

Effets de masquage rétroactif dans la perception de la parole chez l'enfant dyslexique

Noël Nguyen¹, Ludovic Jankowski¹, Muriel Lalain¹, Barbara Joly-Pottuz^{2,1},
Aurélie Leynaud², Mélina Mercier², & Michel Habib^{2,1}

(1) Laboratoire Parole et Langage, CNRS & Université de Provence, Aix-en-Provence, France
(2) Laboratoire de Neurologie Cognitive, Clinique de Neurologie, CHU Timone, Marseille, France
Tél.: ++33 (0)4 42 95 36 18 - Fax: ++33 (0)4 42 59 50 96
Mél: nguyen@lpl.univ-aix.fr - <http://www.lpl.univ-aix.fr>

ABSTRACT

Previous research has revealed that dyslexic children may be more sensitive to backward-masking effects in auditory perception than control children. In this study, we asked whether a CV transition masks a preceding VC transition to a greater extent in dyslexic children than in controls. The results suggest that dyslexic children are severely impaired on the discrimination of VC sequences, regardless of whether these sequences are followed or not by a CV sequence. These results provide further evidence that dyslexia is associated with a deficit in the perception of speech.

1. INTRODUCTION

Il semble aujourd'hui établi que la dyslexie est associée à un ensemble de troubles de la perception auditive et visuelle [2, 4, 12]. Selon la théorie dite du déficit temporel général [9, 17], ces troubles trouveraient leur origine dans un déficit de base affectant le "traitement temporel" des données sensorielles par le cerveau. Le cerveau de l'enfant dyslexique se montrerait incapable de traiter des stimuli brefs et/ou marqués par des variations rapides. Les enfants dyslexiques auraient ainsi davantage de difficultés que les enfants normaux à percevoir les variations en fréquence des trois premiers formants en début de voyelle dans une séquence occlusive+voyelle. Cette hypothèse a donné lieu à différentes critiques centrées sur la dichotomie entre sons stables et sons instables. Selon Studdert-Kennedy et coll. en particulier [10, 16], la voyelle dans une séquence CV n'est pas perçue par l'auditeur sous la forme de deux événements acoustiques successifs (partie initiale transitoire + partie stable) mais plutôt comme un glissando reflétant les déplacements des articulateurs dans le passage entre une configuration plus fermée (C) et une configuration plus ouverte (V). Il a également été souligné que des difficultés se posent aux dyslexiques dans la perception des sons dont la structure spectrale reste stable sur un intervalle de temps relativement long (> 50 ms; ex.: contraste /sa/-/ja/ [18]; contraste /i/-/u/ [5]). L'idée sous-jacente à la théorie du déficit temporel et selon laquelle les voyelles s'assimilent à des sons stables et les consonnes à des sons instables a elle-même été remise en question [12]. Une question majeure est de savoir s'il est difficile à l'enfant dyslexique de traiter des variations spectrales rapides ou bien des sons brefs qui se succèdent à intervalles très courts. Il s'agit là de deux problèmes indépendants qui renvoient le premier à l'organisation temporelle du signal de parole, et le deuxième aux propriétés dynamiques du système de traitement lui-même.

Cette question est au centre des travaux actuels sur la perception de la parole et elle a débouché sur différents modèles simulant le décours temporel du traitement de l'information dans la perception de la parole et dans la reconnaissance des mots [11]. Sur le plan comportemental cependant, il est difficile de déterminer ce qui dans la mise en relation signal-lexique est conditionné par la structure temporelle du signal (variations spectrales, durées segmentales, etc.) et ce qui dépend des caractéristiques dynamiques inhérentes au système de traitement. Massaro a abordé ce problème dans une série de travaux faisant appel au paradigme du masquage rétroactif [8]. Ce paradigme consiste à présenter à un auditeur deux stimuli acoustiques séparés par un intervalle de durée variable. Le sujet a pour tâche d'identifier le premier stimulus. Les résultats obtenus par Massaro ont montré que le taux d'identification correcte augmente progressivement lorsque l'intervalle inter-stimuli s'allonge, pour tendre vers une valeur asymptotique quand cet intervalle dépasse un certain seuil. Massaro a interprété ce phénomène en supposant que le stimulus à identifier (S_1) est brièvement conservé dans une unité de mémoire auditive pré-perceptive. Lorsque S_2 apparaît, il remplacera S_1 dans cette unité de mémoire en interrompant le traitement dont S_1 est en train de faire l'objet. Ce phénomène de masquage rétroactif cesserait de se manifester lorsque l'intervalle entre le début de S_1 et celui de S_2 est supérieur à 250 ms dans la mesure où S_1 ne serait pas conservé dans la mémoire auditive pré-perceptive au-delà de cet intervalle. L'intérêt de ce paradigme est qu'il permet d'étudier la dynamique du système de traitement (vitesse de traitement et durée de la mémoire auditive) de façon indépendante. Selon certains auteurs, les phénomènes de masquage rétroactif apporteraient une explication à la façon dont les séquences VCV sont perçues par l'auditeur. Dans une séquence de ce type, il a été montré à de multiples reprises que la transition CV prédomine sur la transition VC sur le plan perceptif. Quand un segment VC_a est artificiellement combiné avec un segment C_bV de telle sorte que les transitions dans VC_a et dans C_bV renvoient à des consonnes de lieu d'articulation différent, l'auditeur tend à donner davantage de poids à la transition C_bV [3, 14, 19]. Selon Massaro [7], la transition C_bV mettrait prématurément fin au traitement de la transition VC_a . Différentes études ont été récemment réalisées dans le but de déterminer si les enfants dyslexiques sont plus sensibles au masquage rétroactif que les normo-lecteurs [15, 20, 1]. [20] ont mis en évidence un déficit important chez les enfants SLI dans la détection de tons immédiatement suivis par un bruit. [15] ont abouti au même résultat avec des enfants dyslexiques, mais le déficit observé ne présentait pas

de corrélation avec les performances de ces enfants dans la perception de sons de parole. [1] n'ont pas relevé de différence entre enfants SLI et enfants témoins en ce qui concerne le masquage rétroactif d'un ton par un bruit. Ce travail vise à étudier le décours temporel du traitement de l'information dans la perception des occlusives chez les enfants dyslexiques, chez les enfants normo-lecteurs appartenant à différentes classes d'âge, et chez les adultes.

2. MÉTHODE

Notre expérience visait à explorer les effets de masquage pouvant être exercés par une transition CV sur une transition VC dans une séquence $VC_a C_b V$. Pour mettre en évidence ces effets de masquage, il a été demandé aux sujets de comparer des séquences de ce type avec des séquences $VC_b V$ dans une tâche de discrimination. Nous avons supposé qu'il serait plus difficile aux sujets de percevoir la différence entre $VC_a C_b V$ et $VC_b V$ si la transition VC_a est masquée par la transition $C_b V$ dans la première séquence. L'étendue des effets de masquage a été établie par comparaison avec une condition de contrôle, dans laquelle les sujets avaient à discriminer des paires du type $VC_a - VC_b$.

2.1. Stimuli

Les stimuli ont été construits à partir de 5 séquences de base: $/\epsilon d \epsilon/$ ($VC_a V$), $/\epsilon g \epsilon/$ ($VC_b V$), $/\epsilon d g \epsilon/$ ($VC_a C_b V$), $/\epsilon d/$ (VC_a), et $/\epsilon g/$ (VC_b). Les 3 premières séquences ont été employées dans la condition avec masquage et les 2 autres dans la condition de contrôle. Les séquences $/\epsilon d \epsilon/$ et $/\epsilon g \epsilon/$ ont été produites les premières au moyen de Sensyn, le synthétiseur de Klatt dans la version commercialisée par Sensimetrics. Pour établir les valeurs des différents paramètres de synthèse, nous avons pris pour modèle 2 séquences naturelles préalablement enregistrées à plusieurs reprises chacune par un phonéticien entraîné. Ces séquences naturelles ont été soumises à une analyse acoustique détaillée au moyen de ESPS/xwaves. La figure 1 représente les variations en fréquence des 3 premiers formants entre le début et la fin de V_1 , d'une part, et de V_2 , d'autre part, pour les séquences synthétiques $/\epsilon d \epsilon/$ et $/\epsilon g \epsilon/$. Notons que les transitions de formant en fin de V_1 et en début de V_2 sont asymétriques dans chaque séquence. La durée de chaque voyelle est de 150 ms. L'intervalle entre V_1 et V_2 est ici de 110 ms. La fréquence fonda-

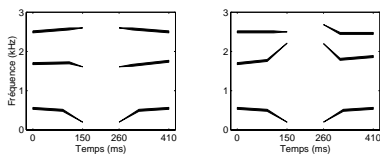


Figure 1: Variations en fréquence des 3 premiers formants dans les deux séquences synthétiques de base, $/\epsilon d \epsilon/$ (à gauche) et $/\epsilon g \epsilon/$ (à droite).

mentale variait de 105 Hz à 125 Hz sur les 110 premières ms et de 125 à 105 Hz sur les 40 dernières ms de V_1 . Elle décroissait de 110 à 105 Hz pendant la tenue de la consonne, et de 110 à 95 Hz entre le début et la fin de V_2 . La barre de voisement pendant la tenue de l'occlusive a été synthétisée en abaissant F_1 à 180 Hz, et en introduisant un tilt spectral de -40 dB entre 0 et 3 kHz.

L'explosion de la consonne a été synthétisée en excitant F_3 (pour /g/) ou F_4 (pour /d/) au moyen d'un bruit de friction, sur un intervalle de 5 ms précédant immédiatement le début de V_2 . La fréquence de F_3 et celle de F_4 avaient la même valeur à l'explosion et au début de V_2 . La fréquence d'échantillonnage en sortie était de 10 kHz. La séquence $/\epsilon d g \epsilon/$ a ensuite été obtenue en combinant la voyelle initiale de $/\epsilon d \epsilon/$ avec la barre de voisement, le bruit d'explosion, et la voyelle finale de $/\epsilon g \epsilon/$. La consonne /d/ était dépourvue de bruit d'explosion, conformément au fait que l'occlusion pour la seconde consonne est le plus souvent mise en place avant le relâchement de la première dans une séquence d'occlusives en français. Les séquences $/\epsilon d \epsilon/$, $/\epsilon g \epsilon/$ et $/\epsilon d g \epsilon/$ ont chacune servi à construire 5 stimuli, en faisant varier la durée de l'intervalle entre V_1 et V_2 de 50 à 210 ms, par pas de 40 ms. Notons que dans les séquences transcrites ici $/\epsilon d \epsilon/$ et $/\epsilon g \epsilon/$, la consonne est perçue comme une géminée (/dd/, /gg/) lorsque l'intervalle $V_1 - V_2$ est long. La manipulation de l'intervalle $V_1 - V_2$ visait à nous permettre de déterminer si les effets de masquage rétroactif se réduisent lorsque cet intervalle s'allonge. Enfin, les séquences $/\epsilon d/$ et $/\epsilon g/$ ont été obtenues en prenant la partie initiale de $/\epsilon d \epsilon/$ et $/\epsilon g \epsilon/$, respectivement (voyelle + ?? premières ms de la barre de voisement).

2.2. Sujets

Cinq groupes de sujets ont pris part à cette expérience. Le premier groupe (dyslexiques 1) était composé de 16 enfants (11 filles, 5 garçons, âge moy. 8;9, min. 7;1, max. 10;9) présentant une dyslexie développementale phonologique, et recrutés par l'intermédiaire de différentes orthophonistes dans la région marseillaise. Les enfants répondaient tous aux critères de sélection suivants: a) âge de lecture (établi à partir du test de l'Alouette) inférieur de 18 mois au moins à l'âge réel; b) absence de troubles neuropsychologiques, et en particulier absence de déficit mental (épreuves de la WISCIII et du PM47); c) absence de troubles auditifs. Le deuxième groupe (dyslexiques 2) comprenait 9 enfants (1 fille, 8 garçons, âge moy. 11;2, min. 9, max. 13;5) présentant une dyslexie développementale phonologique sévère. Les critères de sélection incluaient un QI non-verbal normal, une absence de déficit sensoriel, moteur ou attentionnel, une performance en lecture et/ou écriture inférieure de 2 écarts types au moins à la normale, ainsi qu'un déficit important dans les exercices de conscience phonologique. Ces enfants prenaient part à un programme de rééducation intensive étalé sur 2 ans en tant que pensionnaires à l'école des Lavandes à Orpierre. Le troisième groupe (témoins CP) comprenait 9 enfants (5 filles, 4 garçons, tous âgés de 7 ans, en classe de CP) appariés aux enfants dyslexiques pour l'âge de lecture. Le quatrième groupe (témoins CM1) était composé de 10 enfants (5 filles, 5 garçons, tous âgés de 10 ans, en classe de CM1) appariés aux enfants dyslexiques pour l'âge chronologique. Enfin, le cinquième groupe (témoins adultes) comportait 10 adultes (4 femmes, 6 hommes, âge moyen 25;1, min. 20, max. 29), étudiants associés au laboratoire Parole et Langage. Aucun sujet contrôle ne présentait de trouble de l'audition connu de lui.

2.3. Design expérimental

L'expérience comportait 2 tests. Dans le test 1 (condition de contrôle, sans masquage), 3 paires de stimuli, (1) / ϵ d/-/ ϵ g/, (2) / ϵ d/-/ ϵ d/, et (3) / ϵ g/-/ ϵ g/, ont été présentées à chaque sujet, dans une tâche de discrimination de type AX. La paire 1 a été présentée huit fois et les paires 2 et 3 quatre fois chacune, dans un ordre aléatoire. Chaque paire était annoncée au sujet par un bip de 200 ms débutant 1 s auparavant. L'intervalle entre le premier et le deuxième stimulus dans chaque paire était de 500 ms. L'intervalle inter-paires était de 5.2 s. Le sujet entendait les stimuli à travers des écouteurs. Pour chaque paire, le sujet avait pour tâche de dire si les deux stimuli étaient identiques ou différents en désignant du doigt soit une image représentant deux personnages identiques, soit une image avec deux personnages différents. Les réponses ont été consignées par écrit par l'expérimentateur. Le test était précédé d'une phase d'entraînement destinée à familiariser le sujet avec la tâche et les stimuli, et pendant laquelle l'expérimentateur lui indiquait si les réponses fournies étaient correctes ou non. Dans le test 2 (condition avec masquage), le sujet devait effectuer une tâche de discrimination AX sur des paires de stimuli appartenant à trois catégories, (1) / ϵ gg ϵ /-/ ϵ dg ϵ /, (2) / ϵ gg ϵ /-/ ϵ gg ϵ /, et (3) / ϵ dg ϵ /-/ ϵ dg ϵ /.

Les paires étaient présentées par blocs, la durée de l'intervalle V_1 - V_2 allant en décroissant de 210 ms à 50 ms entre chaque bloc et le bloc suivant. À l'intérieur de chaque bloc, la paire 1 était présentée huit fois et les paires 2 et 3 quatre fois chacune. Le test 2 était identique au test 1 sur tous les autres points. La durée totale de l'expérience était de 15 min environ. Ce dispositif expérimental était destiné à tester deux hypothèses: (1) les effets de masquage diminuent lorsque l'intervalle V_1 - V_2 s'allonge; (2) les enfants dyslexiques sont plus sensibles aux effets de masquage que les enfants normo-lecteurs appartenant à la même classe d'âge. En raison d'un problème technique, il n'a pas été possible de faire passer le test 1 aux dyslexiques 2. Nous présentons tout de même les résultats obtenus par ces enfants au second test.

3. RÉSULTATS

Dans le test 1, la proportion de réponses correctes RC (réponses "différent" correctement associées aux paires / ϵ d/-/ ϵ g/ et / ϵ g/-/ ϵ d/) et la proportion de fausses alarmes FA (réponses "différent" associées aux paires / ϵ d/-/ ϵ d/ et / ϵ g/-/ ϵ g/) ont été établies pour chaque sujet, puis converties en une valeur de d' , avec $d' = z(RC) - z(FA)$, où z est l'inverse de la fonction relative à la distribution normale cumulée. Les proportions extrêmes ont été corrigées selon la règle $1/(2N)$ [6]. Dans le test 2, une valeur de d' a été calculée pour chaque sujet et chaque intervalle V_1 - V_2 .

Les principaux résultats sont présentés sur la figure 2. Les lignes horizontales en pointillés représentent la valeur moyenne de d' pour les adultes (a), les témoins CM1 (b), les témoins CM2 (c), et les dyslexiques 1 (d), dans le test 1. Les courbes représentent les valeurs moyennes de d' dans le test 2, en fonction de la durée de l'intervalle V_1 - V_2 , pour les 5 groupes de sujets. La figure 2 fait apparaître en premier lieu d'importantes différences entre les témoins et le groupe 1 de dyslexiques dans la condition de contrôle. Le facteur groupe se montre hautement significatif ($F(3, 41) = 22.532, p < .001$). Les perfor-

mances des dyslexiques sont très inférieures à celles des témoins les plus jeunes (CP; $F(1, 23) = 19.665, p < .001$). Au sein des sujets témoins, la performance semble s'améliorer avec l'âge, mais cette tendance est non significative. Les différences entre témoins et dyslexiques sont également très marquées dans la condition avec masquage. Le groupe 1 de dyslexiques présente les performances les plus basses, indépendamment de la durée de l'intervalle V_1 - V_2 , alors que le groupe 2 paraît un peu meilleur. En ce qui concerne les témoins, la discrimination semble plus facile lorsque l'intervalle inter-voyelles s'allonge. La tendance est significative pour les adultes ($F(4, 36) = 3.888, p < .02$), et marginalement significative pour les témoins CP ($F(4, 32) = 2.462, p = .065$). L'amplitude des effets de masquage rétroactif a été établie en comparant pour chaque sujet les performances au test 1 et les performances au test 2. Pour les témoins CP, ces effets se montrent significatifs pour l'intervalle inter-voyelles le plus court (50 ms; $F(1, 8) = 14.048, p < 0.01$). Pour les témoins CM1, les performances au test 2 sont significativement inférieures aux performances au test 1 lorsque l'intervalle inter-voyelles est compris entre 50 et 170 ms (50 ms: $F(1, 9) = 19.676, p < 0.005$; 90 ms: $F(1, 9) = 6.761, p < 0.03$; 130 ms: $F(1, 9) = 12.964, p < 0.01$; 170 ms: $F(1, 9) = 6.644, p < 0.05$). Pour les témoins adultes, les effets de masquage s'observent pour les intervalles inter-voyelles compris entre 50 et 130 ms (50 ms: $F(1, 9) = 23.917, p < 0.002$; 90 ms: $F(1, 9) = 16.313, p < 0.005$; 130 ms: $F(1, 9) = 9.972, p < 0.02$), et ils sont également significatifs à 210 ms ($F(1, 9) = 12.476, p < 0.01$). Pour les dyslexiques 1, les performances sont moins bonnes au test 2 qu'au test 1 pour les intervalles inter-voyelles allant de 50 à 130 ms (50 ms: $F(1, 15) = 5.677, p < 0.05$; 90 ms: $F(1, 15) = 6.386, p < 0.05$; 130 ms: $F(1, 15) = 7.955, p < 0.02$).

4. DISCUSSION

Cette expérience avait d'abord pour objectif de déterminer si les enfants dyslexiques se montrent plus sensibles aux effets de masquage rétroactif dans la perception de la parole que des enfants témoins. De récents travaux ont mis en évidence des effets de masquage supérieurs à la normale chez les enfants SLI [20] et chez les dyslexiques [15] dans le traitement des tons purs. Ces travaux ont donné à supposer que les informations contenues dans le stimulus acoustique sont intégrées à l'intérieur d'une fenêtre temporelle plus longue chez les dyslexiques que chez les témoins. L'identification de ce stimulus serait ainsi plus fortement perturbée chez les dyslexiques lorsque survient le masque. Nous avons étendu ces investigations à la perception de la parole en cherchant à savoir si dans une séquence VC_aC_bV , la transition C_bV exerçait sur la transition VC_a un effet de masquage plus marqué chez les dyslexiques que chez les témoins. Nos résultats fournissent à la question une réponse partielle. Les effets de masquage dans la perception des séquences VC_aC_bV ont été mesurés par comparaison avec les séquences VC prises pour condition de contrôle. Les résultats ont révélé que les dyslexiques 1 avaient de fortes difficultés à discriminer ces séquences VC (rappelons que les dyslexiques 2 ne sont pas passés dans la condition de contrôle). Ce déficit majeur dans la condition de contrôle se traduit par le fait que les effets de masquage observés chez les dyslexiques 1 sont relativement réduits. En d'autres termes, les effets de masquage ont été probablement minimisés dans la mesure

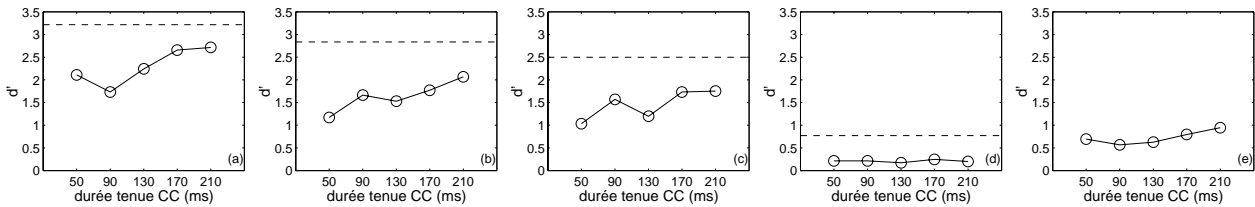


Figure 2: Discriminabilité des paires / $\epsilon dg\epsilon$ /-/ $\epsilon gg\epsilon$ / en fonction de la durée de l'intervalle V_1 - V_2 . (a) adultes, (b) témoins CM1, (c) témoins CP, (d) dyslexiques 1, (e) dyslexiques 2. Les lignes horizontales en pointillés représentent la discriminabilité dans la condition de contrôle (paires / ϵd /-/ ϵg /).

où la performance des dyslexiques 1 dans la condition de contrôle approchait déjà le plancher.

Les problèmes rencontrés par les dyslexiques 1 dans la discrimination des séquences VC (/ ϵd / et / ϵg /) soulèvent différentes questions. La principale différence acoustique entre ces deux séquences portait sur la transition finale de F_2 , descendante (1710-1610 Hz) sur les 40 dernières ms pour / ϵd /, et montante (1770-2210 Hz) sur les 60 dernières ms pour / ϵg /. Il y avait ainsi un écart de +600 Hz dans la fréquence terminale de F_2 entre / ϵd / et / ϵg /. Le fait que de telles différences dans le sens, la durée et le point d'aboutissement de la transition finale de F_2 soient difficiles à détecter par les enfants dyslexiques apportent une confirmation claire à l'idée selon laquelle ces enfants présentent un déficit dans l'identification des sons de la parole. Soulignons à ce sujet que selon différents travaux, il est plus facile à l'auditeur d'identifier le lieu d'articulation d'une occlusive dans une séquence VC que dans une séquence CV (voir par ex. [13]). Ce phénomène a été attribué par certains auteurs à l'ordre dans lequel se succèdent la partie stable de la voyelle et la transition dans chaque séquence. Dans une séquence CV, la partie stable de la voyelle prévaudrait perceptivement sur la transition, en vertu d'un effet de masquage rétroactif, ou d'un processus d'intégration temporelle attribuant un avantage à l'information la plus récente. Dans une séquence VC, la transition fait suite à la partie stable et présenterait ainsi une saillance plus grande sur le plan perceptif.

Le déficit présenté par les dyslexiques nous paraît d'autant plus remarquable qu'il a été observé pour deux groupes de dyslexiques d'âge moyen différent et testés indépendamment par des expérimentateurs différents. Les réponses apportées par les dyslexiques 2 au test 2 donnent clairement à penser que les séquences VC étaient difficiles à percevoir pour eux aussi. Des investigations électrophysiologiques seront nécessaires pour déterminer si ce déficit se manifeste ou non à un niveau pré-attentionnel. Il sera également intéressant de déterminer si les tests présentés ici peuvent se montrer utiles au clinicien dans le dépistage des dyslexies.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Véronique Rey pour de fructueuses discussions. Nous remercions également le personnel enseignant et les enfants de l'école primaire F. Mistral (Ensuès, BdR), de l'école primaire de la Tour d'Aigues (Vaucluse), et de l'école des Lavandes à Orpierre (Alpes de Hte Provence), les orthophonistes de l'APON et les enfants rencontrés par leur intermédiaire. Projet réalisé avec le soutien du Ministère de la Recherche (ACI COG 148b) et du Ministère de la Santé (PHRC UF 1639).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D.V.M. Bishop, R.P. Carlyon, J.M. Deeks *et al.* Auditory temporal processing impairment: neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *J. Speech, Lang. & Hearing Res.*, 42:1295-1310, 1999.
- [2] A.R. Bradlow, N. Kraus, T.G. Nicol *et al.* Effects of lengthened formant transition duration on discrimination and neural representation of synthetic CV syllables by normal and learning-disabled children. *J. Acoust. Soc. Am.*, 106:2086-2096, 1999.
- [3] O. Fujimura, M.J. Macchi, and L.A. Streeter. Perception of stop consonants with conflicting transitional cues: a cross-linguistic study. *Language & Speech*, 21:337-346, 1978.
- [4] M. Habib. The neurological basis of developmental dyslexia. *Brain*, 123:2373-2399, 2000.
- [5] L.B. Leonard, K.K. McGregor, and G.D. Allen. Grammatical morphology and speech perception in children with specific language impairment. *J. Speech & Hearing Res.*, 35:1076-1085, 1992.
- [6] N.A. Macmillan and C.D. Creelman. *Detection Theory: A User's Guide*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1991.
- [7] D.W. Massaro. Preperceptual images, processing time, and perceptual units in speech perception. In D.W. Massaro, editor, *Understanding language*, pages 125-150. Academic Press, NY, 1975.
- [8] D.W. Massaro. *Perceiving talking faces: From speech perception to a behavioral principle*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1998.
- [9] M.M. Merzenich, W.M. Jenkins, P. Johnston *et al.* Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271:77-80, 1996.
- [10] M. Mody, M. Studdert-Kennedy, and S. Brady. Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *J. Exp. Child Psych.*, 64:199-231, 1997.
- [11] N. Nguyen, S. Hawkins, and J. Laver, editors. *The Dynamics of Speech Perception*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK, en préparation.
- [12] S. Nittrouer. Do temporal processing deficits cause phonological processing problems? *J. Speech, Lang. & Hearing Res.*, 42:925-942, 1999.
- [13] R.N. Ohde and D.J. Sharf. Order effect of acoustic segments of VC and CV syllables on stop and vowel identification. *J. Speech & Hearing Res.*, 20:543-554, 1977.
- [14] B. Repp. Perceptual integration and differentiation of spectral cues for intervocalic stop consonants. *Perception & Psychophysics*, 24:471-485, 1978.
- [15] S. Rosen and E. Manganari. The relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia. *Speech, Hearing and Language: Work in Progress*, 11:160-186, 1999.
- [16] M. Studdert-Kennedy and M. Mody. Auditory temporal perception deficits in the reading-impaired: a critical review of the evidence. *Psychonomic Bull. & Review*, 2:508-514, 1995.
- [17] P. Tallal, S.L. Miller, G. Bedi *et al.* Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271:81-83, 1996.
- [18] P. Tallal and M. Piercy. Developmental aphasia: the perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia*, 13:69-74, 1975.
- [19] V.C. Tartter, D. Kat, A.G. Samuel *et al.* Perception of intervocalic stop consonants: the contributions of closure duration and formant transitions. *J. Acoust. Soc. Am.*, 74:715-725, 1983.
- [20] B.A. Wright, L.J. Lombardino, W.M. King *et al.* Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature*, 387:176-178, 1997.