

Déficit de compréhension de la parole dans le bruit chez le dyslexique adulte et lien avec le système efférent auditif

Véronique Boulenger¹, Michel Hoen², Claire Grataloup¹, Evelyne Veuillet³, Lionel Collet³, Fanny Meunier¹

¹Laboratoire Dynamique du Langage, UMR 5596 CNRS - Université Lyon 2, Lyon, France

²Institut de Recherche sur les Cellules Souches et le Cerveau, INSERM U846 - Université Lyon 1, Bron, France

³Laboratoire Neurosciences et Systèmes Sensoriels, UMR 5020 CNRS - Université Lyon 1, Lyon, France

Veronique.Boulenger@ish-lyon.cnrs.fr

ABSTRACT

This paper investigates speech-in-noise comprehension in adult dyslexics. We report results showing that dyslexics experience difficulties in identifying speech in multi-talker babble but that their performance is influenced by lexical variables in the same way as for normal readers. We then assess the link between speech-in-noise comprehension deficits in dyslexics and the functionality of the auditory efferent system involved in the descending control from cortical areas to the cochlea. Results reveal that despite normal functioning of the efferent system in attenuating acoustic otoemissions, dyslexics show a lack of asymmetry of this system compared to normal readers. This specific lateralization pattern could reflect a lack of asymmetry of central language areas and contribute to the speech-in-noise comprehension deficit in dyslexia.

Keywords: developmental dyslexia, speech-in-speech, auditory efferent system

1. INTRODUCTION

La dyslexie développementale est définie comme un trouble 'spécifique' de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, en l'absence de déficit intellectuel ou handicap sensoriel associé. Si les enfants dyslexiques se caractérisent d'abord par leurs difficultés d'apprentissage de la langue (lecture extrêmement lente et laborieuse, difficultés à décoder des pseudo-mots ou à épeler des mots), d'autres traits symptomatiques, tels que des troubles de production et de compréhension de la parole, sont fréquemment observés. Au niveau comportemental, on note également des difficultés scolaires et des troubles attentionnels, causés par les difficultés de compréhension orale, qui les rapprochent souvent d'enfants atteints de troubles du traitement auditif (TTA). La dyslexie est par ailleurs souvent considérée comme une pathologie infantile alors que les difficultés persistent à l'âge adulte [1]. Il est établi depuis longtemps que la dyslexie comporte une dimension acoustique ou auditive, mais, du fait de son ancrage dans les pathologies du langage, cet aspect a toujours été considéré sur le versant langagier. L'une des théories explicatives principales de la dyslexie, la théorie phonologique, suppose que la dyslexie résulte d'un déficit de représentation de l'information phonologique ou de l'accès à cette représentation lors de

la compréhension de la parole ou de la lecture [2]. De récentes études montrent que ces difficultés d'accès ne se manifestent pas de manière systématique mais seulement lorsque l'accès est rendu difficile, notamment par l'ajout de bruit ou lorsque le signal de parole est dégradé *per se*. Ziegler et al. [3] rapportent ainsi chez des enfants dyslexiques des difficultés à percevoir la parole dans le bruit qui sont généralisables à différents indices phonologiques (voisement, lieu d'articulation) et que le bruit soit extrinsèque ou intrinsèque.

Le but de la présente étude était de déterminer si cette sensibilité exacerbée à la présence de bruit lors de la compréhension de la parole persiste chez les dyslexiques adultes, et le cas échéant, si les dyslexiques utilisent des stratégies de compensation lors de l'accès lexical par rapport à des adultes normo-lecteurs. Nous avons mesuré les performances de dyslexiques et de normo-lecteurs lors de l'identification de mots et de pseudo-mots cibles dans un bruit parolier concurrent et alors que la fréquence lexicale des mots cibles était manipulée.

Nous nous sommes ensuite intéressés au fonctionnement du système auditif de nos populations. Le système auditif humain est constitué de voies ascendantes (de la périphérie vers le cortex) et de voies descendantes (du cortex vers la cochlée). Dans cette étude, nous avons évalué les capacités d'encodage périphérique de nos participants grâce à des tests audiométriques et nous avons exploré le fonctionnement d'une partie des voies efférentes, le système olivocochléaire médian (SEOCM). Des travaux réalisés chez l'humain et sur l'animal suggèrent en effet que cette voie pourrait être impliquée lors de l'écoute en contexte bruité [4-5]. En outre, une précédente étude de notre groupe a mis en évidence une corrélation élevée entre les mesures de SEOCM et les performances d'intelligibilité [6]. Sans postuler un lien direct entre cette voie et les performances d'intelligibilité de la parole dans le bruit, ce résultat nous a conduits à poursuivre son exploration.

2. INTELLIGIBILITE DE LA PAROLE DANS LA PAROLE CHEZ LES DYSLEXIQUES

2.1. Méthode

Participants

Quarante adultes normo-lecteurs (20 femmes) âgés de 18 à 25 ans ($M = 21.49$ ans) et 49 adultes dyslexiques diagnostiqués (25 femmes) âgés de 16 à 40 ans ($M = 24.73$) ont participé à cette étude. Tous les participants avaient une vue normale ou corrigée et ne présentaient aucun trouble auditif. Les participants ont signé un formulaire de consentement et ont été dédommagés pour leur participation.

Stimuli

Mots cibles

Cent-vingt mots ont été sélectionnés dans la base de données Lexique 2 [7]. Tous les mots étaient des noms communs de la langue française, monosyllabiques et composés de trois phonèmes. La moitié des mots était de haute fréquence ($50.1 < f+ < 149.23$ occurrences par million, $M = 66.39$), l'autre de basse fréquence ($1 < f- < 4.94$ occurrences par million, $M = 2.54$). Les 120 mots ont été enregistrés (22 kHz, 16 bits, mono) dans un caisson insonorisé par une locutrice de langue maternelle française. Les enregistrements ont ensuite été normalisés à une intensité de -3dB puis segmentés en 120 fichiers indépendants contenant chacun un mot cible.

Pseudo-mots cibles

Cent-vingt pseudo-mots monosyllabiques ont été créés en recombinaison des phonèmes des mots cibles. Tous les pseudo-mots respectaient les contraintes phonotactiques du français. Les 120 pseudo-mots ont été enregistrés, normalisés et segmentés selon la même procédure que celle utilisée pour les mots.

Bruits de fond *cocktail party*

Les bruits de fond étaient constitués de bruits *cocktail party* enregistrés par 8 locuteurs de langue maternelle française (4 femmes) dans un caisson insonorisé (44 kHz, 16 bits, stéréo). Les locuteurs devaient lire des listes de mots de fréquence lexicale moyenne dans la langue. Les enregistrements individuels ont été vérifiés et modifiés selon le protocole suivant : (i) suppression des pauses excédant 1 seconde et des mots contenant des erreurs de prononciation, (ii) réduction du bruit optimisée pour les sons de parole et (iii) calibration de l'intensité en dB-A et normalisation de chaque source à 80dB-A. Les bruits *cocktail party* ont été créés en mixant les enregistrements individuels, en équilibrant le genre des locuteurs (50% femmes, 50% hommes) et en variant le nombre de locuteurs dans le cocktail (4, 6 ou 8). Au total, 3 bruits *cocktail party* mixtes ont donc été générés (C4, C6 et C8).

Stimuli expérimentaux

Les stimuli expérimentaux ont été créés en mixant les 120 mots et 120 pseudo-mots cibles avec des extraits de *cocktail party* de 4 secondes choisis aléatoirement. Les mots et pseudo-mots cibles étaient systématiquement insérés 2.5 s après le début de l'extrait sonore. Au travers des participants, chaque cible apparaissait dans chaque type de cocktail et n'était entendue qu'une seule fois. Une normalisation en intensité aléatoire sur une gamme de \pm

3dB par pas de 1dB a été appliquée aux stimuli de sorte que leur intensité globale ne prédisait pas la condition expérimentale.

Procédure

Les participants étaient assis face à un écran d'ordinateur et devaient écouter attentivement les stimuli présentés en mode binaural grâce à un casque audio à un niveau d'écoute confortable. Les participants normo-lecteurs devaient retranscrire au clavier le mot ou le pseudo-mot cible entendu alors que les dyslexiques devaient répéter l'item cible entendu. L'expérience débutait par une phase d'entraînement de 12 items (différents des stimuli expérimentaux) non pris en compte dans les analyses. Tous les bruits, listes de mots et conditions ont été distribués pseudo-aléatoirement entre les participants. Les stimuli composés de mots cibles et de pseudo-mots cibles étaient présentés dans deux sessions différentes, chacune durant 30 min. Les transcriptions des participants ont été codées en valeurs numériques puis analysées en termes de pourcentage d'items correctement reproduits.

2.2. Résultats

Les performances des deux groupes de participants ont été comparées grâce à une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées incluant les facteurs Groupe (normo-lecteurs vs. dyslexiques), Lexicalité (mots vs. pseudo-mots) et Nombre de Voix dans le cocktail (C4 vs. C6 vs. C8). En moyenne, les normo-lecteurs ont obtenu des performances de restitution des items cibles meilleures (49.96%, ET = 6.29) que les dyslexiques (43.45%, ET = 8.07; $F(1, 87) = 22.81$, $p < .001$). Cette baisse des performances chez les dyslexiques était observée à la fois pour les mots (-6.18%) et les pseudo-mots (-6.83%). Un effet significatif du facteur Lexicalité a également émergé ($F(1, 39) = 717.16$, $p < .001$), les mots étant mieux restitués (57.41%, ET = 6.59) que les pseudo-mots (36%, ET = 7.76). Cet avantage lexical était observé aussi bien chez les normo-lecteurs (mots : 60.5%, ET = 5.46 vs. pseudo-mots : 39.42%, ET = 7.02 ; $F(1, 39) = 394.87$, $p < .001$) que chez les dyslexiques (mots : 54.32%, ET = 7.63 vs. pseudo-mots : 32.59%, ET = 8.51 ; $F(1, 48) = 498.17$, $p < .001$; Figure 1). La magnitude de l'avantage lexical (différence entre les performances d'intelligibilité pour les mots et les performances pour les pseudo-mots) était en outre comparable chez les deux groupes de participants (normo-lecteurs : 21.08% ; dyslexiques : 21.73%). Un effet significatif du Nombre de Voix dans le cocktail a enfin été observé ($F(2, 78) = 5.34$, $p < .01$), la restitution des items cibles étant moins bonne dans un cocktail à 8 voix (C4 : 47.04%, ET = 8.56 ; C6 : 47.95%, ET = 7.97 ; C8 = 45.12%, ET = 7.56). Aucune interaction significative entre les facteurs testés n'a été observée.

Une analyse des performances des participants pour identifier les mots cibles a par ailleurs mis en évidence un effet significatif de la Fréquence Lexicale des mots sur les scores de restitution ($F(1, 39) = 1251.35$, $p < .001$). Les mots fréquents ($f+ : 68.03%$, ET = 10.81) étaient mieux

restitués que les mots peu fréquents (f- : 46.18%, ET = 11.9), tant chez les normo-lecteurs (f+ : 71.08%, ET = 6.39 vs. f- : 49.92%, ET = 6.73 ; $F(1, 39) = 368.72, p < .001$) que chez les dyslexiques (f+ : 65.54%, ET = 7.5 vs. f- : 43.1% , ET = 9.25 ; $F(1, 48) = 488.11, p < .001$; Figure 1). Cette supériorité des mots fréquents sur les mots peu fréquents était d'ailleurs comparable chez les deux groupes de participants (normo-lecteurs : 21.17% ; dyslexiques : 22.40%). En outre, le déficit des dyslexiques pour comprendre les mots dans le bruit était identique quelle que soit leur fréquence lexicale (f+ : -5.54% ; f- : -6.79%).

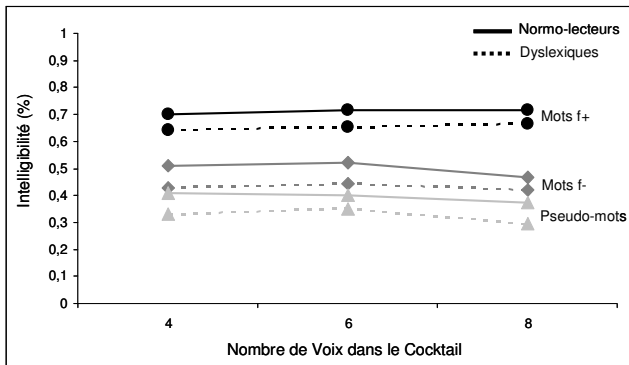


Figure 1 : Performances d'intelligibilité (%) des mots cibles fréquents (f+) et peu fréquents (f-), et des pseudo-mots cibles pour les normo-lecteurs et les dyslexiques en fonction du nombre de voix dans le cocktail.

2.3. Discussion

Les résultats montrent un déficit de compréhension de la parole dans la parole chez les dyslexiques adultes, à la fois lorsque le signal cible est un mot et un pseudo-mot. Si leurs performances sont globalement inférieures à celles des normo-lecteurs, les dyslexiques sont néanmoins sensibles aux propriétés psycholinguistiques des mots tout autant que les normo-lecteurs. Les performances des deux populations en situation de *cocktail party* sont ainsi influencées par la lexicalité du signal cible (les mots sont plus faciles à identifier que les pseudo-mots) et par la fréquence des mots cibles (les mots fréquents sont plus faciles à identifier que les mots peu fréquents). La taille de ces effets lexicaux est par ailleurs remarquablement similaire entre les deux groupes de participants. Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que les dyslexiques adultes ne s'appuient pas sur l'information lexicale de manière plus importante que les normo-lecteurs lors de l'identification de la parole dans la parole. Les dyslexiques n'utiliseraient donc pas de stratégies lexicales de compensation spécifiques pour reconnaître les mots en situation bruitée.

3. EVALUATION DU SYSTEME AUDITIF

3.1. Méthode

Participants

Dix-huit dyslexiques ont été sélectionnés parmi ceux ayant participé aux tests comportementaux et 18 participants normo-lecteurs leur ont été appariés en genre (10 femmes), âge ($M = 25$ ans) et latéralité manuelle (droitiers). Tous les participants étaient volontaires et ont été dédommagés pour leur participation.

Tests auditifs

Les tests auditifs ont été pratiqués dans le service Explorations Fonctionnelles de l'Hôpital Édouard Herriot à Lyon. L'ensemble des tests durait entre 1h et 1h30.

Les mesures auditives comprenaient la vérification du fonctionnement du système auditif périphérique par une audiométrie tonale dans le silence et une tympanométrie. Les mesures audiométriques tonales permettent de vérifier l'intégrité de l'oreille interne en établissant une mesure quantitative du seuil de détection de sons purs pour chaque oreille. La tympanométrie est un examen permettant de mesurer la souplesse du tympan et la présence du réflexe stapédien (contraction du muscle de l'étrier de l'oreille moyenne) qui protège l'oreille interne en cas de sur-stimulation acoustique (à partir de 75 dB en moyenne).

La fonctionnalité du SEOCM a été évaluée de façon non invasive en mesurant son effet supprimeur sur les otoémissions acoustiques provoquées (OEAP), sons produits par les cellules ciliées externes de la cochlée [8]. Nous avons ainsi pu calculer l'atténuation équivalente pour chaque oreille (AE) et un quotient de latéralité (QL) pour chaque participant, qui correspond à la différence d'AE entre les deux oreilles [9]. Une valeur positive indique une prévalence de l'oreille gauche, une valeur négative indique que le système efférent droit est plus inhibiteur que le gauche.

3.2. Résultats

Audiométrie tonale

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

Système efférent

Pour les dyslexiques, l'AE de l'oreille droite ne différait pas de celle de l'oreille gauche ($AE_{droite} = -3.12, ET = 2.52$; $AE_{gauche} = -3.26, ET = 2.11$; $F(1, 34) < 1, n.s.$). En moyenne, le système auditif des participants dyslexiques était très faiblement latéralisé à gauche avec un quotient de latéralité 'oreille droite - oreille gauche' de 0.13 ($ET = 1.47$). En revanche, pour les normo-lecteurs, l'AE de l'oreille droite tendait à être plus importante que celle de l'oreille gauche ($AE_{droite} = -2.68, ET = 1.54$; $AE_{gauche} = -1.85, ET = 0.98$; $F(1, 34) = 3.69, p = .06$). En moyenne, le système auditif des témoins était latéralisé à droite avec un quotient de latéralité de -0.83 ($ET = 1.3$).

Une analyse inférentielle a permis de mettre en évidence un QL significativement différent entre les deux groupes de participants ($F(1, 34) = 4.29, p < .05$).

3.3. Discussion

Les tests d'audiométrie tonale montrent que les participants des deux groupes ont tous des seuils d'audition normaux. Les mesures de système efférent révèlent chez les participants dyslexiques une symétrie des voies auditives descendantes, alors que les normo-lecteurs présentent une latéralisation de ces voies en faveur du côté droit. D'après les travaux de Khalifa et al. [10], un SEOCM efficace est caractérisé par la présence d'AE dans les deux oreilles mais surtout par une asymétrie fonctionnelle d'ailleurs liée à la latéralité manuelle. Étant donné que tous nos participants (dyslexiques et normo-lecteurs) étaient droitiers, nous aurions dû observer une asymétrie du SEOCM en faveur du côté droit. Le fait que ce résultat n'ait été observé que chez le groupe témoin suggère clairement une anomalie de fonctionnement du SEOCM chez notre population dyslexique. Il est cependant notable que cette anomalie ne vient pas d'une faiblesse des AE (AE supérieure pour la population dyslexique) mais bien d'un problème de latéralisation.

4. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Cette étude révèle l'existence d'un déficit de compréhension de la parole dans le bruit chez le dyslexique adulte, confirmant les résultats observés chez les enfants [3], et la persistance de ces difficultés malgré une expertise langagière plus forte et la mise en place possible de stratégies compensatoires chez l'adulte dyslexique. Nos résultats comportementaux ne révèlent aucune particularité stratégique chez les dyslexiques (influence lexicale plus forte ou modulation de l'effet de fréquence lexicale par exemple), et montrent, au contraire, un pattern de sensibilité au bruit et aux paramètres psycholinguistiques parfaitement identique à celui des normo-lecteurs. Ces résultats suggèrent donc un trouble de bas niveau, d'ordre sensoriel, pré-perceptuel.

En accord avec cette interprétation, nous avons observé un déficit d'asymétrie du SEOCM chez le dyslexique adulte, suggérant une latéralisation moins marquée de l'ensemble du système auditif. Ce résultat est en accord avec ceux de Kumar et Vanaja [4] montrant une corrélation entre fonctionnalité du SEOCM et compréhension de la parole dans le bruit pour certains rapports signal/bruit. Il s'accorde également avec les travaux de Veillet et al. [9] rapportant un défaut d'asymétrie du SEOCM chez des enfants dyslexiques.

Notre étude permet ainsi de mettre en évidence un lien, chez l'adulte dyslexique, entre défaut fonctionnel du système auditif périphérique et déficit comportemental général dans une tâche de compréhension de la parole dans le bruit. La nature de ce lien reste toutefois à élucider. Le SEOCM pourrait en effet être directement impliqué dans le 'débruitage' de sources de parole

concurrentes, ce qui resterait à établir directement. Mais il se pourrait également, comme suggéré par Grataloup et al. [11], que le déficit de symétrisation observé au niveau du SEOCM reflète d'autres asymétries fonctionnelles atypiques observées au niveau central chez les dyslexiques.

5. REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par une bourse de la région Rhône Alpes et par une Starting Grant de l'European Research Council (ERC ; projet SpiN) attribuées à F. Meunier.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] P.N. Sanchez and D. Coppel. Adult outcomes of verbal learning disability. *Seminar in Clinical Neuropsychiatry*, 5(3):205-209, 2000.
- [2] F. Ramus and G. Szenkovits. What phonological deficit? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1):129-141, 2008.
- [3] J.C. Ziegler, C. Pech-Georgel, F. George, and C. Lorenzi. Speech-perception-in-noise deficits in dyslexia. *Developmental Science*, 12(5):732-745, 2009.
- [4] A. Kumar and C.S. Vanaja. Functioning of olivocochlear bundle and speech perception in noise. *Ear and Hearing*, 25:142-146, 2004.
- [5] J. de Boer and A.D. Thornton. Neural correlates of perceptual learning in the auditory brainstem: efferent activity predicts and reflects improvement at a speech-in-noise discrimination task. *Journal of Neuroscience*, 28:4929-4937, 2008.
- [6] C. Grataloup. *La reconstruction cognitive de la parole dégradée: Etude de l'intelligibilité comme indice d'une capacité cognitive humaine*. Thèse de Doctorat, Université Lyon 2, 2007.
- [7] B. New, C. Pallier, M. Brysbaert and L. Ferrand. Lexique 2: A New French Lexical Database. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.*, 36(3):516-24, 2004.
- [8] D.T. Kemp. Evoked acoustic emissions from human auditory system. *Journal of Acoustical Society of America*, 64:1386-1391, 1978.
- [9] E. Veillet, F. Bazin and L. Collet. Objective evidence of peripheral auditory disorders in learning-impaired children. *Journal of Audiology and Medicine*, 8:18-29, 1999.
- [10] S. Khalifa, E. Veillet and L. Collet. Influence of handedness on peripheral auditory asymmetry. *European Journal of Neuroscience*, 10(8):2731-2737, 1998.
- [11] C. Grataloup, M. Hoen, E. Veillet, L. Collet, F. Pellegrino and F. Meunier. Speech restoration: An interactive process. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 52(4):827-838.