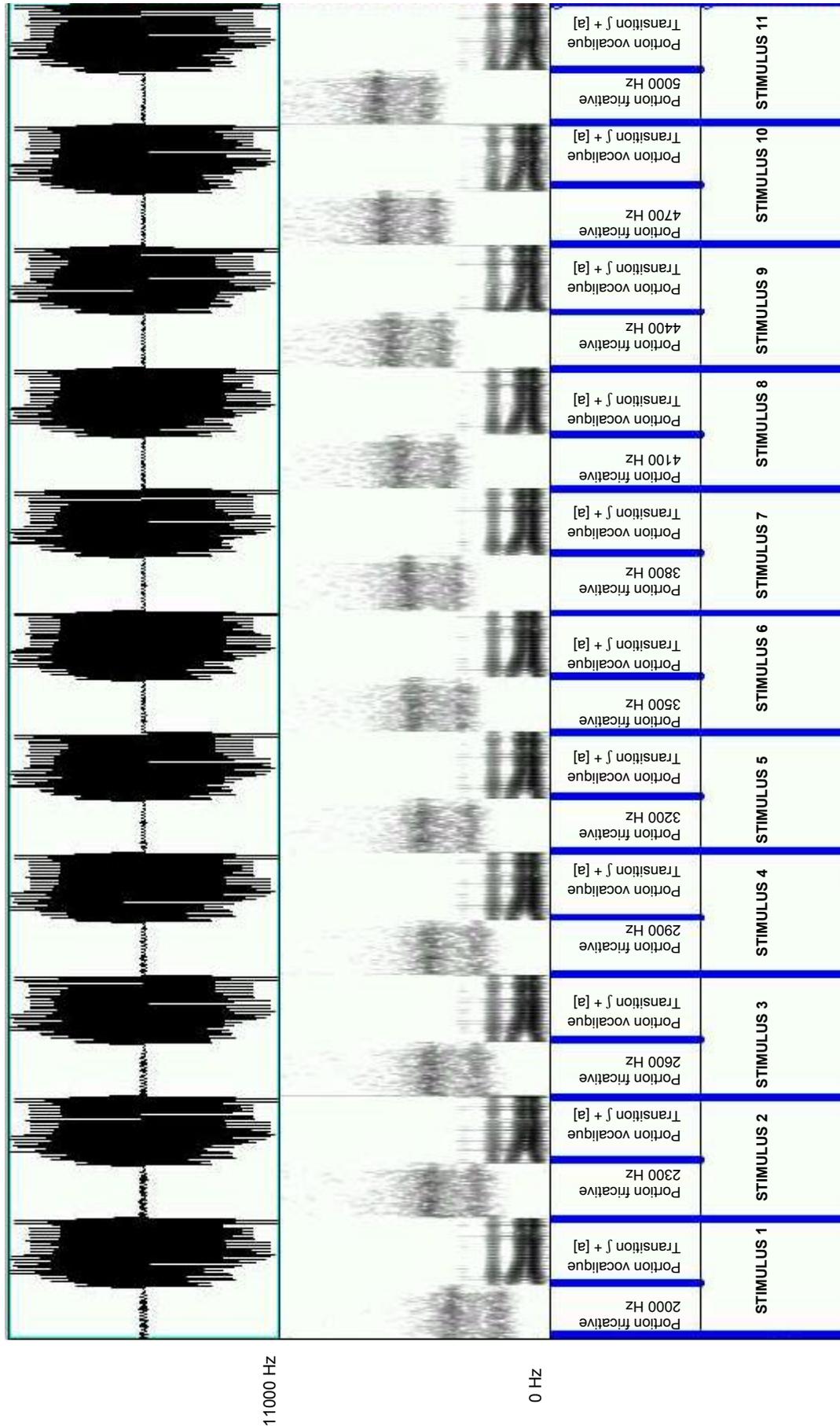


Figure 29 : Spectrogramme des stimuli dont la transition est appropriée pour [j] dans le contexte vocalique [a]

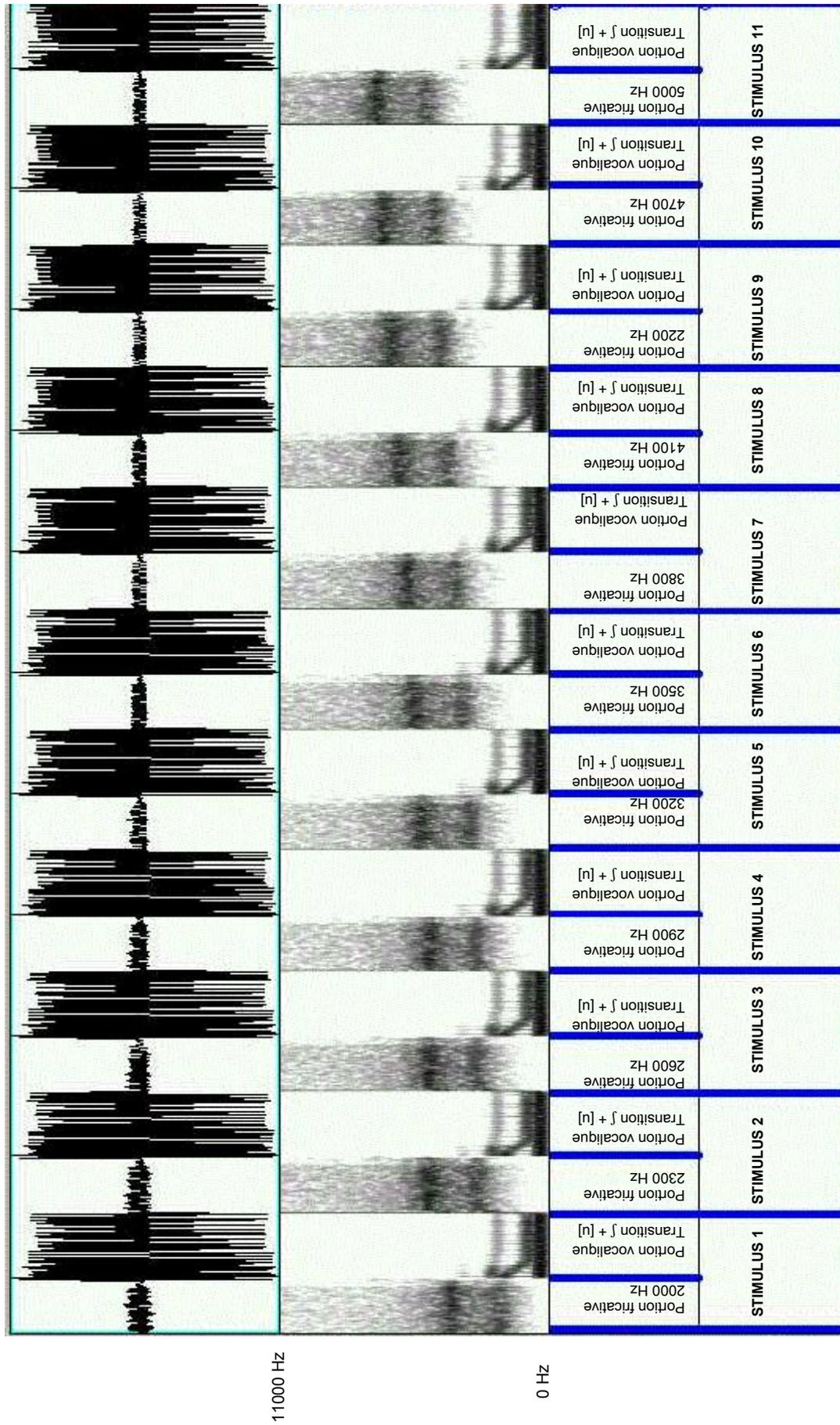


Figure 30 : Spectrogramme des stimuli dont la transition est appropriée pour [ʃ] dans le contexte vocalique [u]

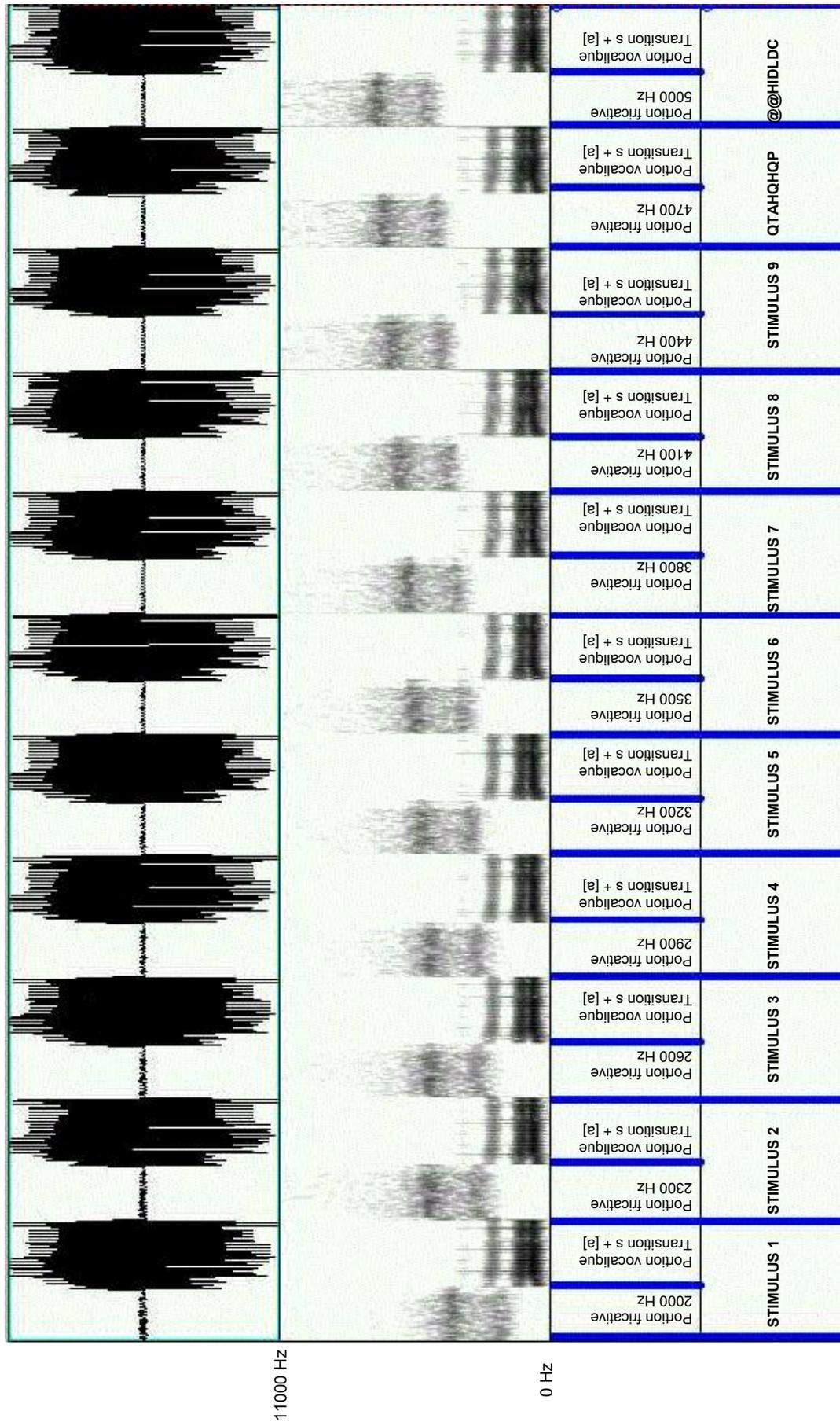


Figure 31 : Spectrogramme des stimuli dont la transition est appropriée pour [s] dans le contexte vocalique [a]

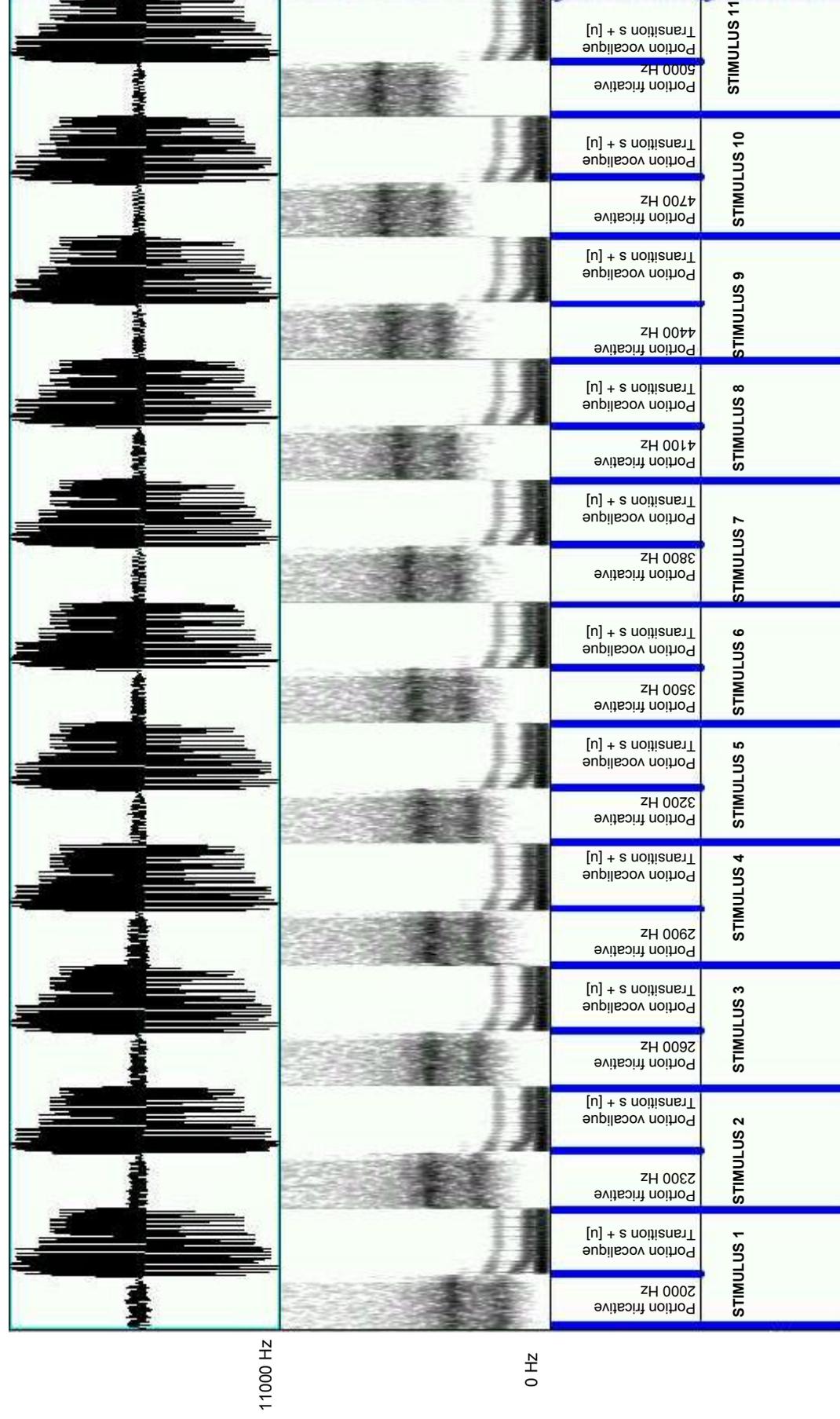


Figure 32 : Spectrogramme des stimuli dont la transition est appropriée pour [s] dans le contexte vocalique [u]

### I.3. Procédure.

Le recueil des réponses et la présentation des stimuli ont été contrôlés par un ordinateur relié à des écouteurs Beyerdynamic DT 290 de bonne qualité avec un niveau d'écoute jugé confortable par le sujet. Les épreuves se sont déroulées individuellement, dans une pièce calme de l'école pour les enfants et en chambre sourde pour les adultes. Les 44 stimuli résultants de la synthèse des paramètres cités précédemment (=11 portions fricatives \* 2 transitions \*2 contextes vocaliques) ont été présentés 5 fois. Un essai a d'abord été proposé : les auditeurs devaient identifier 5 répétitions des stimuli extrêmes du continuum de friction, dans le contexte vocalique [a] dont la transition était appropriée pour [s]. Puis les auditeurs devaient identifier le lieu d'articulation de la consonne fricative, en indiquant s'ils avaient perçu soit "sa" ou "cha", soit "sou" ou "chou".

Les stimuli ont été présentés par ordre contrebalancé de 4 blocs correspondant à chaque portion vocalique : la moitié des passations ont commencé par les portions vocaliques [u], et l'autre moitié par les portions vocaliques [a]. La tâche était d'identifier chaque syllabe présentée isolément, en appuyant sur la touche rouge du clavier s'ils percevaient /ʃ/ et sur la verte s'ils percevaient /s/.

### I.4. Analyses statistiques.

Les données d'identification ont été moyennées par groupe et l'effet du groupe, de la friction, de la transition et de la voyelle ainsi que leurs interactions, ont d'abord été testées par Régression Logistique. Les calculs de la régression logistique se basant sur les réponses moyennées par groupe, un changement de pente de la fonction d'identification pour la friction pourrait être dû à un véritable changement de sensibilité perceptive ou à une plus grande variabilité entre les frontières individuelles. Afin de contrôler cette dernière possibilité, les effets de la friction, des transitions formantiques et du contexte vocalique ont été évalués séparément pour chaque participant, grâce à un modèle de Régression Logistique dans lequel les individus étaient considérés comme les différents niveaux du même facteur. Les interactions entre facteurs ont ensuite été testées par ANOVAs à mesures répétées dans lesquels les individus étaient le facteur aléatoire et le groupe le facteur fixe.

## II. RESULTATS.

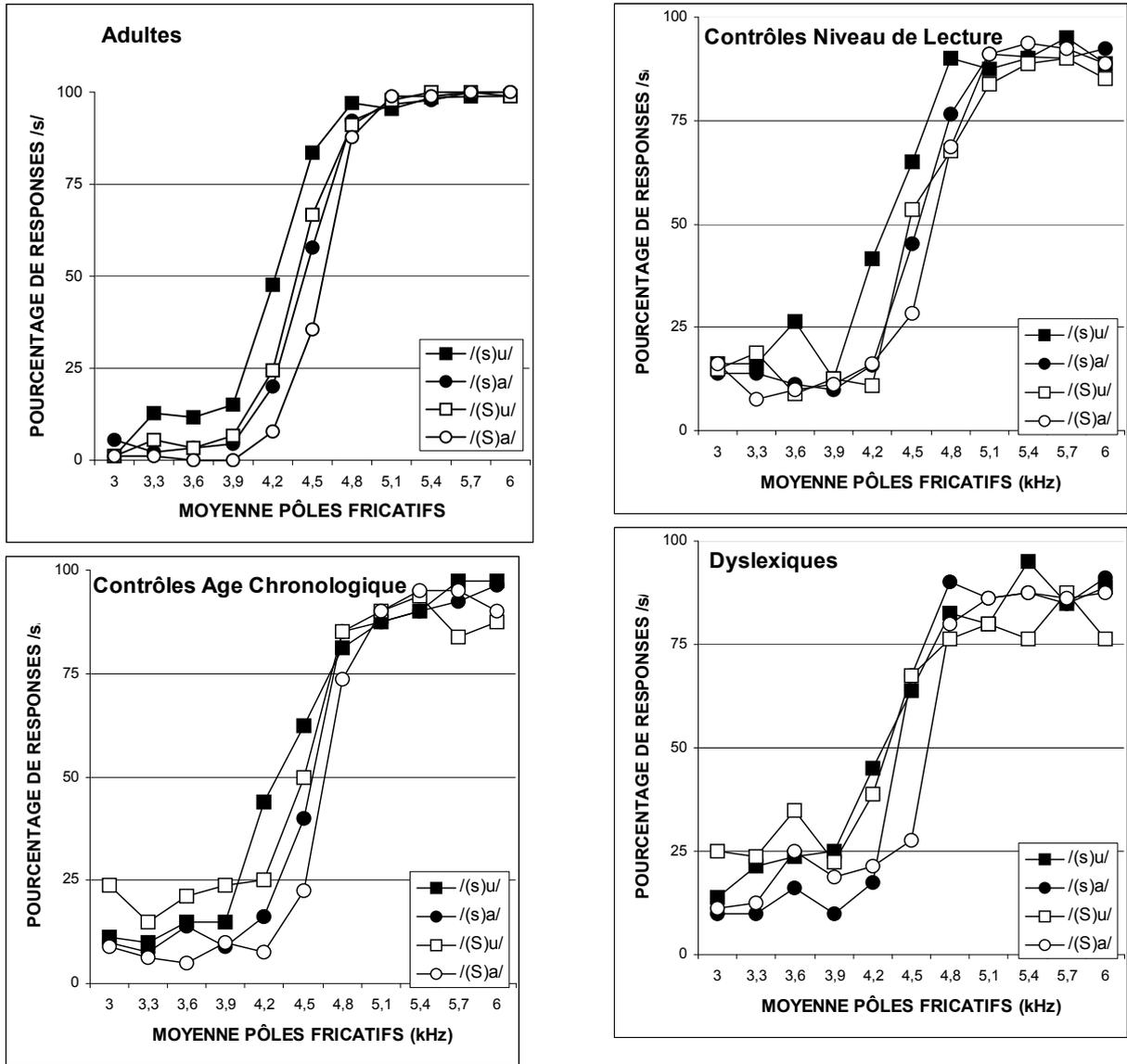


Figure 33: Fonctions d'identification des adultes (en haut à gauche), des contrôles d'âge chronologique (en haut à droite), des contrôles de niveau de lecture de 7 ans (en bas à gauche) et des dyslexiques (en bas à droite). La fréquence moyenne des deux pôles fricatifs est représentée sur l'axe des abscisses et le pourcentage de réponses /s/ sur l'axe des ordonnées. Les carrés représentent les stimuli dont la voyelle est [u], les cercles ceux dont la voyelle est [a]. Les formes pleines représentent les stimuli dont la transition est appropriée pour [s] et les formes vides ceux dont la transition est appropriée pour [ʃ].

Les fonctions d'identification du continuum de friction sont représentées *Figure 33*, pour chaque groupe, chaque type de transition et chaque contexte vocalique. Les scores moyens des réponses d'identification ont été analysés par Régression Logistique et testés par Chi<sup>2</sup> de Wald. Les effets de la friction, de la transition, de la voyelle et du groupe étaient tous significatifs (Chi<sup>2</sup>(1) = 134,24 p< 0,01 ; 3,72 p< 0,05 ; 9,10 p< 0,01 ; 15,53 p< 0,01, respectivement)<sup>60</sup>. Les interactions groupe\*indices étaient significatives : Chi<sup>2</sup>(3) = 98,08 p<0,01 ; 10,51 p<0,05 ; 21,29 p<0,01, respectivement pour groupe\*friction, groupe\*transition et groupe\*voyelle. La pente de l'effet de friction dépendait du groupe pour la comparaison entre adultes vs. 7 ans (Chi<sup>2</sup>(1) = 60,9 p< 0,01), contrôles d'âge chronologique vs. dyslexiques (Chi<sup>2</sup>(1) = 6,72 p< 0,01) et contrôles de niveau de lecture vs. dyslexiques (Chi<sup>2</sup>(1) = 15,08 p< 0,01). Pour l'effet de la transition, les comparaisons entre adultes vs. enfants de 7 ans et contrôles d'âge chronologique vs. dyslexiques n'étaient pas significatives (Chi<sup>2</sup>(1) = 2,15 p=0,14, Chi<sup>2</sup>(1) < 1) et étaient proches de la significativité pour les contrôles de niveau de lecture vs. dyslexiques (Chi<sup>2</sup>(1) = 3,46 p=0,06)). En revanche, l'effet de la voyelle s'est montré significativement différent entre adultes vs. 7 ans (Chi<sup>2</sup>(1) = 16,59 p< 0,01) et contrôles d'âge chronologique vs. dyslexiques (Chi<sup>2</sup>(1) = 3,81 p< 0,05), mais pas entre contrôles de niveau de lecture vs. dyslexiques (Chi<sup>2</sup>(1) < 1).

---

<sup>60</sup> Les hypothèses que nous souhaitons vérifier dans cette étude impliquent l'analyse des interactions impliquant le groupe. Pour des raisons de clarté, les interactions n'impliquant pas le facteur groupe sont présentées ci-après. Les interactions friction\*transition et friction\*voyelle étaient significatives (Chi<sup>2</sup> (1) = 9,17 p<.01 ; 24,02 p<.01, respectivement). L'interaction transition\*voyelle n'était pas significative (Chi<sup>2</sup> (1)<1). La triple interaction friction\*transition\*voyelle était significative (Chi<sup>2</sup> (1) = 6,99 p<.01). L'interaction groupe\*friction\*transition s'est également avérée significative (Chi<sup>2</sup> (3) = 32,10 p< .01).

*Tableau 36 : A gauche pentes en logits de la friction, la transition et la voyelle, calculées par RL à partir des scores de groupe. A droite pentes en logits de la friction, la transition et la voyelle, calculées par RL à partir des scores individuels, puis moyennées (écart-type) par groupe.*

	<i>Pentes calculées par groupe</i>			<i>Pentes calculées par sujet</i>		
	Friction	Transition	Voyelle	Friction	Transition	Voyelle
Adultes	0,008	0,572	0,869	0,028 (0,043)	0,792 (1,061)	1,214 (1,775)
Contrôles AC	0,003	0,178	0,494	0,005 (0,01)	0,920 (0,891)	1,138 (0,732)
Contrôles NL	0,004	0,34	0,233	0,004 (0,002)	-0,234 (0,729)	-0,207 (0,520)
Dyslexiques	0,003	0,110	0,247	0,003 (0,002)	0,297 (0,584)	0,398 (0,548)

Afin de contrôler les résultats de la régression logistique en tenant compte des variations inter-individuelles, les effets du groupe sur les pentes individuelles de la friction, de la transition et de la voyelle ont été testés séparément à l'aide de trois ANOVAs, soit une pour chaque indice. Le *Tableau 36* fournit la moyenne des pentes individuelles dans chaque groupe. Les résultats des ANOVAs indiquent que le facteur groupe était significatif pour les trois indices étudiés : transition ( $F(3,62)=6,36$   $p<0,01$ ), voyelle ( $F(3,62)=6,55$   $p<0,01$ ), friction ( $F(3,62)=4,88$   $p<0,01$ ). Les contrastes entre groupes, indiquent que l'effet de la transition différait significativement entre contrôles AC vs. dyslexiques ( $F(1,62)=4,39$   $p<0,05$ ), et entre adultes vs. contrôles NL de 7 ans ( $F(1,62)=12,6$   $p<0,01$ ), mais pas entre les contrôles NL vs. dyslexiques ( $F(1,62)=3,19$   $p=0,08$ ). De même, l'effet de la voyelle restait significatif entre contrôles AC vs. dyslexiques ( $F(1,62)=3,86$   $p<0,01$ ) et entre les adultes vs. contrôles NL de 7 ans ( $F(1,62)=15,1$   $p<0,01$ ) mais pas entre les contrôles NL vs. dyslexiques ( $F(1,62)=12,6$   $p=0,11$ ). L'effet de la friction diffère entre adultes vs. enfants de 7 ans ( $F(1,62)=9,61$   $p<0,01$ ), alors que l'effet de la friction était identique chez les contrôles AC, NL vs. dyslexiques ( $F<1$ ). Les pentes individuelles moyennées par groupe (*Tableau 36*) indiquent que la pente de la transition et de la voyelle des contrôles AC est supérieure à celle des dyslexiques, et que la pente de la friction des adultes est supérieure à celle des enfants de 7 ans.

Les résultats des analyses précédentes par régression logistique et ANOVA sont résumés *Tableau 37*.

Tableau 37 : Résultats de l'effet du groupe par indices acoustiques, calculés par Régression Logistique (partie supérieure) sur les scores d'identification par groupe et analyse équivalente obtenue par ANOVA portant sur les données ajustées par individu (partie inférieure).

<b>Régression Logistique</b> (interactions groupe*indice sur le score d'identification par groupe)	Groupe*Friction	Groupe*Transition	Groupe*Voyelle
Adultes vs. Contrôles AC vs. Contrôles NL vs. Dyslexiques Adultes vs. 7 ans	<b>Chi<sup>2</sup>(3) = 98 p&lt;0,01</b> <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 60,7, p&lt;0,01</b> <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 6,7, p&lt;0,01</b> <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 15,1, p&lt;0,01</b>	<b>Chi<sup>2</sup>(3) = 10,6, p&lt;0,05</b>  Chi <sup>2</sup> (1) = 2,2 Chi <sup>2</sup> (1) = 0,3 <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 3,4, p&lt;0,06</b>	<b>Chi<sup>2</sup>(3) = 21,4, p&lt;0,01</b> <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 16,7, p&lt;0,01</b> <b>Chi<sup>2</sup>(1) = 3,8, p&lt;0,05</b> Chi <sup>2</sup> (1) = 0
<b>ANOVA</b> (effet du groupe sur la valeur de la pente par individu)	Friction	Transition	Voyelle
Adultes vs. Contrôles AC vs. Contrôles NL vs. Dyslexiques Adultes vs. 7 ans	<b>F(3,62)=4,88 p&lt;0,01</b> <b>F(1,62)=9,61 p&lt;0,01</b> F<1 F<1	<b>F(3,62)=6,36 p&lt;0,01</b> <b>F(1,62)=12,6 p&lt;0,05</b> <b>F(1,62)=4,39 p&lt;0,05</b> F(1,62)=3,19 NS	<b>F(3,62)=6,55 p&lt;0,01</b> <b>F(1,62)=15,1 p&lt;0,01</b> <b>F(1,62)=3,86 p&lt;0,05</b> F(1,62)=2,58 NS

Pour comparer les poids relatifs des différents indices (friction, transition et voyelle) en fonction du groupe, il était nécessaire d'exprimer les pentes relatives à ces indices sur une échelle commune. Ceci a été réalisé en standardisant les pentes en z-scores par rapport à la moyenne et l'écart-type de leur distribution pour les quatre groupes (adultes, CA, NL et dyslexiques) confondus.

Une ANOVA multivariée a été calculée avec le groupe comme facteur inter-sujets et les pentes standardisées des indices comme facteur intra-sujets. Le but de cette analyse était de mesurer l'effet du groupe sur la pondération relative des indices. Les différences entre indices pris deux à deux (friction-transition, friction-voyelle, transition-voyelle) ont été évaluées par contrastes. Les moyennes des pentes standardisées pour chaque groupe et indice sont représentées *Figure 34*. Les pentes des trois indices augmentaient parallèlement à l'âge, mais celles de la transition et de la voyelle augmentaient plus rapidement (dès 8-12 ans, contrôles AC) que celle de la friction (après 8-12 ans). L'augmentation des pentes des indices n'étant pas simultanée, les changements de pondération relative des indices n'étaient pas linéaires. Le poids de la transition et de la voyelle relativement à la friction était supérieur chez les enfants de 8-12 ans comparativement aux adultes et aux contrôles NL (7 ans). D'autre part, la pondération de la transition et de la voyelle relativement à la friction était plus importante chez les contrôles d'âge chronologique que chez les dyslexiques. Le poids de la friction était similaire chez les dyslexiques et les deux groupes contrôles, mais la pondération de la transition et de la voyelle par les dyslexiques était inférieure aux contrôles d'âge chronologique et supérieure aux contrôles de niveau de lecture. Les stratégies de pondération des dyslexiques se caractérisaient par une configuration intermédiaire à celle des contrôles d'âge chronologique et de niveau de lecture.

Tableau 38 : moyenne (et écart-type) par groupe des pentes individuelles converties en z-scores.

	<i>Friction</i>	<i>Transition</i>	<i>Voyelle</i>
Adultes	0,07 (1,71)	0,35 (1,12)	0,46 (1,48)
Contrôles AC	-0,21 (0,41)	0,49 (0,93)	0,4 (0,61)
Contrôles NL	-0,27 (0,09)	-0,73 (0,77)	-0,72 (0,44)
Dyslexiques	-0,30 (0,06)	-0,16 (0,62)	-0,21 (0,45)

Les aspects essentiels de cette description sont validés par les résultats des tests statistiques. Une ANOVA avec les indices comme facteur intra sujet (3 niveaux : friction, transition, voyelle) et le groupe comme facteur inter sujet (4 niveaux) a été réalisée. Les effets du groupe, de l'indice et l'interaction groupe\*indice étaient significatifs ( $F(3,62)=9,97$  ;  $F(1,62)=12,9$  et  $F(6,124)=3,86$  ; tous  $p<0,01$ ). La comparaison entre adultes et contrôles AC (8-10 ans) montre que la pondération de la friction relativement à la transition et la voyelle diffère : pour les adultes, le poids de la transition relativement à la friction est significativement plus faible ( $F(1,32)=5,60$   $p<0,05$ ) et tend à être plus faible pour la voyelle ( $F(1,32)=2,87$   $p<0,09$ ). La comparaison entre contrôles AC (8-10 ans) et contrôles NL (7 ans) montre que le poids de la friction relativement à la transition ( $F(1,30)=12$   $p<0,01$ ) et à la voyelle ( $F(1,30)=23,09$   $p<0,01$ ) est plus faible chez les contrôles AC. Quand adultes et enfants de 7 ans sont comparés, les patrons de pondération ne diffèrent pas ( $F<1$ ).

La comparaison entre contrôles AC et dyslexiques indique que le poids de la voyelle relativement à la friction est significativement plus fort pour les contrôles AC ( $F(1,30)=5,40$   $p<0,05$ ), que le poids de la transition relativement à la friction n'est pas significativement plus fort pour les contrôles AC mais la différence existe à l'état de tendance ( $F(1,30)=3,30$   $p=0,08$ ). La comparaison entre contrôles NL et dyslexiques montre que la pondération de la friction est significativement plus élevée pour les contrôles NL tant par rapport à la transition que par rapport à la voyelle ( $F(1,30)=6$   $p<0,05$  et  $F(1,30)=11,5$   $p<0,01$  respectivement).

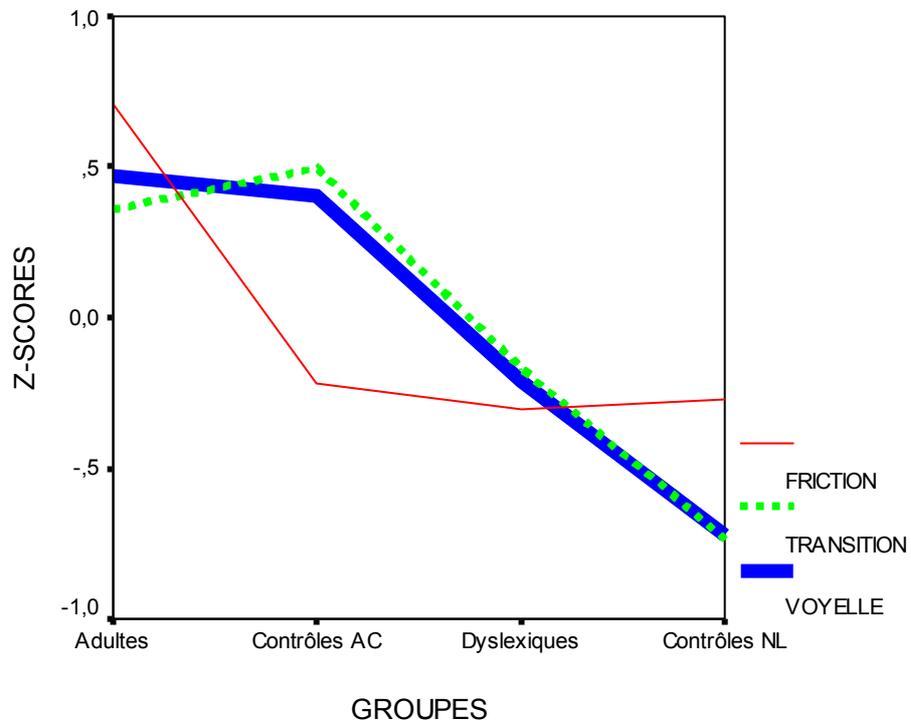


Figure 34 : Poids de la friction (ligne continue fine), de la transition (ligne pointillée) et de la voyelle (ligne continue épaisse) standardisés en z-scores pour les adultes, les contrôles d'âge chronologique, les dyslexiques et les contrôles de niveau de lecture.

### III. DISCUSSION.

Le premier objectif de cette étude était d'examiner les stratégies de pondération des indices acoustiques signalant l'opposition de lieu d'articulation [s-f] chez des enfants et des adultes, afin d'évaluer l'hypothèse selon laquelle les premiers pondèreraient plus fortement les transitions que les seconds. Le deuxième objectif était de comparer les performances de perception catégorielle entre enfants et adultes. Le dernier objectif était d'évaluer les stratégies de pondération de dyslexiques, que nous avons comparées à celles de normo-lecteurs de même âge, afin de déterminer un probable déficit perceptif. La comparaison avec des contrôles plus jeunes mais de même niveau de lecture devrait permettre de déterminer si ce déficit relève du retard ou de la déviance développementale.

La comparaison entre les adultes et les enfants les plus jeunes de cette étude, indique que le poids des trois indices évalués était plus fort pour les adultes. Ceci montre que la perception catégorielle augmente au terme du développement, et ce quel que soit l'indice considéré. Cette évolution n'est cependant pas synchrone pour les différents indices considérés. Chez les enfants de 8-10 ans (contrôles AC), le poids accordé à la transition et à la voyelle relativement à la friction est supérieur à celui des adultes et des enfants plus jeunes de 7 ans. On observe une augmentation relative du poids de la transition et de la voyelle au cours de l'enfance, et une augmentation plus tardive du poids de la friction. L'évolution des stratégies de pondération allaient donc dans la même direction que celles des anglophones des études de Nittrouer (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997a, 1997b) pour la transition dont le poids diminue, et pour la friction dont le poids augmente au cours du développement.

L'amélioration de la pondération des indices acoustiques au cours du développement confirme l'amélioration de la perception catégorielle de l'enfance à l'âge adulte, ce qui est conforme à notre hypothèse. Nos données confirment l'amélioration de la consistance des catégories phonémiques avec l'expérience linguistique, observée dans d'autres études (Hazan & Barrett, 2000; Simon & Fourcin, 1978). Notons que les différences de perception catégorielle en fonction de l'âge devraient se présenter de manière différente selon la gamme

d'âge et l'indice considérés. La transition et la voyelle atteignent un poids absolu comparable à celui observé chez les adultes entre 8 et 12 ans, et au cours de cette période, leur contribution à l'identification du stimulus augmente. La pondération du bruit de friction est la même avant 12 ans et augmente ultérieurement, probablement à un âge que nous n'avons pas examiné.

Les dyslexiques se distinguent des contrôles d'âge chronologique et de niveau de lecture. Cependant, ils ne pondèrent pas plus la transition et moins la friction comme ceux de l'étude de Nittrouer (Nittrouer, 1999). La pondération des indices de transition et de voyelle est inférieure à celle des contrôles de même âge chronologique et supérieure à celle des contrôles de même niveau de lecture. Toutefois, les trois groupes d'enfants attribuent le même poids perceptif au bruit de friction. La pondération des indices de transition et de voyelle chez les dyslexiques semble donc plus mature que celle des contrôles de même niveau de lecture, mais plus jeunes, et moins mature que celle des normo-lecteurs de même âge. Enfin, on ne constate pas de différences de pondération absolue du bruit de friction pour l'ensemble des trois groupes d'enfants. Ceci ne nous permet cependant pas d'exclure de possibles différences entre dyslexiques et contrôles d'âge chronologique à une étape ultérieure du développement, entre 12 ans et l'âge adulte.

## IV. CONCLUSION.

Les tendances développementales que nous avons observées, indiquent que la perception catégorielle d'un continuum [s-f] s'améliore parallèlement à l'expérience linguistique et ce quel que soit l'indice considéré, bruit de friction, transitions formantiques ou ceux fournis par la voyelle adjacente. En revanche, la catégorisation de ces indices n'évolue pas de manière simultanée au cours du développement, la perception catégorielle des indices de transition et de voyelle augmentant plus précocement que celle de la friction. Le déficit de perception catégorielle des dyslexiques s'est manifesté en comparaison aux contrôles d'âge chronologique, mais pas en le comparant aux contrôles de même niveau de lecture. Ceci suggère que le déficit de perception catégorielle des dyslexiques relève plus du délai que d'une déviance dans leur développement perceptif.

## DISCUSSION GENERALE.

Les résultats des études que nous avons menées confirment que les facteurs phonologiques jouent un rôle crucial dans l'apprentissage et le développement de la lecture. Les résultats d'enfants suivis longitudinalement de la GSM au CE1, et de ceux vus en CM1 ont confirmé les relations positives entre lecture et conscience phonologique. De plus, les performances de perception catégorielle des dyslexiques se sont avérées déficitaires et leurs stratégies de pondération des indices acoustiques étaient équivalentes à celles des enfants plus jeunes, mais différentes de celles des enfants de même âge. Enfin, la perception catégorielle était également affectée par l'âge de l'auditeur, les catégories phonémiques les plus consistantes étant observées auprès des sujets les plus âgés.

### *Compétences métaphonologiques et lecture*

L'un des objectifs de notre travail était d'établir des liens entre la lecture et les compétences phonologiques évaluées par des tâches de conscience phonologique. Nous avons constaté des corrélations significatives entre ces compétences phonologiques et la lecture. En effet, les meilleurs lecteurs de l'étude étaient également ceux qui réussissaient le mieux les tâches de conscience phonologique. Ces tâches demandaient à l'enfant de segmenter la syllabe et le phonème initial d'items présentés oralement. Parmi les deux unités à manipuler, la capacité à segmenter les phonèmes était la plus fréquemment reliée à la lecture. En CP, ce sont les capacités de segmentation phonémique les plus simples, impliquant la suppression de la consonne initiale d'une attaque simple (CVC), qui étaient corrélées à la lecture. Un an après, en CE1, ainsi que chez les CM1, c'est la capacité à segmenter les phonèmes initiaux d'attaques complexes (CCV) qui corrèle à l'âge de lecture. Nous avons également systématiquement observé des corrélations positives entre les trois épreuves de segmentation, indiquant que les trois variables sont des mesures fiables de la conscience phonologique.

En revanche, nous n'avons pu établir de corrélations entre scores de conscience phonologique en GSM et âge de lecture aux sessions suivantes, probablement en raison d'effets plancher. Entre la GSM et le CP, les scores de conscience phonémique augmentent significativement. Les résultats aux deux tâches de segmentation en CP étaient corrélés au niveau de lecture en CE1. Caravolas (Caravolas & Bruck, 1993) a observé les mêmes limitations avant l'apprentissage de la lecture chez des enfants de 4 à 6 ans qui n'ont pas réussi à réaliser la

tâche de segmentation avant la dernière session correspondant à l'année d'apprentissage formel de la lecture.

Nous n'avons pas observé de liens entre tâches perceptives et lecture, mais en CP et CE1, la segmentation syllabique corrélait positivement à la tâche d'identification [ai]. Ce résultat est conforme à d'autres études (Mayo et al., 2003) qui ont indiqué que le développement de la conscience phonémique pourrait jouer un rôle dans les changements de pondération des indices acoustiques de la parole.

Nos résultats sont conformes à ceux de la littérature (Tunmer & Lally, 1986) et confirment l'existence d'une relation positive entre conscience phonologique et lecture. La lecture implique l'activation de la représentation phonologique des mots par la mise en correspondance de l'unité minimale de l'écrit, le graphème, avec l'unité minimale de l'oral, le phonème. Les corrélations entre lecture et conscience phonémique nous indiquent que les enfants sont d'autant plus habiles en lecture qu'ils sont conscients que les mots à l'oral sont constitués d'unités minimales que l'on peut manipuler. Si l'enfant est capable d'échanger, de segmenter ou de supprimer un phonème du reste de l'item, cette unité sera facilement disponible quand il devra l'associer au graphème correspondant ce qui constitue une procédure de lecture cruciale dans les systèmes alphabétiques. De bonnes compétences de segmentation précoces permettent de favoriser l'apprentissage de la lecture, en mettant à disposition de l'apprenti des capacités analytiques qui faciliteront l'apprentissage des relations grapho-phonémiques par l'enfant. Mais l'absence de lien entre conscience phonologique en GSM et lecture en CP et en CE1 ne nous permet pas de nous prononcer sur les relations de causalité entre ces variables. De plus, il ne suffit pas de savoir que « bain » peut être décomposé en deux phonèmes pour savoir lire. En effet, même en étant capable de manipuler les phonèmes, le sujet peut confondre ou avoir du mal à faire la différence entre « pain » et « bain ». Pour établir des correspondances grapho-phonologiques fiables, il faut également des catégories phonémiques fermes et bien définies. C'est pourquoi le second objectif de notre travail était d'étudier la robustesse des catégories phonémiques en relation avec le niveau de lecture.

### *Incidence de l'âge sur la catégorisation phonémique*

Nous avons récolté des données longitudinales et transversales de perception catégorielle et de pondération d'indices afin de déterminer si la précision des catégories phonémiques et la catégorialité des scores de discrimination s'améliorent au cours du développement. Nous avons observé une augmentation de la consistance de la perception catégorielle manifestée par une augmentation du poids des trois indices étudiés entre l'enfance et l'âge adulte. Les stratégies de pondération relative entre indices étaient différentes chez les enfants et les adultes : la pondération relative de la friction par rapport à la transition et à la voyelle était plus faible chez les enfants de 8-12 ans mais non chez les enfants de 7 ans. Ces changements de pondération relative des indices à certains âges montrent que le développement de la perception catégorielle n'est pas uniforme. Le développement serait plus rapide pour les indices dynamiques et contextuels (transition et voyelle) que pour les indices statiques (friction). Les résultats de l'étude 2 se concilient parfaitement avec ceux de l'étude 1 dans laquelle nous avons évalué l'évolution du poids perceptif de la transition lors de l'identification d'un continuum [ai-aei] et lors de la discrimination de continua [ba-da] de 6 ans (GSM) à 8 ans (CE1). Nous avons observé une amélioration de la consistance des catégories phonémiques de la première à la dernière session de l'étude longitudinale qui s'est traduite par une augmentation du poids de la transition lors de l'identification du segment supplémentaire [e], et par des performances de discrimination des transitions à la frontière perceptive de plus en plus catégorielles.

Ces résultats confirment partiellement les hypothèses de la DWS (Nittrouer & Miller, 1997b) : conformément aux travaux de Nittrouer, nous avons observé une pondération plus importante de la friction chez les adultes, et une pondération relative de la transition plus importante chez des enfants de 8 à 12 ans. Toutefois, nos résultats ne confirment pas l'hypothèse selon laquelle les stratégies de pondération des enfants seraient guidées par le caractère statique ou dynamique des indices acoustiques. En effet, nous avons observé que le poids de la transition et de la voyelle était supérieur chez les enfants, indices respectivement « dynamique » et « statique » selon la DWS. Ce résultat va à l'encontre de la généralisation de la DWS selon laquelle les stratégies de pondération des enfants seraient guidées par le découpage syllabique du signal qui les encouragerait à attribuer un poids supérieur aux

indices acoustiques « dynamiques », tels que la transition. En revanche, selon Nittrouer, les adultes pondèreraient plus fortement les indices « statiques » comme le bruit de friction et la voyelle qui leur permettrait d'accéder à la structure phonétique du signal acoustique. Les résultats de l'étude 2 ne nous ont pas permis d'observer un biais perceptif en faveur de la transition chez les enfants de 8-12 ans et en faveur de la friction chez les adultes.

Toutefois, nous ne pouvons écarter la possibilité que nos données, recueillies auprès d'auditeurs francophones, et celles de Nittrouer, recueillies auprès d'auditeurs anglophones, se distinguent pour des raisons spécifiques aux contraintes acoustiques de la langue maternelle des auditeurs. En effet, le travail de Gottfried portant sur l'identification de voyelles anglaises (Gottfried & Strange, 1980) et françaises (Gottfried, 1984) a montré que les locuteurs des deux langues identifiaient mieux les voyelles anglaises dans un contexte consonantique et les voyelles françaises quand elles étaient présentées isolément. La fréquence cible des formants, étant plus stable en français qu'en anglais en raison de la diphtongaison des voyelles anglaises (Delattre, 1965, 1969), serait un indice plus fiable en français alors que la transition serait plus appropriée à l'identification des voyelles anglaises. On ne peut donc pas écarter l'effet de différences inter-linguistiques dans la pondération du segment vocalique stable dans notre expérience (effet de la voyelle) ce qui pourrait rendre compte des différences entre notre étude et celles de Nittrouer.

Nos résultats se concilient parfaitement avec ceux de Hazan et al. (Hazan & Barrett, 2000). Conformément à ces résultats, nous avons observé une augmentation générale de la pondération des indices acoustiques au cours du développement, indiquant que l'amélioration de la consistance des catégories phonémiques est le résultat d'une pondération plus forte de l'ensemble des indices disponibles. Hazan et al. ont examiné les pentes des fonctions d'identification d'enfants de 6 à 12 ans pour diverses oppositions phonémiques, signalées par différents indices acoustiques. L'amélioration de la pente signalant l'amélioration de la consistance des catégories phonémiques a été observée pour les oppositions signalées par des indices tels que la friction, la transition, le VOT et le bruit d'explosion. Nos résultats indiquent également qu'à 12 ans, le poids accordé à la friction n'est toujours pas aussi important chez les adultes, ce qu'avaient également observé Hazan et al. pour l'ensemble des indices évalués. Par conséquent, nos résultats s'accordent avec ceux de Hazan pour montrer

que la consistance des catégories phonémiques semble ne devenir conforme aux stratégies des adultes que relativement tard dans le cours du développement linguistique, probablement au-delà de 12 ans. Mais nos résultats montrent en outre que le rythme de développement dépend de l'indice considéré, et qu'il est plus lent pour la friction par rapport aux transitions et aux indices fournis par le contexte vocalique.

La tâche d'identification du nombre de voyelles (/ai/ ou /aei) sur un continuum de durée de transition, mise au point par Carré et al., a été proposée à des auditeurs de 13 et 6 ans (Carré et al., 2000). A 13 ans, les auditeurs identifiaient le continuum en fonction du seuil perceptif distinguant /ai/ et /aei/ localisé à 200 ms de la même manière que les adultes (Carré et al., 2001), alors qu'à 6 ans les auditeurs répondaient majoritairement /ai/. Selon les auteurs, les francophones détectent le segment supplémentaire en fonction du paramètre syllabique par le biais d'une mémoire phonologique à court terme qui transformerait le percept de transition en syllabe, quand la durée approximative d'une syllabe en français est dépassée. Les enfants de 6 ans auraient une capacité mémorielle limitée qui ne leur permettrait pas de stocker des unités de la taille de la syllabe. Cette hypothèse présuppose que l'accès au lexique se base sur la syllabe comme l'ont affirmé Mehler et al. (Mehler, Segui, & Frauenfelder, 1981) qui ont observé que, chez des adultes, les temps de réponse étaient plus rapides lorsque le découpage syllabique d'un mot cible était congruent avec la syllabe présentée juste avant. Content et al. (Content, Meunier, Kearns, & Frauenfelder, 2001) n'ont pas reproduit l'effet de congruence syllabique auprès d'auditeurs adultes francophones qui devaient détecter des séquences CV et CVC au début de pseudo-mots disyllabiques dont la structure syllabique et la consonne pivotale étaient modifiées. Les résultats contradictoires quant à l'unité de classification prélexicale en français, tout au moins chez l'adulte, nous encouragent à fournir une explication alternative à l'interprétation de Carré et al. Puisque les voyelles sont à la fois des phonèmes et des syllabes, il est possible d'interpréter la détection du segment supplémentaire en terme de découpage syllabique ou en terme d'analyse phonémique. On peut également interpréter ces résultats conjointement à ceux de la tâche de discrimination [ba-da], les données longitudinales signalant que l'amélioration de la consistance des catégories phonémiques s'améliore avec l'âge, ceci dans la perspective où le déficit de perception

catégorielle des dyslexiques trouverait son origine dans un mode de perception allophonique (Serniclaes et al., 2004).

Burnham a également étudié le développement perceptif chez l'enfant et a constaté que sa trajectoire n'était pas linéaire (Burnham et al., 1991). Un continuum de VOT recouvrait la frontière de VOT négatif, entre occlusives voisées (/b/) et non-voisées (/p/), et la frontière de VOT positif entre occlusives non-voisées (/p/) et aspirées (/p<sup>h</sup>/). Ces deux frontières sont utilisées dans certaines langues à trois catégories de voisement, comme en thaï par exemple. En revanche, seule la frontière de VOT positif est utilisée en anglais. Les résultats de Burnham montrent que dans cette langue le VOT positif a été perçu de plus en plus catégoriellement de l'enfance (10 mois) jusqu'à l'âge adulte. En revanche, la discrimination du VOT négatif était plus faible chez les enfants de 2 ans que chez les nourrissons, et chez les adultes que chez les enfants de 6 ans, ces derniers ayant des performances inférieures à celles des enfants de 2 ans et similaires à celles des nourrissons. Selon Burnham, l'apprentissage de la lecture pourrait détourner l'enfant des oppositions phonologiquement non pertinentes, lui permettant ainsi de focaliser son attention sur les phonèmes pertinents dans sa langue. En ce qui concerne nos résultats, les sujets de 7 ans étaient plus proches du patron de performances adulte que les enfants de 8 à 12 ans, ce qui suggère également un développement perceptif non linéaire mais avec des effets qui ne se font sentir que plus tard (8-12 ans), par rapport à ceux mis en évidence pour la perception des contrastes non maternels (6 ans). Nous avons observé qu'en GSM, la session précédant l'apprentissage de la lecture, les enfants n'étaient pas capables d'attribuer un label aux stimuli synthétiques en fonction du paramètre modifié le long du continuum. Un an après, leurs performances devenaient catégorielles. Il est possible que l'âge n'ait pas été le seul facteur à influencer sur la perception catégorielle, qui pourrait également être affectée par l'apprentissage de la lecture. Nittrouer a observé que le poids de la voyelle commence à être pondéré comme chez les adultes, à partir de 7 ans (Nittrouer, 1992; Nittrouer & Miller, 1997a). Toutefois, des données postérieures à cette tranche d'âge n'ont pas été récoltées.

### *Incidence du niveau de lecture sur la catégorisation phonémique*

La perception catégorielle est le phénomène par lequel les différences acoustiques entre les sons de la parole ne sont pas perceptibles sauf s'ils appartiennent à des catégories phonétiques différentes (Liberman et al., 1957). Les travaux sur la lecture ont commencé à s'intéresser à la perception catégorielle pour rendre compte des difficultés spécifiques de lecture telles que celles des dyslexiques. De nombreuses études ont rapporté un déficit perceptif chez les mauvais lecteurs comparativement à des normo-lecteurs de même âge (Blomert & Mitterer, 2004; Mody et al., 1997; Serniclaes et al., 2001) et des performances similaires à celles des normo-lecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture (Adlard & Hazan, 1998).

Dans notre étude, nous avons constaté que le poids de la transition et de la voyelle relativement à celui de la friction était plus important chez les contrôles d'âge chronologique que chez les dyslexiques. Cela indique que les contrôles d'âge chronologique ont davantage tiré profit des informations que ces indices fournissaient pour identifier le lieu d'articulation de la consonne. Nos résultats diffèrent donc de ceux de l'étude de Nittrouer (Nittrouer, 1999) dans laquelle les dyslexiques ont pondéré plus fortement les transitions, et les contrôles d'âge chronologique la friction. En revanche, les poids perceptifs de ces trois indices étaient identiques chez les dyslexiques et le poids perceptif de l'ensemble transition-voyelle était plus faible chez les contrôles de niveau de lecture, mais plus jeunes. Les résultats de notre étude placent donc les stratégies de pondération relative des indices acoustiques des dyslexiques à mi-chemin entre celles des deux groupes contrôles : elles sont plus élaborées que celles des contrôles de même niveau de lecture mais le poids des indices reste à un stade moins évolué que celui des contrôles d'âge chronologique. Ces résultats confirment le déficit de perception catégorielle des dyslexiques et suggèrent que ce déficit est le résultat d'un retard dans le développement perceptif (Serniclaes, 2003).

Dans l'étude 1, nous avons évalué la perception catégorielle de bons et de mauvais lecteurs de 10 ans (CM1), par deux procédures distinctes. Nous avons employé la tâche d'identification mise au point par Carré et al. (Carré et al., 2001) consistant à identifier comme /ai/ ou /aei/, un continuum de transitions comprises entre 50 et 300 ms. Les adultes francophones de l'étude ont établi le seuil de perception entre /ai/ et /aei/ à 200 ms. Dans notre étude, les pentes des

fonctions d'identification ne se différencient pas en fonction du groupe de niveau de lecture à 10 ans. Nous n'avons pas relevé de déficit de catégorialité chez les mauvais lecteurs de notre étude. Nous avons également évalué la discrimination de continua [ba-da] auprès des mêmes enfants. Contrairement à l'étude de Serniclaes et al. (2001), nous n'avons pas observé de différences entre bons et mauvais lecteurs, bien que les procédures et le matériel soient les mêmes. Les études employant des tâches de discrimination ont systématiquement relevé un déficit de PC chez les mauvais lecteurs (Serniclaes, Bogliotti, Messaoud-Galusi, & Sprenger-Charolles, 2004b), que les études employant des tâches d'identification n'ont pas toujours reporté (Joanisse et al., 2000; Manis et al., 1997). Nos résultats diffèrent donc fortement de ceux des autres études. Ces inconsistances nous laissent penser que des facteurs extérieurs au traitement intrinsèque des stimuli pourraient expliquer nos résultats. En effet, les participants de notre étude étaient des mauvais lecteurs dont les déficits étaient moins sévères que ceux des dyslexiques de l'étude Serniclaes et al. (Serniclaes et al., 2001). Par conséquent, il faut envisager la possibilité que leurs déficits de lecture plus légers soient associés à des déficits perceptifs plus légers (leurs catégories phonémiques seraient mieux préservées que celles des dyslexiques de Serniclaes et al. 2001). A l'appui de cette hypothèse, notre seconde étude confirme le déficit de perception catégorielle des dyslexiques reporté dans la littérature.

Les résultats de l'étude 2 indiquent que les stratégies de pondération des dyslexiques ne sont pas les mêmes que celles des normo-lecteurs de même âge. Le poids qu'ils attribuent aux propriétés acoustiques, leur rôle et leur influence sur le système perceptif lors de la décision de catégorisation, est différent de celui des normo-lecteurs. La raison pourrait être le manque de consistance des catégories phonémiques des dyslexiques. En effet, nos résultats vont dans le sens de ceux relevés par Serniclaes et al. qui indiquent que les dyslexiques discriminent les différences inter-catégorielles moins bien que les normo-lecteurs, alors qu'ils discriminent mieux les différences intra-catégorielles. Notre étude, tout comme celle de Serniclaes et al., indique que les dyslexiques n'ont pas de problème à extraire l'information acoustique, puisqu'ils s'avèrent capables de focaliser leur attention perceptive sur les informations phonétiques pertinentes. En revanche, leur problème proviendrait du fait que les représentations phonologiques auxquelles ils accèdent ne seraient pas assez fermes pour que l'indice acoustique soit employé de manière aussi optimale et que son poids perceptif soit

identique à celui que lui attribuent les bons lecteurs de même âge. A l'oral, ce déficit n'est pas handicapant, car dans la parole spontanée, les indices acoustiques présents sont redondants et le contexte sémantique peut pallier les difficultés à décoder les phonèmes. En revanche, avec des représentations phonologiques mal spécifiées et peu précises, l'information acoustique ne peut être employée de manière efficace pour permettre de relier les phonèmes aux graphèmes correspondants lors de la lecture. Ce déficit pourrait expliquer les difficultés de lecture rencontrées par les dyslexiques.

## CONCLUSION GENERALE.

Les résultats des expériences 1 et 2 nous conduisent à conclure que l'âge et la lecture sont des facteurs qui ont une incidence sur la perception catégorielle des sons du langage.

Nous n'avons pu établir de lien direct entre les scores de perception catégorielle et le niveau de lecture (étude 1). Néanmoins, nous avons pu observer des relations entre les capacités métaphonologiques, connues pour leurs liens robustes avec le niveau de lecture, et les tâches perceptives présentées. L'explication de ce résultat pourrait provenir des limites de l'expérience. En effet, en suivant longitudinalement une cohorte d'enfants, nous avons perdu 25% de la population entre la première et la troisième session de l'étude. L'effectif final était donc faible comparativement à celui d'autres études investiguant les variables corrélées à la lecture. Il est donc difficile de considérer que ces résultats soient définitifs : des données complémentaires devront être recueillies pour pouvoir se prononcer plus certainement sur les relations entre perception catégorielle et niveau de lecture.

En dépit de l'absence de relation entre perception catégorielle et niveau de lecture pour une population tout-venant, nous avons également pu confirmer le déficit de perception catégorielle des dyslexiques. Nous avons constaté que le poids perceptif attribué par les dyslexiques aux indices acoustiques permettant d'identifier une opposition phonémique était inférieur à celui des normo-lecteurs de même âge, mais pas à celui des normo-lecteurs plus jeunes, les performances des dyslexiques se situant entre celles des enfants plus jeunes de même niveau de lecture et celles des normo-lecteurs de même âge. Ces résultats répliquent le déficit de perception catégorielle des dyslexiques observé, dans d'autres travaux.

Les épreuves de perception catégorielle que nous avons présentées, ont toutes les trois permis de constater que l'âge améliore la consistance des catégories phonémiques de l'auditeur. Ces résultats semblent robustes, vu qu'ils ont été obtenus auprès de groupes indépendants, de 7 ans à l'âge adulte, ainsi qu'auprès de la population suivie longitudinalement pendant trois ans. Un point important ressortant de l'étude portant sur la pondération relative des indices acoustiques, est que l'amélioration de la consistance des catégories est supportée par des indices différents suivant la période du développement à laquelle on s'intéresse. Les résultats de cette étude suggèrent également que l'acquisition du langage n'est pas encore achevée à l'adolescence. Pour pouvoir mieux déterminer la période à laquelle la perception des sons du

langage atteint un stade de maturation adulte, il nous reste donc à recueillir des données postérieures à 12 ans.

Conformément au modèle DWS, nous avons observé des différences de stratégies de pondération entre adultes et enfants mais elles ne confirmaient pas l'hypothèse selon laquelle les enfants pondèrent plus fortement les indices dynamiques, et les adultes les indices statiques. Les auditeurs de notre étude étant francophones et ceux des études soutenant le modèle DWS étant anglophones, il est possible que les différences entre études proviennent des différences dans la configuration acoustique des stimuli. Dans une future étude, il faudra déterminer si nos résultats reflètent des stratégies perceptives appropriées à la langue maternelle des auditeurs ou si elles sont le fruit de stratégies propres à la perception des stimuli de notre expérience. Pour cela, il faudrait comparer les stratégies de pondération des indices signalant la même opposition auprès d'anglophones et de francophones, grâce à des stimuli configurés selon les paramètres acoustiques qui sont respectivement propres à l'anglais et au français. Si les auditeurs conservent les mêmes stratégies, que les stimuli soient anglais ou français, alors elles seront le reflet de stratégies perceptives propres à leur langue maternelle. En revanche, si les stratégies dépendent des paramètres linguistiques et non de la langue maternelle, alors leurs stratégies seront propres aux stimuli.

## ANNEXE

Tableau 39 : Réponses d'identification au continuum fricatif de lieu d'articulation de l'expérience 1. Réponses « s » recueillies pour la transition appropriée pour [ʃ] voyelle a, pour les 16 sujets dyslexiques, les 16 contrôles d'âge chronologique (contrôle AC), les 16 contrôles de niveau de lecture (contrôles NL), et des 18 adultes de l'étude.

	Stimulus 1 3 Kz	Stimulus 2 3.3 KHz	Stimulus 3 3.6 KHz	Stimulus 4 3.9 KHz	Stimulus 5 4.2 KHz	Stimulus 6 4.5 KHz	Stimulus 7 4.8 KHz	Stimulus 8 5.1 KHz	Stimulus 9 5.4 KHz	Stimulus 10 5.7 KHz	Stimulus 11 6 KHz
dyslexique 1	1	1	3	3	4	2	4	4	5	5	5
dyslexique 2	2	2	5	3	3	2	4	3	1	2	3
dyslexique 3	1	0	1	0	2	2	5	4	5	5	5
dyslexique 4	1	0	0	0	0	1	3	5	5	3	5
dyslexique 5	1	2	2	4	3	2	4	4	4	5	3
dyslexique 6	0	1	2	0	1	2	5	5	5	5	5
dyslexique 7	0	0	1	2	0	0	5	4	4	4	4
dyslexique 8	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
dyslexique 9	1	1	3	0	0	1	3	5	4	5	5
dyslexique 10	1	1	2	1	1	1	4	2	3	4	2
dyslexique 11	0	1	1	1	0	2	5	5	5	3	4
dyslexique 12	1	0	0	1	1	1	2	3	4	3	4
dyslexique 13	0	1	0	0	1	1	3	5	5	5	5
dyslexique 14	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5
dyslexique 15	0	0	0	0	1	2	5	5	5	5	5
dyslexique 16	0	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5
contrôle AC 1	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 2	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5
contrôle AC 3	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
contrôle AC 4	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
contrôle AC 5	1	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5
contrôle AC 6	1	0	0	1	0	0	5	5	5	5	5
contrôle AC 7	2	1	0	0	0	0	5	3	5	5	4
contrôle AC 8	0	0	2	2	1	3	3	4	5	5	3
contrôle AC 9	0	1	0	0	0	0	3	5	5	5	4
contrôle AC 10	0	0	1	0	0	0	1	5	5	5	5
contrôle AC 11	1	0	0	1	0	1	2	2	4	5	5
contrôle AC 12	0	1	0	0	0	1	4	5	5	5	5
contrôle AC 13	0	0	0	1	0	2	4	5	5	4	5
contrôle AC 14	2	2	1	2	4	1	3	3	2	2	2
contrôle AC 15	0	0	0	1	1	3	5	5	5	5	4
contrôle AC 16	0	0	0	0	0	2	3	5	5	5	5
contrôle NL 1	1	0	1	0	0	1	0	4	5	3	5
contrôle NL 2	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
contrôle NL 3	2	0	1	1	0	2	5	5	5	4	4
contrôle NL 4	0	1	0	0	0	0	3	4	4	5	5
contrôle NL 5	3	1	1	2	2	2	5	4	5	4	5
contrôle NL 6	0	0	0	1	0	0	3	5	5	5	5
contrôle NL 7	2	0	1	2	3	0	2	4	5	5	2
contrôle NL 8	0	0	0	1	1	1	4	4	5	5	5
contrôle NL 9	0	0	1	0	2	1	4	5	5	5	4
contrôle NL 10	1	0	0	0	1	2	3	4	4	5	4
contrôle NL 11	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5

contrôle NL 12	0	0	0	0	0	5	4	5	5	5	5
contrôle NL 13	1	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5
contrôle NL 14	3	4	3	2	3	3	3	5	3	3	5
contrôle NL 15	0	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5
contrôle NL 16	0	0	0	0	1	4	3	4	4	5	2
adulte 1	0	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5
adulte 2	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
adulte 3	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
adulte 4	0	0	0	0	1	4	4	4	5	5	5
adulte 5	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
adulte 6	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
adulte 7	1	0	0	0	0	2	3	5	5	5	5
adulte 8	0	0	0	0	2	3	5	5	5	5	5
adulte 9	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5
adulte 10	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
adulte 11	0	1	0	0	0	2	4	5	5	5	5
adulte 12	0	0	0	0	0	1	2	5	5	5	5
adulte 13	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
adulte 14	0	0	0	0	2	1	5	5	4	5	5
adulte 15	0	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5
adulte 16	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
adulte 17	0	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5
adulte 18	0	0	0	0	1	3	3	5	5	5	5

Tableau 40 : Réponses d'identification au continuum fricatif de lieu d'articulation de l'expérience 1. Réponses « s » recueillies pour la transition appropriée pour [ʃ], voyelle u, pour les 16 sujets dyslexiques, les 16 contrôles d'âge chronologique (contrôle AC), les 16 contrôles de niveau de lecture (contrôles NL), et des 18 adultes de l'étude.

	Stimulus 1 3 Kz	Stimulus 2 3.3 KHz	Stimulus 3 3.6 KHz	Stimulus 4 3.9 KHz	Stimulus 5 4.2 KHz	Stimulus 6 4.5 KHz	Stimulus 7 4.8 KHz	Stimulus 8 5.1 KHz	Stimulus 9 5.4 KHz	Stimulus 10 5.7 KHz	Stimulus 11 6 KHz
dyslexique 1	2	1	3	1	4	4	5	5	5	5	5
dyslexique 2	3	2	3	2	5	5	5	5	5	4	5
dyslexique 3	0	1	1	0	2	2	4	5	4	5	5
dyslexique 4	2	5	2	4	3	3	2	1	0	2	1
dyslexique 5	3	2	3	2	3	2	1	1	2	4	1
dyslexique 6	2	2	3	0	1	3	4	4	4	4	5
dyslexique 7	0	2	3	0	2	4	5	5	5	5	4
dyslexique 8	1	0	2	1	0	4	5	5	4	4	5
dyslexique 9	1	0	1	2	1	5	3	5	4	4	3
dyslexique 10	4	0	1	2	2	4	5	4	1	5	2
dyslexique 11	1	0	1	0	1	2	4	4	4	5	2
dyslexique 12	1	2	1	2	2	2	2	3	3	4	4
dyslexique 13	0	0	0	0	1	1	4	5	5	4	5
dyslexique 14	0	0	1	1	2	5	4	4	5	5	4
dyslexique 15	0	0	0	0	1	5	4	4	5	5	5
dyslexique 16	0	2	3	1	1	3	4	4	5	5	5
contrôle AC 1	0	1	1	0	2	3	5	5	5	5	5
contrôle AC 2	0	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5
contrôle AC 3	0	0	0	0	0	2	4	5	5	5	5
contrôle AC 4	0	0	0	0	0	0	4	5	5	4	5
contrôle AC 5	0	0	0	0	2	4	5	5	4	5	5
contrôle AC 6	3	0	1	1	1	0	2	5	5	5	5
contrôle AC 7	3	0	1	1	0	1	4	3	5	4	3
contrôle AC 8	2	2	4	2	3	2	4	3	5	5	5
contrôle AC 9	0	0	0	1	1	3	5	5	5	5	5
contrôle AC 10	1	1	0	2	2	4	5	5	4	4	4
contrôle AC 11	0	0	3	2	2	2	4	3	3	3	3
contrôle AC 12	0	1	0	0	0	2	3	4	5	3	5
contrôle AC 13	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 14	5	3	4	5	1	2	5	5	5	1	2
contrôle AC 15	4	4	3	4	1	5	3	4	5	3	3
contrôle AC 16	1	0	0	1	4	5	5	5	4	5	5
contrôle NL 1	1	1	0	0	0	1	3	4	4	3	2
contrôle NL 2	0	0	0	0	0	2	3	5	5	5	5
contrôle NL 3	2	0	0	0	1	3	3	5	5	5	5
contrôle NL 4	0	0	0	0	0	3	4	4	5	5	4
contrôle NL 5	1	0	1	0	1	2	4	5	5	5	5
contrôle NL 6	0	1	0	0	0	2	3	5	4	4	4
contrôle NL 7	1	1	1	0	0	3	2	1	5	4	4
contrôle NL 8	0	0	1	1	1	4	5	5	5	5	5
contrôle NL 9	0	2	0	0	0	5	4	5	5	5	4
contrôle NL 10	2	0	3	0	1	1	2	1	2	4	4
contrôle NL 11	0	2	0	0	1	1	4	5	5	5	5

contrôle NL 12	0	1	0	2	1	3	3	5	5	5	5
contrôle NL 13	0	0	0	1	1	2	3	5	4	5	5
contrôle NL 14	4	3	1	5	1	5	2	3	3	5	3
contrôle NL 15	0	0	0	0	0	5	5	5	5	4	5
contrôle NL 16	1	4	0	1	0	1	4	4	4	3	3
adulte 1	0	1	1	1	4	5	5	5	5	5	5
adulte 2	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5	5
adulte 3	0	0	0	0	3	4	4	5	5	5	5
adulte 4	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5
adulte 5	0	1	0	0	3	5	5	5	5	5	5
adulte 6	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
adulte 7	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5
adulte 8	0	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5
adulte 9	0	0	0	0	0	4	5	4	5	5	5
adulte 10	1	2	1	4	5	5	5	5	5	5	5
adulte 11	0	0	1	0	1	1	3	5	5	5	5
adulte 12	0	1	0	0	1	3	5	5	5	5	5
adulte 13	0	0	0	1	2	4	5	4	5	5	4
adulte 14	0	0	0	0	0	4	4	5	5	5	5
adulte 15	0	0	0	0	0	3	3	5	5	5	5
adulte 16	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
adulte 17	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
adulte 18	0	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5

Tableau 41 : Réponses d'identification au continuum fricatif de lieu d'articulation de l'expérience 1. Réponses « s » recueillies pour la transition appropriée pour [s], voyelle a, pour les 16 sujets dyslexiques, les 16 contrôles d'âge chronologique (contrôle AC), les 16 contrôles de niveau de lecture (contrôles NL), et des 18 adultes de l'étude.

	Stimulus 1 3 KHz	Stimulus 2 3.3 KHz	Stimulus 3 3.6 KHz	Stimulus 4 3.9 KHz	Stimulus 5 4.2 KHz	Stimulus 6 4.5 KHz	Stimulus 7 4.8 KHz	Stimulus 8 5.1 KHz	Stimulus 9 5.4 KHz	Stimulus 10 5.7 KHz	Stimulus 11 6 KHz
dyslexique 1	1	1	0	0	1	5	5	5	5	5	5
dyslexique 2	1	0	2	1	1	5	5	4	3	4	5
dyslexique 3	0	1	0	1	1	3	5	4	4	5	5
dyslexique 4	0	0	0	0	0	4	4	5	4	3	4
dyslexique 5	3	2	3	2	1	2	3	2	3	4	2
dyslexique 6	0	0	0	0	0	5	5	5	4	4	5
dyslexique 7	0	2	2	2	3	2	4	4	3	2	3
dyslexique 8	1	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5
dyslexique 9	1	0	1	0	2	4	5	5	4	5	5
dyslexique 10	0	0	2	0	1	4	4	5	5	5	5
dyslexique 11	0	1	0	0	0	2	3	4	5	4	4
dyslexique 12	0	0	2	1	0	0	4	4	5	3	5
dyslexique 13	1	1	1	1	1	4	5	2	5	5	5
dyslexique 14	0	0	0	0	1	4	5	5	5	4	5
dyslexique 15	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5
dyslexique 16	0	0	0	0	2	2	5	5	5	5	5
contrôle AC 1	1	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
contrôle AC 2	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
contrôle AC 3	0	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5
contrôle AC 4	0	0	1	0	0	1	4	5	5	5	5
contrôle AC 5	0	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5
contrôle AC 6	0	0	2	0	0	0	5	4	4	5	5
contrôle AC 7	1	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5
contrôle AC 8	1	0	1	1	3	4	3	4	4	4	3
contrôle AC 9	0	0	1	0	0	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 10	1	1	0	0	0	2	5	4	4	5	5
contrôle AC 11	0	1	0	0	2	0	3	5	3	5	5
contrôle AC 12	0	0	2	1	3	3	5	4	5	4	5
contrôle AC 13	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 14	2	3	2	3	1	2	3	2	3	3	5
contrôle AC 15	2	1	2	2	2	3	3	2	4	3	4
contrôle AC 16	0	0	0	0	2	4	5	5	5	5	5
contrôle NL 1	3	1	0	2	2	1	5	5	5	5	5
contrôle NL 2	0	0	0	0	0	1	4	5	4	5	5
contrôle NL 3	4	0	1	1	2	5	2	3	4	4	4
contrôle NL 4	0	0	0	0	0	2	5	5	5	4	5
contrôle NL 5	0	0	1	0	0	3	4	5	5	5	5
contrôle NL 6	0	0	0	0	1	3	5	5	5	4	5
contrôle NL 7	1	0	1	0	0	1	2	4	3	4	4
contrôle NL 8	0	0	1	0	3	5	5	5	5	5	5
contrôle NL 9	1	2	1	1	0	5	4	5	5	4	5
contrôle NL 10	1	1	0	0	1	1	4	5	5	5	5

contrôle NL 11	0	1	1	0	1	2	4	4	5	5	5
contrôle NL 12	1	1	0	2	0	1	4	5	5	5	5
contrôle NL 13	0	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5
contrôle NL 14	0	2	3	2	1	0	4	2	2	3	3
contrôle NL 15	0	0	0	0	0	2	3	5	5	5	5
contrôle NL 16	0	3	0	0	1	3	3	5	4	4	3
adulte 1	0	0	0	0	1	0	3	5	5	5	5
adulte 2	1	1	2	1	3	5	5	4	5	5	5
adulte 3	0	0	0	0	1	2	5	5	5	5	5
adulte 4	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5	5
adulte 5	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
adulte 6	0	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5
adulte 7	0	0	0	0	0	1	4	4	5	5	5
adulte 8	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
adulte 9	1	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
adulte 10	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5	5
adulte 11	0	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5
adulte 12	0	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5
adulte 13	0	0	0	1	1	5	4	5	5	5	5
adulte 14	0	0	0	0	4	4	5	5	5	5	5
adulte 15	1	1	0	1	1	3	5	5	5	5	5
adulte 16	0	0	0	0	1	4	5	5	4	5	5
adulte 17	0	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5
adulte 18	2	0	1	1	0	2	4	4	4	5	5

Tableau 42 : Réponses d'identification au continuum fricatif de lieu d'articulation de l'expérience 1. Réponses « s » recueillies pour la transition appropriée pour [s], voyelle u, pour les 16 sujets dyslexiques, les 16 contrôles d'âge chronologique (contrôle AC), les 16 contrôles de niveau de lecture (contrôles NL), et des 18 adultes de l'étude.

	Stimulus 1 3 Hz	Stimulus 2 3.3 KHz	Stimulus 3 3.6 KHz	Stimulus 4 3.9 KHz	Stimulus 5 4.2 KHz	Stimulus 6 4.5 KHz	Stimulus 7 4.8 KHz	Stimulus 8 5.1 KHz	Stimulus 9 5.4 KHz	Stimulus 10 5.7 KHz	Stimulus 11 6 KHz
dyslexique 1	1	3	3	2	5	4	4	4	5	4	5
dyslexique 2	1	2	3	3	3	5	5	5	5	5	5
dyslexique 3	0	1	1	3	3	4	5	4	5	4	5
dyslexique 4	4	1	0	1	3	3	3	2	3	5	3
dyslexique 5	2	3	2	3	3	1	4	2	5	1	3
dyslexique 6	0	0	3	1	1	2	4	4	5	5	5
dyslexique 7	0	1	1	3	3	3	5	5	4	4	5
dyslexique 8	0	0	0	0	0	2	2	3	5	5	5
dyslexique 9	1	1	1	0	0	5	4	4	5	5	4
dyslexique 10	0	2	2	2	2	3	5	5	4	4	4
dyslexique 11	0	0	1	0	1	1	2	4	5	5	4
dyslexique 12	2	2	1	0	1	3	5	3	5	2	3
dyslexique 13	0	0	0	1	2	3	4	4	5	4	5
dyslexique 14	0	0	0	0	2	4	5	5	5	5	5
dyslexique 15	0	0	0	1	3	4	5	5	5	5	5
dyslexique 16	0	1	1	0	4	4	4	5	5	5	5
contrôle AC 1	0	1	0	1	1	5	5	5	3	5	5
contrôle AC 2	0	0	0	1	0	0	5	5	5	5	5
contrôle AC 3	0	0	0	0	0	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 4	0	0	0	0	2	0	3	5	5	5	5
contrôle AC 5	0	0	1	0	1	3	5	5	5	5	5
contrôle AC 6	1	0	0	0	1	1	4	5	5	5	5
contrôle AC 7	1	1	3	0	5	2	4	3	3	3	4
contrôle AC 8	0	1	0	1	0	2	4	3	3	5	5
contrôle AC 9	0	0	0	0	2	5	4	4	5	5	5
contrôle AC 10	0	0	2	3	4	5	5	5	5	5	5
contrôle AC 11	0	0	0	0	2	2	4	5	4	5	5
contrôle AC 12	0	1	0	0	3	5	4	5	5	5	5
contrôle AC 13	0	0	1	0	3	4	5	5	5	5	5
contrôle AC 14	4	2	4	5	4	3	2	3	5	5	4
contrôle AC 15	3	2	1	0	2	4	2	2	4	5	5
contrôle AC 16	0	0	0	1	5	5	4	5	5	5	5
contrôle NL 1	1	2	3	1	1	4	5	5	4	5	5
contrôle NL 2	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
contrôle NL 3	1	2	3	2	4	4	4	2	4	4	2
contrôle NL 4	0	1	0	2	3	3	5	5	5	5	5
contrôle NL 5	1	2	2	1	2	1	4	5	5	4	4
contrôle NL 6	0	0	1	0	5	5	5	5	5	5	4
contrôle NL 7	0	0	0	0	1	2	4	2	3	5	5
contrôle NL 8	0	2	2	1	4	3	5	5	5	5	3
contrôle NL 9	2	1	1	0	3	4	4	5	5	5	5
contrôle NL 10	0	0	2	0	2	3	5	4	4	5	5

contrôle NL 11	2	0	2	0	0	3	5	5	4	5	5
contrôle NL 12	1	0	0	0	1	5	5	5	5	5	5
contrôle NL 13	0	0	0	0	1	2	4	5	5	5	5
contrôle NL 14	4	3	4	3	1	5	2	3	4	3	3
contrôle NL 15	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
contrôle NL 16	1	0	1	0	3	2	5	4	4	5	5
adulte 1	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5	5
adulte 2	0	3	2	3	4	5	5	5	5	5	5
adulte 3	0	0	0	0	2	4	5	5	5	5	5
adulte 4	0	0	0	0	1	4	5	4	5	5	5
adulte 5	0	0	0	0	3	4	5	5	5	5	5
adulte 6	0	0	1	1	3	4	5	5	5	5	5
adulte 7	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5	5
adulte 8	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5	5
adulte 9	1	1	0	0	3	5	5	5	5	5	5
adulte 10	0	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5
adulte 11	0	2	1	1	1	3	5	3	5	4	4
adulte 12	0	0	0	0	1	3	5	5	5	5	5
adulte 13	0	1	1	1	3	5	4	4	4	5	5
adulte 14	0	1	1	0	3	4	5	5	5	5	5
adulte 15	0	0	1	1	3	4	5	5	5	5	5
adulte 16	0	0	0	1	2	4	5	5	5	5	5
adulte 17	0	0	0	0	3	5	5	5	5	5	5
adulte 18	0	1	0	2	2	3	3	5	5	5	5

Tableau 43 : Réponses d'identification au continuum de transition [ai] de l'expérience 2. Réponses « 2 sons » des 33 sujets de l'étude longitudinale en dernière année d'école maternelle (GSM), en première année de primaire (CP) et en deuxième année de primaire.

	transition 50 ms	transition 100 ms	transition 150 ms	transition 200 ms	transition 250 ms	transition 300 ms
GSM 1	10	10	10	10	10	10
GSM 2	6	7	5	5	2	5
GSM 3	9	10	9	9	10	10
GSM 4	10	10	10	9	10	10
GSM 5	5	4	6	3	5	6
GSM 6	7	6	7	5	4	5
GSM 7	7	7	6	7	7	8
GSM 8	9	5	3	1	1	0
GSM 9	0	1	0	0	0	0
GSM 10	10	10	10	10	10	10
GSM 11	4	7	6	4	5	6
GSM 12	10	9	10	10	10	10
GSM 13	7	5	5	2	0	2
GSM 14	5	8	7	6	1	3
GSM 15	5	9	10	10	10	9
GSM 16	5	5	5	4	8	6
GSM 17	9	8	6	7	8	6
GSM 18	6	7	4	3	6	4
GSM 19	5	5	6	9	6	8
GSM 20	7	9	4	3	2	4
GSM 21	10	10	10	10	10	10
GSM 22	10	10	10	10	10	10
GSM 23	10	10	10	10	10	10
GSM 24	8	9	10	8	9	10
GSM 25	9	10	10	9	8	10
GSM 26	10	10	10	10	10	10
GSM 27	3	2	2	7	3	4
GSM 28	0	0	0	0	0	0

GSM 29	5	5	6	5	6	5	7	5
GSM 30	9	9	8	9	8	9	9	7
GSM 31	10	10	10	10	10	10	10	10
GSM 32	10	10	10	10	10	10	10	10
GSM 33	10	10	10	10	10	10	10	10
CP 1	10	9	6	9	6	2	3	1
CP 2	7	9	8	9	8	9	10	7
CP 3	10	10	10	10	10	10	10	10
CP 4	10	10	9	10	9	10	10	9
CP 5	10	9	6	9	6	3	2	1
CP 6	10	9	9	9	9	6	5	2
CP 7	10	9	9	9	9	9	7	10
CP 8	7	3	0	3	0	1	1	2
CP 9	6	8	8	8	8	9	7	9
CP 10	9	8	8	8	8	9	8	8
CP 11	5	8	8	8	8	4	1	3
CP 12	3	5	2	5	2	1	0	0
CP 13	9	8	6	8	6	2	0	0
CP 14	9	9	7	9	7	4	3	3
CP 15	10	10	10	10	10	5	2	1
CP 16	2	9	5	9	5	9	7	6
CP 17	10	8	7	8	7	4	2	1
CP 18	4	6	7	6	7	7	4	3
CP 19	9	9	9	9	9	7	0	1
CP 20	10	10	10	10	10	10	10	10
CP 21	8	8	2	8	2	4	1	0
CP 22	8	9	6	9	6	6	4	3
CP 23	5	4	6	4	6	4	6	5
CP 24	3	3	4	3	4	5	4	4
CP 25	4	5	8	5	8	4	5	1
CP 26	10	10	7	10	7	5	2	1
CP 27	9	4	5	4	5	1	2	2
CP 28	8	9	6	9	6	2	0	0

CP 29	9	9	7	4	2	0
CP 30	9	8	8	5	4	4
CP 31	10	9	7	7	7	6
CP 32	9	8	7	3	1	4
CP 33	10	9	7	8	7	8
CE1 1	10	8	7	1	0	0
CE1 2	5	7	7	3	7	4
CE1 3	9	10	8	7	6	6
CE1 4	7	9	3	4	3	1
CE1 5	9	9	7	0	0	3
CE1 6	8	6	5	8	3	1
CE1 7	9	10	8	4	4	4
CE1 8	5	9	5	5	1	3
CE1 9	7	7	2	2	5	2
CE1 10	10	10	9	6	9	8
CE1 11	9	7	8	3	7	2
CE1 12	9	9	4	0	0	0
CE1 13	10	10	9	4	2	0
CE1 14	10	10	7	0	1	1
CE1 15	10	10	8	4	0	0
CE1 16	10	9	6	5	3	3
CE1 17	10	10	8	6	0	1
CE1 18	8	7	5	7	7	3
CE1 19	7	7	8	1	1	1
CE1 20	8	9	4	3	7	6
CE1 21	10	10	10	10	10	10
CE1 22	9	8	8	2	3	0
CE1 23	9	8	7	4	4	3
CE1 24	6	7	7	4	7	5
CE1 25	5	5	5	3	6	5
CE1 26	10	10	9	7	2	0
CE1 27	9	6	5	3	0	0
CE1 28	10	9	9	9	4	2

CE1 29		9	8		8		4	1	1
CE1 30		10	7		4		5	2	2
CE1 31		8	8		2		5	4	5
CE1 32		10	9		3		4	1	1
CE1 33		10	10		8		6	1	1

Tableau 44 : Réponses d'identification au continuum de transition [ai] de l'expérience 1. Réponses « 2 sons » des 26 sujets de CMI.

	transition 50 ms	transition 100 ms	transition 150 ms	transition 200 ms	transition 250 ms	transition 300 ms
CM1 1	10	9	6	3	3	2
CM1 2	9	10	2	3	0	0
CM1 3	10	9	7	2	1	1
CM1 4	8	6	9	5	3	4
CM1 5	8	8	10	3	3	1
CM1 6	9	9	8	2	1	0
CM1 7	10	9	5	0	0	0
CM1 8	9	8	5	4	3	2
CM1 9	9	10	5	0	0	0
CM1 10	10	8	8	8	1	2
CM1 11	10	10	8	2	0	0
CM1 12	10	9	4	0	3	1
CM1 13	10	8	6	1	0	1
CM1 14	8	7	5	7	1	2
CM1 15	10	7	7	5	4	1
CM1 16	10	10	9	3	0	0
CM1 17	9	10	8	8	3	4
CM1 18	10	10	10	10	10	10
CM1 19	10	6	5	2	5	1
CM1 20	9	10	9	6	6	3
CM1 21	10	10	7	1	0	0
CM1 22	10	8	5	4	1	2
CM1 23	10	7	2	1	1	0
CM1 24	10	10	10	2	1	0
CM1 25	3	8	3	3	2	6
CM1 26	10	10	7	6	0	0

Tableau 45 : Scores de discrimination au continuum [ba]-[da] de l'expérience 1 chez les 33 sujets de l'étude longitudinale en dernière année d'école maternelle (GSM), en première année de primaire (CP) et en deuxième année de primaire.

	SS						SP						PP					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
GSM 1	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 2	56%	44%	44%	56%	50%		50%	44%	44%	38%	69%		50%	56%	69%	44%	25%	
GSM 3	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	56%	63%	50%	
GSM 4	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 5	50%	38%	38%	63%	56%		50%	19%	63%	81%	50%		38%	63%	38%	38%	63%	
GSM 6	44%	44%	50%	63%	56%		63%	44%	38%	44%	50%		50%	50%	94%	50%	44%	
GSM 7	50%	50%	50%	50%	50%		63%	44%	50%	56%	50%		63%	56%	44%	44%	56%	
GSM 8	50%	50%	50%	50%	50%		44%	38%	44%	56%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 9	44%	50%	31%	44%	56%		44%	44%	56%	63%	63%		56%	50%	69%	56%	50%	
GSM 10	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 11	50%	44%	44%	56%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		63%	63%	50%	63%	50%	
GSM 12	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 13	56%	63%	50%	63%	44%		50%	56%	81%	56%	50%		50%	44%	69%	50%	50%	
GSM 14	50%	50%	56%	50%	50%		38%	38%	56%	50%	50%		50%	56%	81%	56%	38%	
GSM 15	38%	44%	38%	56%	56%		50%	50%	50%	50%	50%		44%	50%	63%	50%	44%	
GSM 16	50%	63%	38%	63%	38%		63%	63%	44%	44%	38%		38%	44%	56%	44%	38%	
GSM 17	50%	50%	50%	50%	50%		38%	56%	50%	44%	50%		63%	31%	31%	75%	81%	
GSM 18	50%	56%	56%	63%	44%		31%	50%	75%	19%	31%		50%	56%	38%	44%	25%	
GSM 19	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	31%	50%		50%	63%	75%	56%	44%	
GSM 20	63%	31%	75%	56%	56%		50%	56%	50%	63%	63%		56%	56%	63%	38%	44%	
GSM 21	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	56%	50%	50%	
GSM 22	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		63%	56%	63%	63%	56%	
GSM 23	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	56%	56%	56%	50%	
GSM 24	44%	44%	63%	56%	50%		56%	50%	44%	50%	56%		50%	56%	75%	44%	50%	
GSM 25	44%	63%	50%	69%	38%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
GSM 26	63%	56%	44%	63%	81%		50%	44%	25%	19%	25%		38%	38%	63%	69%	50%	
GSM 27	38%	44%	56%	56%	75%		44%	44%	56%	38%	44%		50%	38%	50%	56%	75%	







Tableau 46 : Scores de discrimination au continuum [ba]-[da] de l'expérience 1 chez les 26 sujets de CMI.

	SS						SP						PP					
	S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6		S1-S2	S2-S3	S3-S4	S4-S5	S5-S6	
CM1 1	50%	50%	56%	69%	50%		44%	56%	81%	56%	44%		50%	50%	88%	56%	44%	
CM1 2	44%	56%	63%	69%	81%		88%	81%	94%	94%	94%		44%	50%	88%	56%	94%	
CM1 3	50%	50%	50%	50%	44%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	69%	69%	50%	
CM1 4	50%	50%	44%	50%	38%		44%	31%	44%	63%	38%		56%	50%	63%	25%	63%	
CM1 5	63%	69%	56%	31%	50%		56%	38%	56%	38%	69%		56%	50%	94%	63%	50%	
CM1 6	31%	44%	44%	69%	56%		56%	63%	69%	50%	63%		38%	56%	50%	56%	69%	
CM1 7	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	56%	50%	50%		50%	50%	63%	44%	50%	
CM1 8	63%	63%	63%	69%	50%		56%	56%	50%	88%	50%		38%	44%	81%	56%	69%	
CM1 9	50%	50%	25%	50%	44%		50%	50%	63%	69%	50%		50%	50%	75%	50%	50%	
CM1 10	25%	63%	50%	56%	56%		31%	50%	56%	81%	50%		44%	50%	63%	63%	50%	
CM1 11	63%	50%	56%	63%	50%		44%	63%	38%	69%	69%		38%	63%	81%	50%	69%	
CM1 12	25%	44%	81%	69%	50%		50%	56%	81%	50%	56%		50%	50%	56%	50%	50%	
CM1 13	38%	56%	56%	81%	31%		56%	50%	44%	44%	50%		31%	50%	63%	50%	50%	
CM1 14	50%	56%	44%	50%	50%		63%	63%	63%	56%	56%		69%	69%	81%	44%	50%	
CM1 15	25%	38%	50%	38%	31%		44%	50%	50%	63%	56%		25%	25%	44%	75%	69%	
CM1 16	50%	31%	50%	50%	50%		38%	31%	44%	56%	63%		50%	44%	75%	50%	63%	
CM1 17	63%	56%	56%	50%	50%		44%	38%	50%	56%	56%		38%	38%	56%	56%	50%	
CM1 18	50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%		50%	50%	50%	50%	50%	
CM1 19	44%	19%	50%	75%	50%		38%	44%	56%	38%	38%		50%	50%	69%	56%	56%	
CM1 20	63%	44%	81%	50%	44%		50%	69%	75%	44%	69%		50%	50%	94%	44%	50%	
CM1 21	50%	50%	38%	50%	63%		44%	56%	44%	56%	56%		50%	56%	75%	56%	50%	
CM1 22	56%	31%	50%	63%	69%		50%	50%	56%	50%	50%		50%	56%	175%	69%	63%	
CM1 23	50%	50%	50%	75%	44%		63%	56%	56%	44%	56%		50%	50%	94%	50%	50%	
CM1 24	44%	50%	38%	56%	56%		56%	63%	69%	63%	56%		50%	38%	81%	50%	44%	
CM1 25	50%	50%	50%	56%	44%		44%	38%	50%	44%	50%		44%	50%	63%	50%	38%	
CM1 26	44%	56%	75%	69%	69%		50%	38%	69%	63%	38%		56%	44%	75%	56%	50%	

Tableau 47 : Scores de discrimination au continuum [ba]-[da] de l'expérience 1 chez les 26 sujets de CMI.

	groupe de lecture	âge chronologique (mois)	QI non verbal	QI verbal	mémoire phonologique	segmentation syllabique	segmentation phonémique (CVC)	segmentation phonémique (CCV)	frontière phonémique [ba]-[da]	frontière phonémique [ai]	âge de lecture (mois)
CM1 1	bon L	125	54	150	5	9	12	11	0,3125	-0,0187	136
CM1 2	bon L	121	55	143	4	10	11	10	0,0469	-0,0326	138
CM1 3	bon L	118	56	148	5	10	11	9	0,0000	-0,0281	128
CM1 4	bon L	114	55	139	6	9	12	11	-0,0313	-0,0083	142
CM1 5	bon L	121	56	129	6	9	10	10	0,0625	-0,0167	122
CM1 6	bon L	119	53	134	5	10	12	12	0,1094	-0,0294	142
CM1 7	bon L	124	56	128	5	9	11	11	0,0625	-0,0616	124
CM1 8	bon L	115	47	134	3	10	11	11	-0,1250	-0,0139	130
CM1 9	bon L	122	58	141	4	8	11	9	0,0781	-0,0485	122
CM1 10	mvais L	118	53	133	5	8	12	7	0,0313	-0,0206	110
CM1 11	mvais L	116	49	134	3	9	11	8	-0,2031	-0,0630	99
CM1 12	mvais L	116	51	117	5	10	10	9	0,2813	-0,0225	92
CM1 13	mvais L	124	57	139	3	8	12	11	-0,0625	-0,0299	101
CM1 14	mvais L	124	49	125	5	10	12	12	0,0781	-0,0120	99
CM1 15	mvais L	117	53	142	3	7	11	7	-0,0313	-0,0164	95
CM1 16	mvais L	117	55	131	6	9	12	6	-0,0313	-0,0683	101
CM1 17	mvais L	114	57	135	3	9	12	11	0,0156	-0,0157	104
CM1 18	mvais L	124	50	91	4	9	12	11	0,0000	0,0000	104
CM1 19	mvais L	125	55	127	4	8	9	4	0,1719	-0,0139	81
CM1 20	mvais L	125	58	139	5	10	10	8	0,1719	-0,0160	92
CM1 21	mvais L	123	50	139	3	10	11	10	-0,0938	-0,0683	97
CM1 22	mvais L	116	49	113	5	10	12	11	0,0625	-0,0189	112
CM1 23	mvais L	114	50	127	3	10	12	10	-0,0156	-0,0313	102
CM1 24	mvais L	120	50	129	4	10	10	9	0,0938	-0,0640	146
CM1 25	mvais L	119	53	105	3	8	7	8	0,0625	-0,0007	95

<b>CM1 26</b>	mvais L	118	50	126	5	8	12	11	0,2188	-0,0422	102
---------------	---------	-----	----	-----	---	---	----	----	--------	---------	-----

Tableau 48 : Scores bruts et frontière phonémique pour les épreuves de l'expérience 1 chez les 33 sujets de l'étude longitudinale en dernière année d'école maternelle (GSM), en première année de primaire (CP) et en deuxième année de primaire.

	âge chronologique (mois)	Qi non verbal	Qi verbal	mémoire phonologique	segmentation syllabique	segmentation phonémique (CVC)	segmentation phonémique (CCV)	frontière phonémique [ba]-[da]	frontière phonémique [ai]	âge de lecture (mois)
GSM 1	69	32	50	4	5	7	7	0,0000	0	
GSM 2	68	17	37	4	0	0	0	0,2500	2	
GSM 3	77	15	38	4	1	1	1	0,0313	0	
GSM 4	74	21	32	4	0	0	2	0,0000	0	
GSM 5	66	16	43	2	0	1	0	-0,1250	0	
GSM 6	73	20	42	4	0	0	1	0,4531	2	
GSM 7	69	12	38	3	2	1	2	-0,1094	-1	
GSM 8	67	21	44	3	0	7	5	0,0000	5	
GSM 9	67	17	50	4	0	7	0	0,1563	0	
GSM 10	68	14	34	4	0	0	0	0,0000	0	
GSM 11	74	22	37	3	0	0	2	-0,0938	1	
GSM 12	67	30	47	4	8	11	9	0,0000	0	
GSM 13	74	21	50	5	0	10	4	0,2031	4	
GSM 14	70	22	43	4	1	0	3	0,3125	3	
GSM 15	75	18	44	4	0	7	0	0,1563	-2	
GSM 16	70	19	36	2	0	0	2	0,1563	-1	
GSM 17	72	27	51	4	5	10	4	-0,3125	1	
GSM 18	72	18	36	2	0	1	2	-0,0625	1	
GSM 19	71	22	50	4	0	0	0	0,2188	-2	
GSM 20	73	23	48	2	0	8	3	0,1406	4	
GSM 21	67	22	37	5	0	12	7	0,0625	0	
GSM 22	69	21	35	4	2	0	0	0,0313	0	
GSM 23	75	25	38	4	0	3	7	0,0313	0	
GSM 24	73	20	33	3	0	0	0	0,2500	0	

GSM 25	69	19	35	2	1	0	4	0,0000	1	
GSM 26	73	16	42	6	0	0	2	0,1406	0	
GSM 27	75	18	42	5	0	5	2	-0,0469	-2	
GSM 28	73	25	45	2	0	0	0	0,0000	0	
GSM 29	77	25	46	3	2	0	1	0,2031	0	
GSM 30	73	22	36	3	0	0	3	-0,0625	0	
GSM 31	74	18	37	2	0	0	0	0,0000	0	
GSM 32	73	21	41	3	0	0	4	-0,1094	0	
GSM 33	71	16	40	6	0	0	2	0,0000	0	
CP 1	81	33	52	6	9	12	9	0,0313	6	113
CP 2	80	18	43	5	9	7	8	0,1250	-1	78
CP 3	89	15	36	6	4	12	9	0,0000	0	80
CP 4	86	24	44	3	1	1	3	0,2344	0	74
CP 5	78	29	46	5	10	11	6	0,3125	6	95
CP 6	85	20	45	4	8	11	3	0,1250	5	87
CP 7	81	18	41	3	0	12	6	0,0156	1	92
CP 8	79	21	40	3	9	5	6	0,1719	2	78
CP 9	79	29	55	5	9	12	9	0,0625	-1	83
CP 10	80	17	48	4	6	4	4	-0,0313	0	79
CP 11	86	29	39	4	7	0	4	0,0781	4	78
CP 12	79	33	59	5	6	12	10	0,3281	3	102
CP 13	86	25	53	3	9	12	10	0,2969	7	89
CP 14	82	26	46	4	10	12	10	0,1719	5	109
CP 15	87	28	46	5	8	12	11	0,2656	7	84
CP 16	82	31	46	3	0	9	3	0,0156	-2	79
CP 17	84	33	53	5	5	12	5	-0,0313	6	88
CP 18	84	24	42	3	2	1	2	0,0938	1	78
CP 19	83	28	55	3	9	7	10	0,0000	6	78
CP 20	85	25	48	3	7	7	8	-0,0156	0	92
CP 21	79	28	54	4	6	12	12	0,4375	4	73
CP 22	81	32	37	3	0	11	7	0,2344	3	86
CP 23	87	31	50	3	1	9	9	0,0000	0	82
CP 24	85	17	46	4	4	0	0	0,4219	-1	78

CP 25	81	21	41	3	2	0	0	0,0156	2	79
CP 26	85	21	52	5	9	12	11	0,2031	6	86
CP 27	87	21	49	3	7	11	10	-0,1875	4	83
CP 28	85	32	45	4	6	6	11	0,2813	7	79
CP 29	89	28	54	4	7	8	10	0,0000	6	79
CP 30	85	29	36	3	8	12	9	0,1875	4	85
CP 31	86	15	37	4	0	9	8	0,0781	2	81
CP 32	85	33	53	4	7	11	5	0,0781	5	86
CP 33	83	31	48	5	9	12	11	0,0000	1	84
CE1 1	93	33	57	5	9	12	11	0,1094	8	124
CE1 2	92	15	54	3	6	11	2	0,3906	2	87
CE1 3	101	21	43	5	10	12	9	0,4375	3	86
CE1 4	98	25	50	4	8	12	2	0,0625	4	85
CE1 5	90	34	53	5	7	12	10	0,4219	7	130
CE1 6	97	23	49	4	6	11	6	0,3125	2	95
CE1 7	93	24	46	4	8	9	8	0,0469	5	125
CE1 8	91	17	49	4	7	11	4	0,1094	3	88
CE1 9	91	26	57	5	10	12	11	0,2344	2	91
CE1 10	92	17		4	0	12	6	0,0469	2	94
CE1 11	98	30	46	4	6	5	2	0,2188	4	79
CE1 12	91	33	55	5	10	12	11	0,3594	7	124
CE1 13	98	23	56	6	8	11	1	0,2188	8	95
CE1 14	94	34		5	9	12	10	0,3594	8	113
CE1 15	99	31	48	5	10	11	8	0,2656	8	99
CE1 16	94	26	51	5	10	10	7	0,3594	5	90
CE1 17	96	33	54	5	7	12	8	-0,0781	7	95
CE1 18	96	23	45	4	3	3	4	-0,1406	1	78
CE1 19	95	35	50	5	10	12	10	-0,1875	6	95
CE1 20	97	29	46	4	7	12	6	0,1406	2	129
CE1 21	91	32	53	5	8	12	10	0,0000	0	97
CE1 22	93	33	44	4	10	12	7	0,1406	7	95
CE1 23	99	32	49	4	9	11	7	0,1406	4	92
CE1 24	97	13	41	3	1	0	1	0,3750	1	82

<b>CE1 25</b>		93	23	31	4	3	9	2	0,0625	0	85
<b>CE1 26</b>		97	23	53	6	10	12	12	0,4531	7	93
<b>CE1 27</b>		99	17	51	5	9	7	8	0,2813	6	98
<b>CE1 28</b>		97	26	46	4	10	11	12	0,4375	4	98
<b>CE1 29</b>		101	30	51	4	10	10	8	-0,0938	6	82
<b>CE1 30</b>		97	29	46	4	8	8	12	0,3438	4	113
<b>CE1 31</b>		98	16	44	4	2	10	7	0,1875	1	91
<b>CE1 32</b>		97	31	56	4	10	11	10	0,0000	5	97
<b>CE1 33</b>		95	29		5	10	10	7	-0,2500	7	98

Figure 35 : Performances des 33 sujets en dernière année de maternelle (GSM session 1), pour les épreuves prises 2 à 2 significativement corrélées selon le coefficient  $r$  de Pearson. Les outliers rejetés dans l'analyse finale sont entourés.

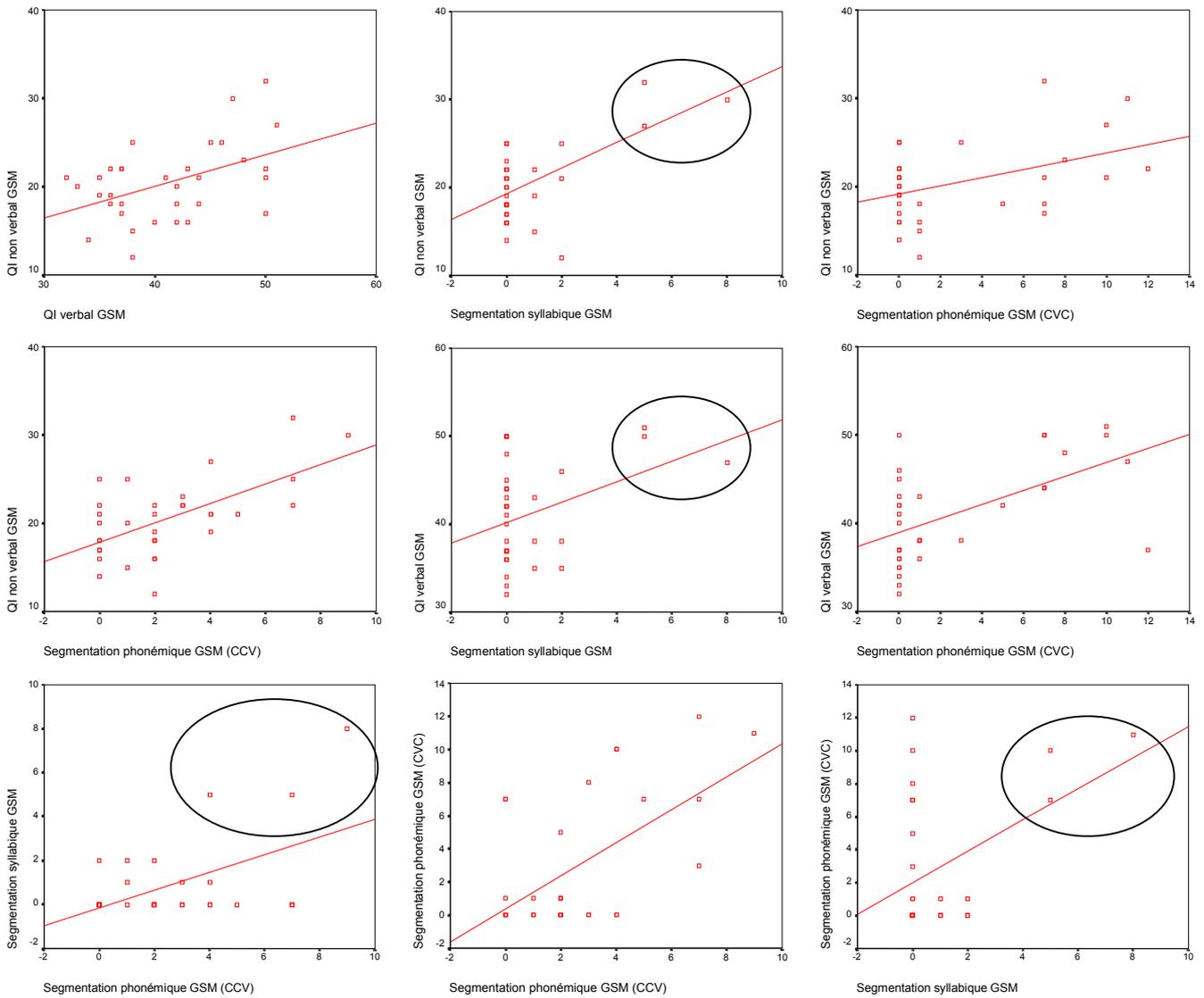


Figure 36 : Performances des 33 sujets en première année de primaire (CP session 2), pour les épreuves prises 2 à 2 significativement corrélées selon le coefficient  $r$  de Pearson. Les outliers rejetés dans l'analyse finale sont entourés.

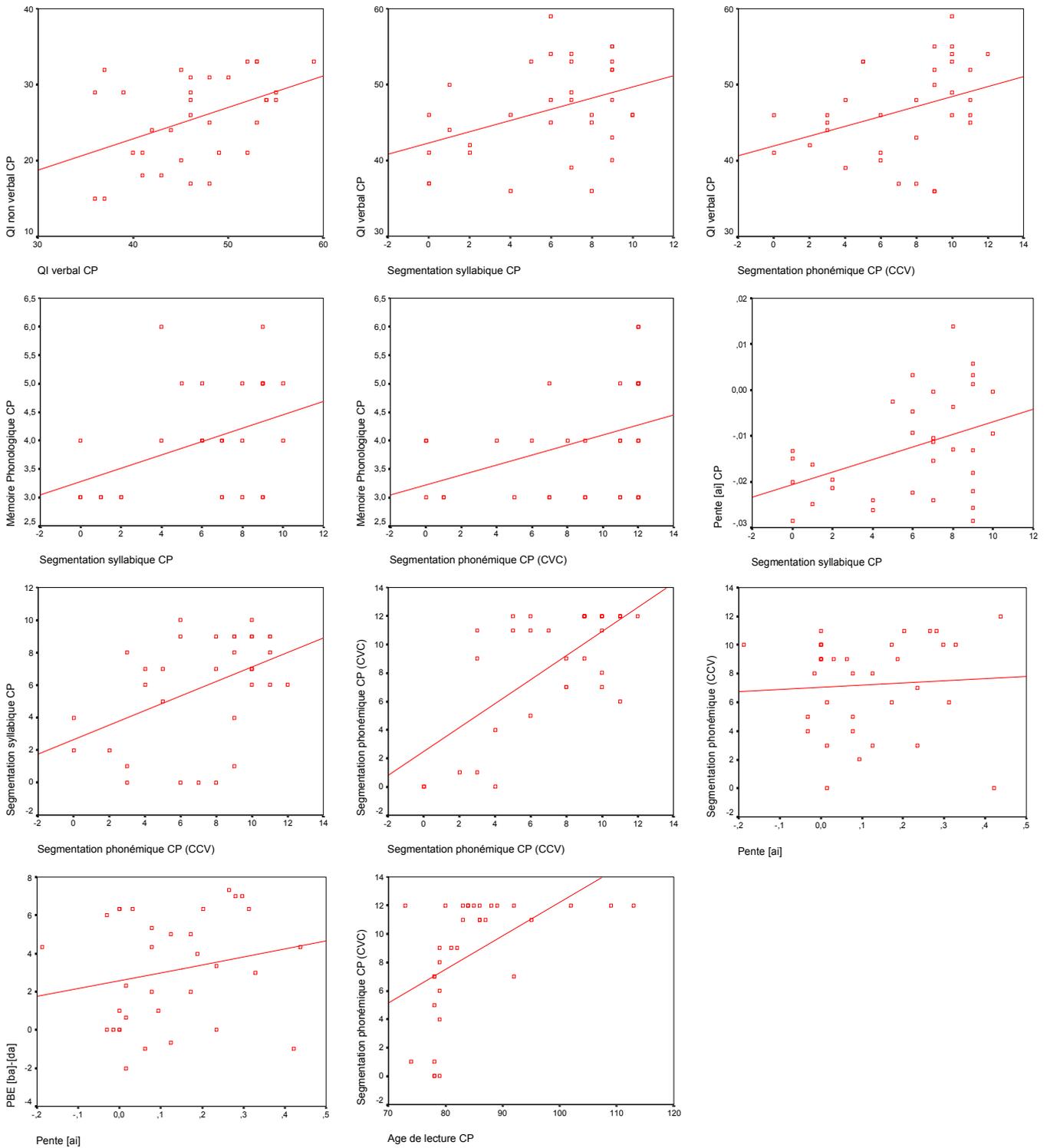
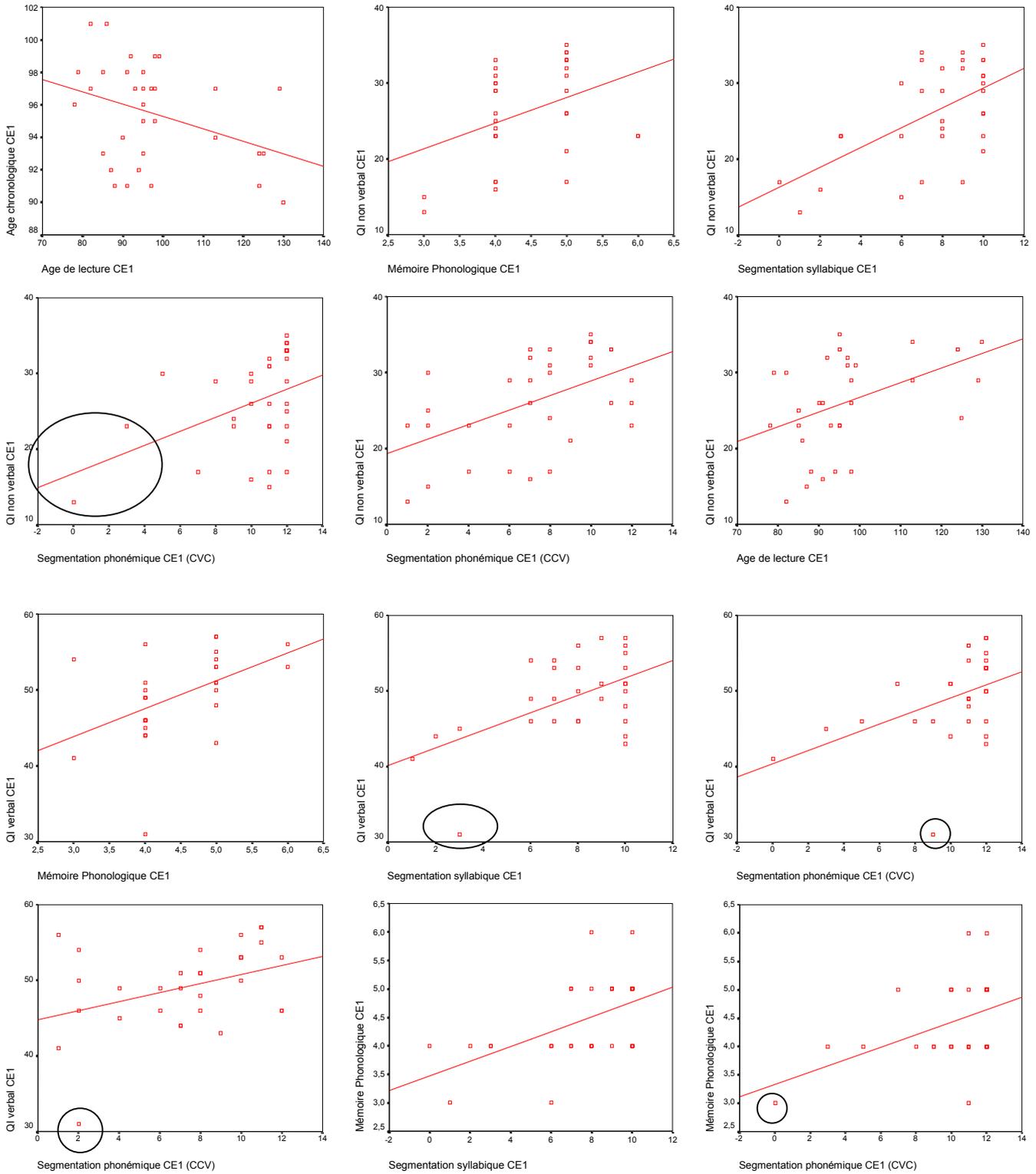




Figure 37 : Performances des 33 sujets en deuxième année de primaire (CE1 session 3), pour les épreuves prises 2 à 2 significativement corrélées selon le coefficient  $r$  de Pearson. Les outliers rejetés dans l'analyse finale sont entourés.



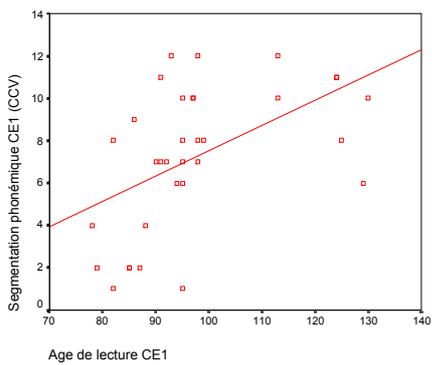
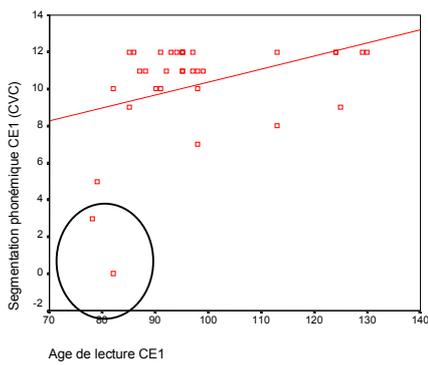
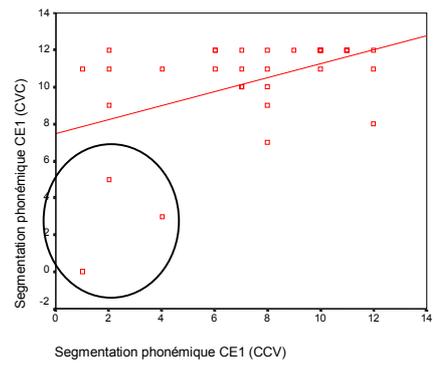
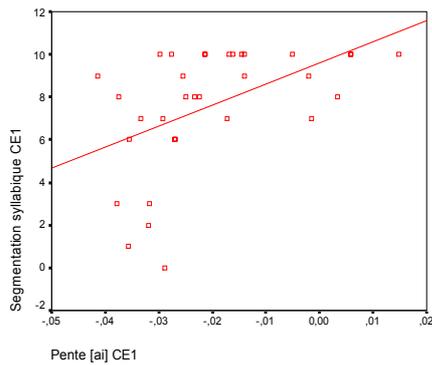
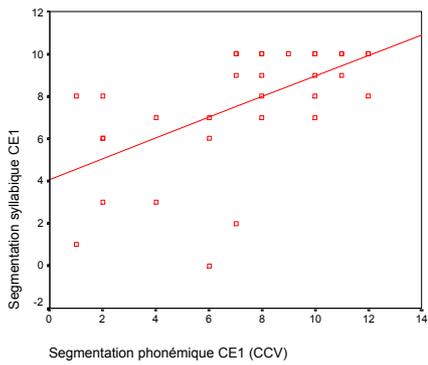
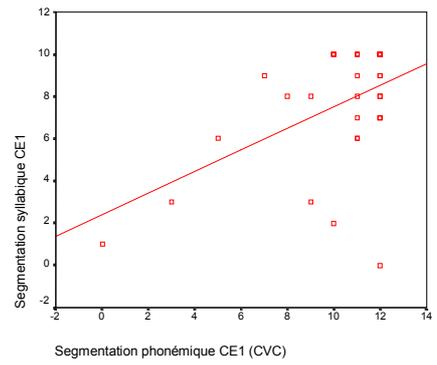
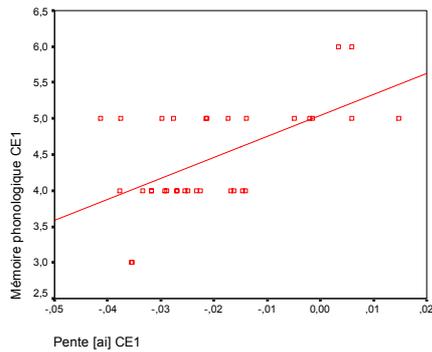
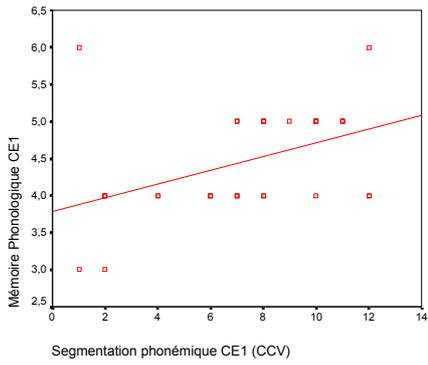


Figure 38 : Performances des 33 sujets en grande session de maternelle (S1), pour les épreuves significativement corrélées à l'âge de lecture en première et deuxième année de primaire (S2 et S3) selon le coefficient  $r$  de Pearson. Les outliers rejetés dans l'analyse finale sont entourés.

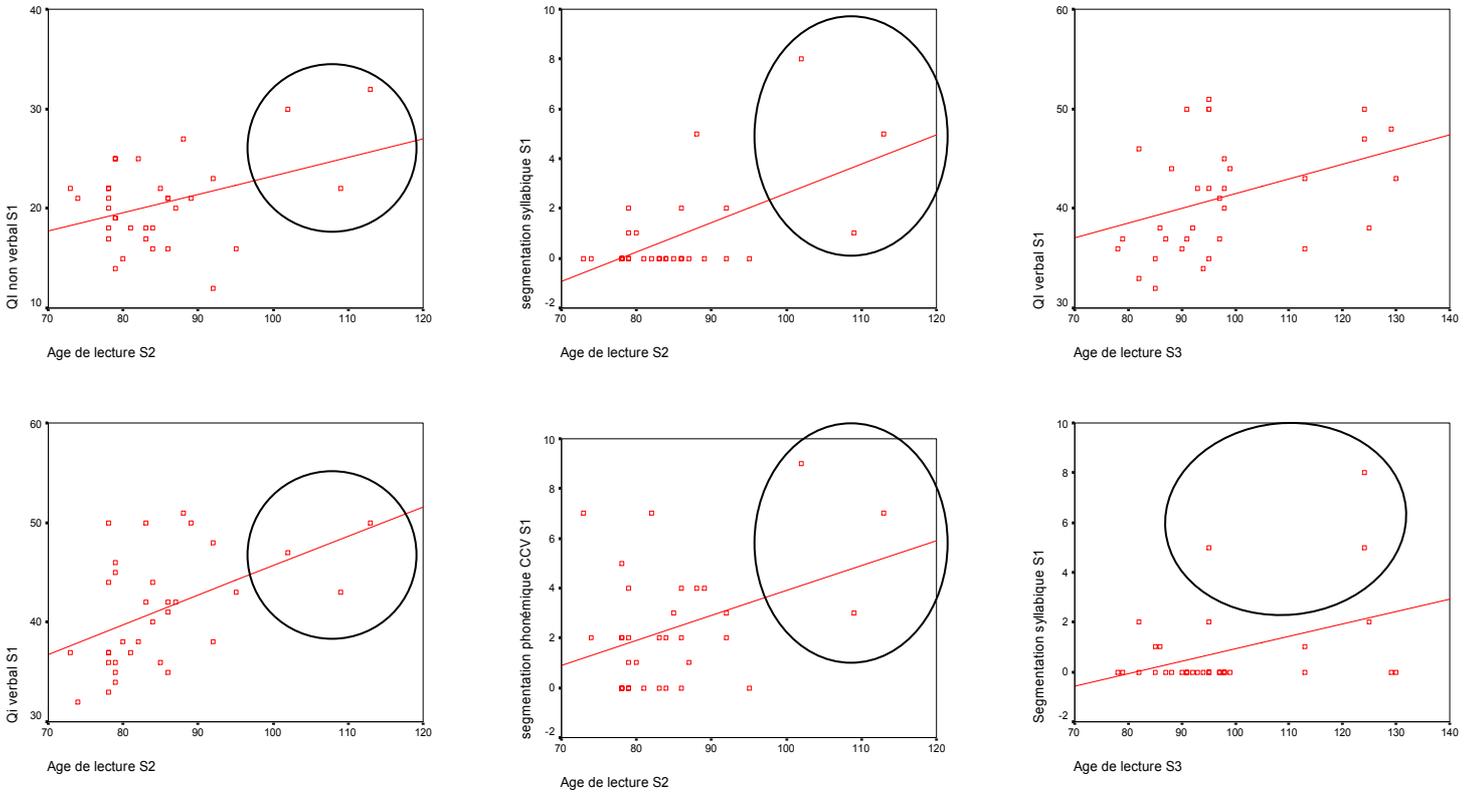
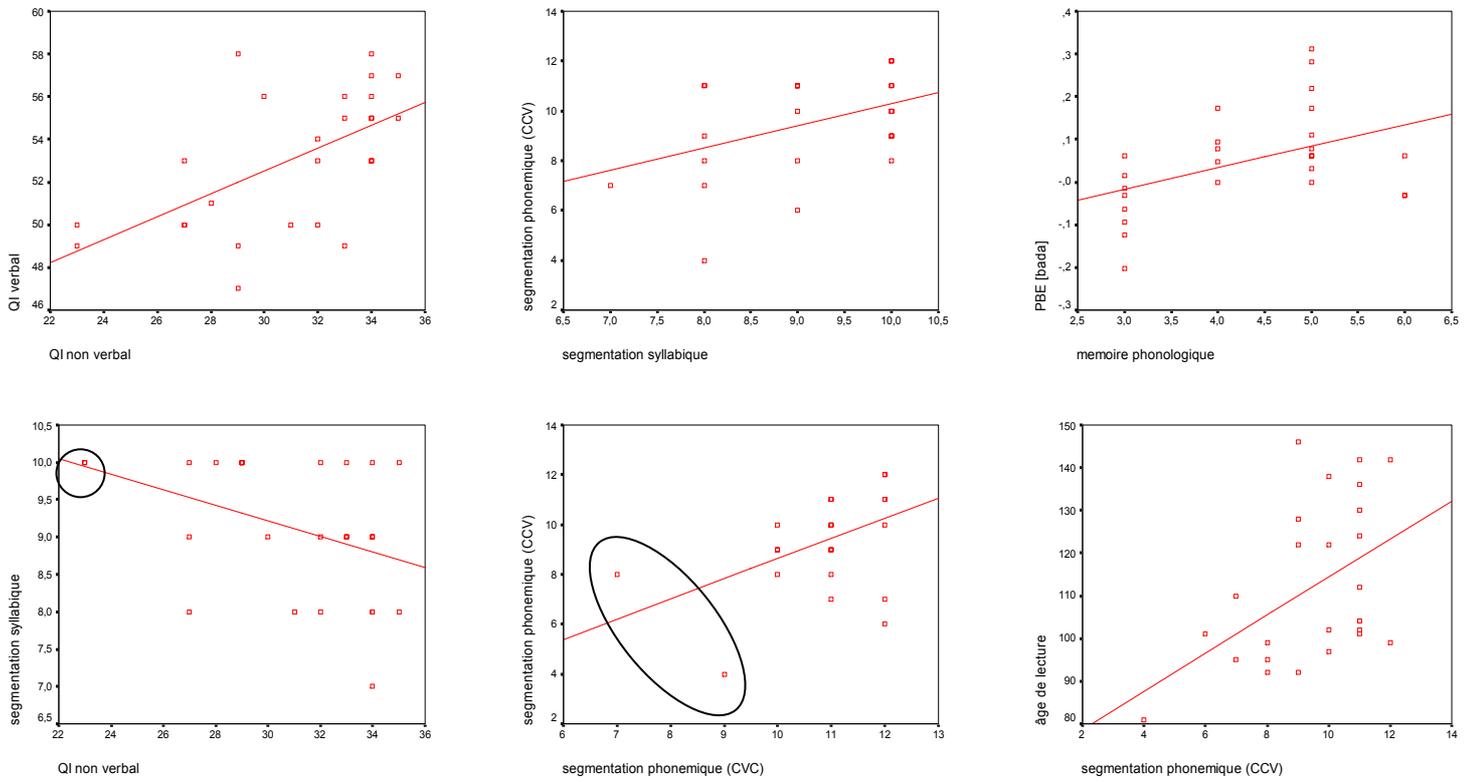




Figure 40 : Performances des 26 sujets en quatrième année de primaire (CM1), pour les épreuves prises 2 à 2 significativement corrélées selon le coefficient  $r$  de Pearson. Les outliers rejetés dans l'analyse finale sont entourés.



## BIBLIOGRAPHIE

- Abramson, A. S., & Lisker, L. (1970). *Discriminability along the voice onset continuum : Cross language tests*. Paper presented at the Proceedings of the Sixth International Congress of Phonetic Sciences, Prague, Czech Republic, Prague, Czech Republic.
- Adlard, A., & Hazan, V. (1998). Speech perception in children with specific reading difficulties (dyslexia). *Quarterly journal of experimental psychology*, 51(1), 153-177.
- Ahissar, M., Protopapas, A., Reid, M., & Merzenich, M. M. (2000). Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(12), 6832-6837.
- Alegria, J., Pignot, E., & Morais, J. (1982). Phonetic analysis of speech and memory codes in beginning readers. *Memory and cognition*, 10, 451-456.
- Aslin, R. N., Pisoni, D. B., Hennessy, B. L., & Perrey, A. V. (1981). Discrimination of voice onset time by human infants : New findings and implications for the effect of early experience. *Child Development*, 52, 1135-1145.
- Bell-Berti, F., & Harris, K. S. (1979). Anticipatory coarticulation : some implications from a study of tongue lashing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65(3), 771-773.
- Bérubé, L. (1991). *Terminologie de neuropsychologie et de neurologie du comportement*, p.76. Montréal: Les éditions de la Chenelière Inc.
- Besner, D. (1999). Basic processes in reading multiple routines in localist and connectionist models. In R. M. Klein & P. McMullen (Eds.), *Converging methods for understanding reading and dyslexia*. London: MIT Press.
- Besnoît, L. (2002). *Une expérience de perception catégorielle de sons de parole chez des sujets dyslexiques*. Chambéry: Maîtrise de psychologie, UFR LLSH, Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université de Savoie.
- Best, C. C., & McRoberts, G. W. (2003). Infant perception of non-native consonant contrasts that adults assimilate in different ways. *Language and Speech*, 46 Part 2-3, 183-216.
- Best, C. T., McRoberts, G. W., & Sithole, N. N. (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*, 14, 345-360.
- Best, C. T., McRoberts, G. W., & Goddell, A. (2001). American listeners' perception of non native consonant contrasts varying in perceptual assimilation to English phonology. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109, 775-794.
- Best, C. T., Morrongiello, B., & Robson, R. C. (1981). Perceptual equivalence of acoustic cues in speech and non-speech perception. *Perception and Psychophysics*, 29(3), 191-211.
- Bishop, D. V. M. (1997). *Uncommon understanding : Development and disorders of language comprehension in children*. Hove UK: Psychology Press.
- Blomert, L., & Mitterer, H. (2004). The fragile nature of the speech-perception deficit in dyslexia : natural vs. synthetic speech. *Brain and Language*, 89(1), 21-26.
- Bogliotti, C. (2003). *Relation between categorical perception of speech and reading acquisition*. Paper presented at the Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona, Barcelona.
- Boissel-Dombrevail, M., & Bouteilly, H. (2003). *Comparaison des performances de perception catégorielle de dyslexiques avec des contrôles de même âge chronologique*

- et de même niveau de lecture*. Paris: Mémoire pour le certificat de capacité d'orthophoniste, UFR La Pitié-Salpêtrière, Université Paris 6.
- 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* (pp. 145-162). Mahwah: Lawrence Erlbaum associates.
- Burnham, D. K., Earnshaw, L. J., & Clark, J. E. (1991). Development of categorical identification of native and non-native bilabial stops : infants, children and adults. *Journal of Experimental Child Language.*, 18, 231-260.
- Burnham, D. K., Tyler, M., & Horlyck, S. (2002). Periods of speech perception development and their vestiges in adulthood. In P. Burmeister & T. Piske & A. Rohde (Eds.), *An integrated view of language development: Papers in honor of Henning Wode* (pp. 281-300). Trier, Germany: Wissenschaftlicher Verlag Trier.
- 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, 141-151.
- Calliope. (1989). *La parole et son traitement automatique*. Paris: Masson.
- Caravolas, M., & Bruck, M. (1993). The effect of oral and written language input on children's phonological awareness: a cross-linguistic study. *Journal-of-experimental-child-psychology*, 55(1), 1-30.
- Carré, R., Ainsworth, W. A., Jospa, P., Maeda, S., & Padeloup, V. (2001). Perception of vowel-to-vowel transitions with different formant trajectories. *Phonetica*, 58, 163-178.
- Carré, R., Sprenger-Charolles, L., Messaoud-Galusi, S., & Serniclaes, W. (2000). *On auditory-phonetic short-term memory*. Paper presented at the ICSLP2000, Beijing.
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47, 149-180.
- Chall, J. S. (1983). *Learning to read : The great debate*. New York: McGraw Hill.
- Chiappe, P., Chiappe, D. L., & Siegel, L. S. (2001). Speech perception, lexicality, and reading skill. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(1), 58-74.
- Chiappe, P., Stringer, R., Siegel, L. S., & Stanovitch, K. E. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing*, 15, 73-107.
- 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.
- Content, A., Meunier, C., Kearns, R. K., & Frauenfelder, U. H. (2001). Sequence detection in pseudowords in French: Where is the syllable effect? *Language and Cognitive Processes*, 16(5-6), 609-636.
- Delattre. (1965). *Comparing the phonetic features of English, French, German and Spanish : An interim report*: Heidelberg.
- Delattre. (1969). An acoustic and articulatory study of vowel reduction in four languages. *International Review of Applied Linguistic*, 7, 295-325.
- Deltour, J. J., & Hupkens, D. (1980). Test de Vocabulaire Passif et Actif (TVAP).
- Dorman, M. F., Studdert-Kennedy, M., & Raphael, L. J. (1977). Stop-consonant recognition : release bursts and formant transitions as functionally equivalent, context-dependent cues. *Perception and Psychophysics*, 22(2), 109-122.

- Dunn, M. D., Thériault-Whalen, C. M., & Dunn, L. M. (1993). *EVIP : Echelle de Vocabulaire en Images Peabody adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test-Revised*. Toronto, Canada.
- Efron, R. (1963). Temporal perception, aphasia and déjà vu. *Brain*, 86, 403-424.
- Ehri, L., & Wilce, L. S. (1983). Movement into reading : Is the first stage of printed word learning visual or phonetic ? *Reading Research Quarterly*, 20, 163-179.
- Elbro, C., Nielsen, I., & Petersen, D. K. (1994). Dyslexia in adults : Evidence for deficits in non-word reading and in the phonological representation of lexical items. *Annals of Dyslexia*, 44, 205-226.
- Fitch, H. L., Halwes, T., Erickson, D. M., & Liberman, A. L. (1980). Perceptual equivalence of two acoustic cues for stop-consonant manner. *Perception and Psychophysics*, 27(4), 343-350.
- Génard, N., Mousty, P., Content, A., Alegria, J., Leybaert, J., & Morais, J. (1998). Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. In P. Reitsma & L. Verhoeven (Eds.), *Problems and interventions in literacy development* (pp. 163-176). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- 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(3), 401-424.
- Gombert, J. E. (1992). *Le développement des capacités métalinguistiques*. Paris: P.U.F.
- Gottfried, T. L. (1984). Effects of consonant context on the perception of French vowels. *Journal of phonetics*, 12(2), 91-114.
- Gottfried, T. L., & Strange, W. (1980). Identification of coarticulated vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68(6), 1626-1635.
- Hatcher, P. J., Hulme, C., & Ellis, A. W. (1994). Ameliorating early reading failure by integrating 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. L., & Boulakia, G. (1993). Perception and production of a voicing contrast by French-English bilinguals. *Language and Speech*, 36(1), 17-38.
- Heinz, J. M., & Stevens, K. N. (1961). On the properties of fricative consonants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 589-593.
- Joanisse, M. F., Manis, F. R., Keating, P., & Seidenberg, M. S. (2000). Language deficits in dyslexic children : Speech perception, phonology, and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(1), 30-60.
- Jorm, A. F., Share, D. L., McLean, R., & Mathews, R. G. (1984). Phonological recoding skill and learning to read : A longitudinal study. *Applied Psycholinguistics*, 5, 201-207.
- Kolinski, R., Cary, L., & Morais, J. (1987). Awareness of words as phonological entities : The role of literacy. *Applied Psycholinguistics*, 8, 223-232.
- Kuhl, P. K. (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 & J. Morton (Eds.), *Developmental neurocognition: Speech and face processing in the first year of life*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Kunisaki, O., & Fujisaki, H. (1977). On the influence of context upon perception of voiceless fricative consonants. *Annual Bulletin of the Research Institute of Logopedics and Phoniatics (University of Tokyo)*, 11, 85-91.
- Lefavrais, P. (1965). *Test de l'Alouette*. Paris: ECPA.
- Leloup, G. (2001). *Habilités de perception catégorielle des adultes dyslexiques*. Université Denis Diderot, Paris 7.
- Liberman, A. L., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological Review*, 74(6), 431-461.
- Liberman, A. L., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1-36.
- Liberman, A. L., Safford Harris, K., Hoffman, H. S., & Griffiths, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 54(5), 358-368.
- Liberman, I. Y., 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).
- Lisker, L., & Abramson, A. S. (1970). *The voicing dimensions : some experiments in comparative phonetics*. Paper presented at the Proceedings of the Sixth International Congress of Phonetic Sciences, Prague, Czech Republic, Prague, Czech Republic.
- Lovegrove, W., & Breimeyer, B. G. (1993). The roles of sustained and transient channels in reading and reading disabilities. In D. M. Willows (Ed.), *Visual processes in reading and reading disabilities* (Vol. 95-110): Erlbaum.
- Manis, F. R., 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.
- Manis, F. R., & Morrison, F. J. (1985). Reading disabilities : A deficit in rule learning ? In L. S. Siegel & F. J. Morrison (Eds.), *Cognitive development in atypical children* (pp. 1-26). New York: Springer-Verlag.
- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Peterson, A. (1996). On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*, 58, 157-195.
- Mann, V. A. (1980). Influence of preceding liquid on stop-consonant perception. *Perception and Psychophysics*, 28, 407-412.
- Mann, V. A., & Repp, B. H. (1980). Influence of vocalic context on perception of the [S]-[s] distinction. *Perception and Psychophysics*, 28(3), 213-228.
- Marsh, G., Friedman, M., Welsh, V., & Desberg, P. (1981). A cognitive developmental theory of reading acquisition. In G. E. MacKinnon & T. G. Waller (Eds.), *Reading research : Advances in theory and practice*. Hillsdale: Erlbaum.
- Masonheimer, P. E., Drum, P. A., & Ehri, L. C. (1984). Does environmental print identification lead children into word reading. *Journal of Reading Behavior*, 16, 257-271.
- Mayo, C., Scobbie, J. M., Hewlett, N., & Waters, D. (2003). The influence of phonemic awareness development on acoustic cue weighting strategies in children's speech perception. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 46(5), 1184-1196.
- Mayo, C., & Turk, A. (2004). Adult-child differences in acoustic cue weighting are influenced by segmental context : Children are not always perceptually biased towards transitions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 3184-3194.

- Mayo, C., & Turk, A. (in review). The influence of cue magnitude on acoustic cue weighting in children's and adult's speech perception.
- Mehler, J., Segui, J., & Frauenfelder, U. (1981). The role of syllable in the language acquisition and perception. In T. Meyer & J. Laver & J. Anderson (Eds.), *The cognitive representation of speech*. Amsterdam North Holland.
- Mody, M., Studdert-Kennedy, M., & Brady, S. (1997). Speech perception deficits in poor readers : auditory processing or phonological coding? *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 199-231.
- Morais, J. (1999a). Le lecteur habile. In O. Jacob (Ed.), *L'Art de Lire* (pp. 115-165). Paris: Opus.
- Morais, J. (1999b). Parlons lui du phonème, mais comment ? In O. Jacob (Ed.), *L'Art de Lire* (pp. 183-194). Paris: Opus.
- Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Berthelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously ? *Cognition*, 7, 323-331.
- Morais, J., Cluytens, M., & Alegria, J. (1984). Segmentation abilities of dyslexics and normal readers. *Perceptual and Motor Skills*, 58, 221-222.
- Morongiello, B. A., Robson, R. C., Best, C. T., & Clifton, R. K. (1984). Trading relations in the perception of speech by five year-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37, 231-250.
- 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. (1992). Age-related differences in perceptual effects of formant transitions within syllables and across syllable boundaries. *Journal of Phonetics*, 20, 351-382.
- Nittrouer, S. (1996). The relation between speech perception and phonemic awareness: evidence from low-SES children and children with chronic OM. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39(5), 1059-1070.
- Nittrouer, S. (1999). Do temporal processing deficits cause phonological processing problems? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(4), 925-942.
- Nittrouer, S., & Miller, M. E. (1997a). Developmental weighting shifts for noise components of fricative-vowel syllables. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102(1), 572-580.
- Nittrouer, S., & Miller, M. E. (1997b). Predicting developmental shifts in perceptual weighting schemes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101(4), 2253-2266.
- Nittrouer, S., Miller, M. E., Crowther, C. S., & Manhart, M. J. (2000). The effect of segmental order on fricative labeling by children and adults. *Perception and Psychophysics*, 62(2), 266-284.
- Nittrouer, S., & Studdert-Kennedy, M. (1987). The role of coarticulatory effects in the perception of fricatives by children and adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 30(3), 319-329.
- Observatoire de la lecture. (1998). *Apprendre à lire*. Paris: Jacob, O.
- Ohde, R. N., & Haley, K. L. (1997). Stop-consonant and vowel perception in 3 and 4 year-old children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102(6), 3813-3824.
- Ohde, R. N., Haley, K. L., & McMahon, C. W. (1996). A developmental study of vowel perception from brief synthetic consonant-vowel syllables. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(6), 3813-3824.

- Ohde, R. N., Haley, K. L., Vorperian, H. K., & McMahon, C. W. (1995). A developmental study of the perception of onset spectra for stop consonants in different vowel environments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(6), 3800-3812.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., & Frith, U. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*, 291(5511), 2165-2167.
- Peereman, R., & Content, A. (1999). LEXOP: A lexical database providing orthography-phonology statistics for French monosyllabic words. *Behavioral Methods, Instruments and Computers*, 31, 376-379.
- Piéron, H. (1973). *Vocabulaire de la psychologie* (Vol. xii). Paris: Presse Universitaire de France.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212-218.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2002). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(Pt 4), 841-865.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1986). *Raven's progressive matrices*. London: H K Lewis.
- Read, C., Zhang, Y., Nie, H., & Ding, B. (1986). The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic reading. *Cognition*, 24, 31-44.
- Remez, R. E., & Rubin, P. E. (1981). perception without traditional speech cues. *Science*, 212, 947-950.
- Repp, B. H. (1981). Two strategies in fricative discrimination. *Perception and Psychophysics*, 30(3), 217-227.
- Repp, B. H. (1982). Phonetic trading relations and context effects: New experimental evidence for a speech mode of perception. *Psychological Bulletin*, 92, 81-110.
- Repp, B. H., & Mann, V. A. (1979). Bidirectional context effects in perception of synthetic fricative -(stop)- vowel stimuli. *Proceedings of the International Congress of Phonetic Sciences, Copenhagen*.
- 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(3-4), 509-527.
- Rosen, S., & Howell, P. (1987). Auditory, articulatory, and learning explanation of categorical perception in speech. In C. U. Press (Ed.), *Categorical perception, the groundwork of cognition* (pp. 113-160). Cambridge, New York.
- 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, 720-736.
- Saunders, G. H., Protopapas, A., Cangiano, G. R., Salz, T., & Cerles, L. F. (1998). *Relation of backward masking and frequency discrimination to reading and language among 5-12 year-old*. Paper presented at the 136th Annual Meeting of the Acoustical Society of America, Norfolk, abstract 104 (3 pt 2) 1800 *Journal of the Acoustical Society of America* (Paper downloadable on the authors webpage).
- Savigny, M. (1974). BAT-ELEM (forme A).
- Serniclaes, W. (1987). *Etude expérimentale de la perception du trait de voisement des occlusives du français*. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.

- Serniclaes, W. (2000). La perception de la parole. In P. Escudier & J. L. Schwartz (Eds.), *La parole : Des modèles cognitifs aux machines communicantes* (pp. 159-190). Paris: HERMES Science Publications.
- Serniclaes, W. (2003). Dyslexie et perception phonologique. *Glossa*, 86, 4-17.
- Serniclaes, W. (2004). *Recherches sur la perception de la parole et implications pour l'apprentissage de la lecture*. Université Denis Diderot, Paris 7.
- Serniclaes, W., Bogliotti, C., Messaoud-Galusi, S., & Sprenger-Charolles, L. (2004a). *Allophonic perception in developmental dyslexia: origin, reliability and implications of the categorical perception deficit*. Paper presented at the Meeting of the Society for the Scientific Study of Reading, Amsterdam, Amsterdam.
- 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*. Paper presented at the Meeting Society for the Scientific Study of Reading, Amsterdam, June 2004.
- Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., Carré, R., & Demonet, F. (2001). Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 44, 384-399.
- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carré, R., & Sprenger-Charolles, L. (2004). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(4), 336-361.
- Share, D. L., Jorm, A. F., Maclean, R., & Matthews, R. (2002). Temporal processing and reading disability. *Reading and Writing*, 15, 151-178.
- Shaywitz, S. E. (1998). Dyslexia. *Current Concept*, 338(5), 307-312.
- Siegel, L. S. (1988). Evidence that IQ scores are irrelevant to the definition and analysis of reading disability. *Canadian journal of experimental psychology*, 22(8), 469-478, 486.
- Simon, C., & Fourcin, J. (1978). Cross-Language study of speech-pattern learning. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63(3), 925-935.
- Snowling, M. J., & Goulandris, N. (1996). A longitudinal study of reading development in dyslexic children. *Journal of Educational Psychology*, 88(4), 653-669.
- Soli, S. D. (1981). Second formants in fricatives : Acoustic consequences of fricative-vowel coarticulation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70(4), 976-984.
- 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., & Colé, P. (2003). Chapitre 4 : Manifestations de la dyslexie, *Lecture et dyslexie : Approche cognitive* (pp. 131-172). Paris: Dunod.
- Sprenger Charolles, L., Colé, P., Béchenec, D., & Kipffer-Piquard, A. (in press). EVALEC : Batterie d'Evaluation diagnostique de la Dyslexie. *European Review for Applied Psychology*.
- Sprenger Charolles, L., Pinton, F., Touzin, M., Béchenec, D., & Billard, C. (2004). Significance and prevalence of dyslexics' phonological deficits in reading and reading-related tasks : Comparison with reading level controls. *Brain and Language (to be published)*.
- Sprenger Charolles, L., Siegel, L. S., & Béchenec, D. (1998). Phonological mediation and semantic and orthographic factors in silent reading in French. *Scientific Studies of Reading*, 2, 3-29.

- Sprenger Charolles, L., Siegel, L. S., Béchenec, D., & Serniclaes, W. (2003). Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading and spelling : A four year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84, 194-217.
- Sprenger-Charolles, L., & Casalis, S. (1996). *Lire. Lecture et écriture : acquisition et troubles du développement*. Paris: Presse Universitaire de France.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003a). *Lecture et dyslexie : Approche cognitive*. Paris: Dunod.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003b). Les principaux modèles d'apprentissage de la lecture., *Lecture et Dyslexie : Approche cognitive* (pp. 54-62). 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., & Messaoud-Galus, S. (2004). *Significance and Prevalence of dyslexics' phonological deficits in reading and reading related tasks (illustrations from English, French, German, Spanish and Italian studies)*. Paper presented at the International Congress A.E.L.F.A Society (Logopedia, Foniatria, Audiologia), Madrid, Facultad de Medicina.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., & Bonnet, P. (1998). Phonological mediation and orthographic factors in reading and spelling. *Journal of Experimental Child Psychology*, 68, 134-155.
- Stanovich, K. E., Siegel, L. S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 89, 114-127.
- Stanovitch, K. E. (1986). Matthew effects in reading : Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly*, 21, 360-406.
- Stevens, K. N. (1972). The quantal nature of speech: evidence from articulatory-acoustic data. In E. E. David & P. B. Denes (Eds.), *Human Communication: a unified* (pp. 51-66). New York: McGraw-Hill.
- Stuart, M., & Coltheart, M. (1988). Does reading develop in a sequence of stages. *Cognition*, 30, 139-151.
- Studdert-Kennedy, M., & Mody, M. (1995). Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired : A critical review of the evidence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 508-514.
- Sussman, J. E. (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(3), 1173-1180.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9, 182-198.
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Defects of nonverbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*, 241(468-469).
- Tallal, P., & Piercy, M. (1974). Developmental aphasia : Rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia*, 12, 83-94.
- Treiman, R. (1989). Le rôle des unités intrasyllabiques dans l'apprentissage de la lecture. In L. R. C. Perfetti (Ed.), *L'apprentilecteur : Recherches empiriques et implications pédagogiques*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.

- Tunmer, W. E., & Lally, M. (1986, July 1986). *The effects of letter-name knowledge and phonological awareness on computer-based instruction in decoding for pre-readers*. Paper presented at the 12th Australian Reading Association Conference, Perth, Western Australia, Perth, Western Australia.
- Tunmer, W. E., & Nesdale, A. R. (1985). Phonemic segmentation skill and beginning reading. *Journal of Educational Psychology, 77*(417-427).
- Van Ijzendoorn, M. H., & A.G., B. (1994). Meta-analytic confirmation of the non-word reading deficit in developmental dyslexia. *Reading Research Quarterly, 29*(3), 266-275.
- Werker, J. F., Gilbert, J. H. V., Humphrey, K., & Tees, R. C. (1981). Developmental aspects of cross-language speech perception. *Child Development, 52*, 349-355.
- Werker, J. F., & Lalonde, C. E. (1988). Cross-language speech perception : Initial capabilities and developmental changes. *Developmental Psychology, 24*(5), 672-683.
- Werker, J. F., Lloyd, V. L., Pegg, J. E., & 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 & K. Demuth (Eds.), *Signal to Syntax*. Hillsdale: NJ : Lawrence Erlbaum.
- Werker, J. F., & Polka, L. (1993). Developmental changes in speech perception : new challenges and new directions. *Journal of Phonetics, 21*, 83-101.
- Werker, J. F., & Polka, L. (1993). The ontogeny and developmental significance of language-specific phonetic perception. In B. de Boysson-Bardies & S. de Schonen & P. Jusczyk & P. McNeilage & J. Morton (Eds.), *Developmental neurocognition: Speech and face processing in the first year of life* (pp. 275-288). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-Language Speech Perception : evidence for perceptual reorganization during first year of life. *Infant Behavior and Development, 7*, 49-63.
- Werker, J. F., & Tees, R. C. (1987). Speech perception in severely disabled and average reading children. *Canadian journal of psychology, 41*(1), 48-61.
- Whalen, D. H. (1981). Effects of vocalic formant transitions and vowel quality on the English [s]-[S] boundary. *Journal of the Acoustical Society of America, 69*(1), 275-282.
- Whalen, D. H. (1991). Perception of the English /s-/S/ distinction relies on fricative noises and transitions, not on brief spectral slices. *Journal of the Acoustical Society of America, 90*(4), 1776-1785.
- Wimmer, H., & Hummer, P. (1990). How German speaking first graders read and spell : Doubts on the importance of the logographic stage. *Applied Psycholinguistics, 11*, 349-368.
- Wright, B. A., Lombardino, L. J., King, W. M., Puranik, C. S., Leonard, C. M., & Merzenich, M. M. (1997). Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature, 387*(6629), 176-178.
- Ziegler, J., & Goswami, U. (in press). Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading across languages : A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*.

### **Incidence du développement linguistique et de la lecture sur les stratégies de pondération d'indices acoustiques et la perception catégorielle des sons de la parole**

Nous avons mené deux études évaluant les relations entre la perception catégorielle des sons de la parole, la lecture et l'âge. La première examinait les relations entre lecture et perception catégorielle (PC) chez des enfants suivis longitudinalement de la GSM au CE1 et des bons et des mauvais lecteurs de CM1. La seconde évaluait les stratégies de pondération des indices acoustiques chez des enfants dyslexiques, des contrôles d'âge chronologique, de niveau de lecture et chez des adultes. Les résultats montrent que la PC du lieu d'articulation s'améliore sous l'effet de l'âge et que l'évolution est plus rapide pour le traitement des transitions, et des indices fournis par le contexte vocalique, que pour le bruit de friction. L'évolution de la PC est plus lente chez les dyslexiques mais ne dépend pas du niveau de lecture dans un échantillon tout venant.

Dyslexie, Perception, Acquisition du langage, Lecture

### **Influence of speech development and reading on the weighting of acoustic cues and categorical perception of speech sounds.**

The present study was aimed at evaluating the relations between categorical perception (CP), reading and language acquisition. First, we examined the relationships between categorical perception and reading tasks in 4th grade good and poor readers and children followed longitudinally from kindergarten to 2nd grade. Second, we evaluated cue weighting strategies in dyslexic children, chronological age and reading age matched controls and in adults. The results indicated that CP of place of articulation improves with age and that the evolution is faster for the processing of transitions and vowel-related cues than for friction noise. The evolution of CP is slower for dyslexics but does not depend on reading level in the general population.

Dyslexia, Perception, Language acquisition, Reading