

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Effet du type de bruit sur le démasquage binaural chez l'adulte dyslexique

Marjorie Dole¹, Michel Hoen², Fanny Meunier¹

¹Laboratoire Dynamique du Langage, 14 avenue Berthelot, 69363 Lyon Cedex 07, {marjorie.dole, fanny.meunier}@univ-lyon2.fr

²Stem Cell and Brain Research Institute, 18 avenue Doyen Lépine, 69675 Bron Cedex, michel.hoen@inserm.fr

La dyslexie est un trouble de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, en l'absence de déficits neurologiques ou intellectuels. Des troubles auditifs sont par ailleurs fréquemment associés, parmi lesquels on note des déficits de la compréhension de la parole dans le bruit (Cunningham & al., 2001 ; Ziegler & al., 2007). Une autre caractéristique régulièrement observée dans cette population est la présence de troubles de l'asymétrie, tant au niveau central (Habib, 2000) que périphérique (Veillet & al., 2007).

Le but de la présente étude est d'évaluer dans quelle mesure les indices binauraux sont utilisés par le sujet dyslexique adulte en situation de compréhension de la parole dans le bruit, en étudiant l'effet du type de bruit sur le démasquage binaural.

Pour ceci, nous avons présenté à 20 sujets dyslexiques et 20 sujets normo-lecteurs des stimuli auditifs composés de 120 mots bisyllabiques présentés dans différents types de bruits : un bruit stationnaire, un bruit fluctuant et un cocktail de paroles à quatre voix mixtes.

Chez le sujet normo-lecteur, les résultats montrent un masquage informationnel important en condition monaurale, notamment lorsque le bruit concurrent est un cocktail de parole, ce qui montre que les indices linguistiques lexicaux et phonologiques sont prédominants dans l'effet de masquage. Ce masquage informationnel est cependant réduit en condition binaurale, ce qui nous indique que le démasquage binaural résiste aux interférences linguistiques créées par le cocktail de parole.

Chez les sujets dyslexiques, on observe des performances plus faibles que les normo-lecteurs en condition monaurale lorsque le bruit concurrent est un bruit de parole: ceux-ci ont donc davantage de difficultés pour séparer les différentes sources de parole lorsqu'elles sont spatialement proches. Cependant nos résultats n'ont révélé aucun déficit dans l'utilisation des indices binauraux pour séparer les différentes sources sonores.

1 Introduction

La dyslexie développementale est définie comme un trouble de l'apprentissage affectant l'acquisition des compétences en lecture et en écriture. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer les causes de ce trouble, la plus courante étant celle d'un déficit dans l'utilisation et/ou la représentation de l'information phonologique. Ces troubles phonologiques pourraient reposer sur un déficit de perception de la parole. Cependant, peu d'études ont réussi à montrer un tel déficit et les résultats sont plutôt ambigus [1, 2, 3], peut être parce que de nombreuses études ont cherché à mettre en évidence ce déficit dans des conditions d'écoute silencieuse. Or, les troubles caractérisant les dyslexiques sont souvent difficiles à observer en condition non-aversive, alors qu'ils sont magnifiés dans des situations plus difficiles (stress, bruit concurrent, etc).

Depuis quelques années, plusieurs études se sont ainsi intéressées à la perception de la parole dans le bruit chez le dyslexique. Ces études ont montré chez des enfants ayant des troubles développementaux du langage un déficit de perception de la parole dans le bruit mais pas dans le silence [4, 5]. Ces données sont corroborées par des données neurophysiologiques montrant des réponses neuronales altérées dans le bruit mais pas dans le silence [6].

Du point de vue cortical, de nombreuses études expliquent l'origine du trouble dyslexique par un dysfonctionnement des aires temporales postérieures gauche associées au traitement phonologique [7]. La dyslexie semble aussi associée à des asymétries fonctionnelles moins marquées voire absentes; des résultats en MEG ont par exemple montré que la N1m enregistrée en

réponse à la syllabe /ba/ était localisée plus postérieurement dans le cortex auditif droit chez les sujets dyslexiques adultes, produisant un pattern plus symétrique que chez les sujets normo-lecteurs [8]. Des enregistrements de potentiels évoqués auditifs en réponse aux syllabes /ba/ et /pa/ montrent une altération de la latéralisation à gauche chez des sujets adultes ayant un historique de dyslexie [9]. Au niveau anatomique, des anomalies péri-sylviennes ont été observées, telles qu'une moindre asymétrie du *planum temporale* corrélée aux résultats lors d'une tâche d'écoute dichotique [10], ou une moindre asymétrie des régions pariétales inférieures [11].

Ces anomalies de l'asymétrie corticale semblent aller de pair avec, au niveau périphérique, une réduction de l'asymétrie du système auditif efférent. Il s'agit d'une voie neuronale partant du cortex auditif primaire pour exercer un rétrocontrôle au niveau cochléaire et qui semble par ailleurs être impliquée dans la compréhension de la parole dans le bruit [12]. En 2007, Veillet et al. ont montré une réduction de l'asymétrie de ce système chez des enfants dyslexiques, corrélée à une altération de la perception du voisement [13].

Ainsi il est envisageable que le déficit comportemental de perception de la parole dans le bruit observé chez les dyslexiques puisse être mis en rapport avec des anomalies structurales et fonctionnelles de l'asymétrie du système auditif. Une explication possible serait que ce défaut d'asymétrie observé chez les sujets dyslexiques soit un frein à l'utilisation d'indices acoustiques binauraux comme les différences interaurales, indices cruciaux pour la compréhension de la parole bruitée. Afin de tester la capacité d'utilisation de ces indices chez le sujet dyslexique, nous proposons une expérience de

compréhension de la parole dans le bruit comparant des configurations d'écoute favorisant l'utilisation d'indices binauraux (démasquage binaural) ou au contraire l'abolissant (écoute monaurale). Ceci nous permettra d'évaluer les capacités de démasquage binaural chez le sujet dyslexique adulte, en fonction de la nature du bruit utilisé.

Le démasquage binaural est défini comme l'amélioration de l'intelligibilité d'un mot cible présenté avec du bruit dans les deux oreilles par rapport à une situation d'écoute monaurale où cible et bruit sont présentés dans une seule oreille. Il est notamment dû à l'utilisation d'indices binauraux qui aident à séparer les deux flux concurrents selon des critères spatiaux. Des résultats précédemment obtenus chez le sujet normo-lecteur ont montré que cet effet de démasquage est plus important dans le cas d'un masquage informationnel de haut niveau (bruit de parole) que d'un masquage informationnel de bas niveau (bruit large spectre fluctuant) ou d'un masquage énergétique (bruit large spectre stationnaire) [14].

Le but de notre étude est donc d'évaluer de quelle manière le démasquage binaural est modulé chez le sujet dyslexique, en étudiant son amplitude dans différentes conditions de masquage.

2 Méthode

2.1 Participants et procédure

19 participants diagnostiqués dyslexiques âgés de 18 à 44 ans (moyenne : 24.9, D.S. : 5.79) et 19 participants normo-lecteurs appariés en âge (moyenne : 23.3, D.S. : 5.84) ont participé à l'expérience. Tous sont de langue maternelle française, droitiers et sans troubles auditifs. Leurs seuils auditifs ont été vérifiés à l'aide d'une audiométrie tonale ; sont exclues de l'expérimentation les personnes ayant des seuils auditifs supérieurs à 20dB dans le silence dans une gamme de fréquence de 125 à 8000 Hz.

Leur tâche consiste à écouter des stimuli auditifs, présentés à l'aide d'un casque audio (Beyerdynamic DT48, 200 Ω). Les stimuli sont composés de mots présentés dans différents types de bruit. Il est demandé aux sujets de répéter le mot qu'ils ont entendu.

2.2 Stimuli

Mots cibles

126 mots bisyllabiques ont été sélectionnés dans une gamme de fréquence d'occurrence moyenne (de 0.23 à 338.19, moyenne : 16.81, D.S. : 43.74) selon la base de donnée Lexique 2 [15]. Ils sont prononcés par une voix féminine et enregistrés dans une pièce insonorisée.

Bruits

Trois types de bruits ont été utilisés : un bruit de paroles (Cocktail), un bruit fluctuant (Speech-shaped Noise, SSN) et un bruit stationnaire (Broadband Noise, BBN).

Le bruit de Cocktail a été construit en mélangeant 4 voix (2 voix féminines, 2 masculines) ; chaque locuteur a été enregistré dans une pièce insonorisée, lisant des extraits de journaux français. Chaque extrait individuel a été traité selon le protocole suivant : 1) suppression des silences de plus de 1 seconde ; 2) suppression des phrases contenant

des erreurs de prononciation, une prosodie exagérée ou des noms propres ; 3) réduction du bruit optimisée pour les signaux de parole ; 4) normalisation à 80dBA ; 5) mixage de chaque source afin d'obtenir un cocktail à 4 voix.

Le bruit fluctuant (SSN) contient les mêmes caractéristiques spectro-temporelles que le bruit Cocktail. Pour ceci, nous avons extrait de notre bruit Cocktail l'enveloppe temporelle en dessous de 60Hz, puis nous avons calculé l'énergie spectrale du signal d'origine et en avons extrait la distribution des phases (Transformée de Fourier). Les phases ont ensuite été redistribuées de façon aléatoire, puis réinjectées dans l'enveloppe temporelle du signal d'origine. Enfin, l'énergie globale du signal obtenu a été ajustée à celle du signal original. Le bruit résultant possède donc la même énergie spectrale et la même enveloppe temporelle que le signal original, mais sans informations linguistiques.

Le bruit stationnaire (BBN) a été généré de la même manière, mais en éliminant l'enveloppe temporelle du signal d'origine. Il contient donc uniquement l'information spectrale du signal d'origine.

Stimuli et listes de mots

Les stimuli ont été générés en mixant chaque mot avec une séquence de 4 secondes de bruit, le mot étant toujours inséré à 2,5 secondes.

3 configurations de présentation ont été testées : 1) une configuration dichotique (S_N), avec le mot cible présenté dans une oreille et le bruit présenté dans l'oreille controlatérale ; 2) une configuration monaurale (SN_Si), avec le bruit et le mot présentés dans l'oreille cible ; 3) une configuration hybride monaurale/dichotique (SN_N) avec le mot diffusé dans l'oreille cible et le bruit diffusé dans les deux oreilles, cette dernière configuration donnant lieu à un effet de démasquage binaural en comparaison avec la condition monaurale. Pour chaque configuration, les 3 bruits ont été testés, ce qui donne 9 conditions de stimulation, avec 14 mots par condition.

Condition	Oreille Cible	Oreille Controlatérale	Bruit
S_N	Cible	Bruit	BBN SSN Cocktail
SN_Si	Cible / Bruit	Silence	BBN SSN Cocktail
SN_N	Cible / Bruit	Bruit	BBN SSN Cocktail

Table 1 : conditions utilisées dans cette expérience

Les stimuli ont été présentés à une intensité de 65dB, avec un rapport signal/bruit de 0 dB dans l'oreille ipsilatérale et une intensité dans l'oreille contralatérale de 20dB inférieure à l'oreille ipsilatérale.

9 listes de stimuli ont été créées, afin qu'à travers les listes, chaque mot soit présenté dans chaque bruit et avec chaque configuration de présentation. Dans chaque liste, les fréquences d'occurrence des mots sont contrebalancées entre les différentes conditions. Chaque sujet écoute deux blocs de 63 mots, l'un étant présenté dans l'oreille gauche,

l'autre dans l'oreille droite. A travers les sujets, l'ordre de présentation des deux blocs est contrebalancé.

3 Résultats

Les pourcentages de mots correctement restitués (taux d'identification) ont été transformés en 'unités rationalisées arcsinus' (scores RAU). Ces scores ont ensuite été utilisés comme variable dépendante dans une ANOVA à mesures répétées à 5 facteurs, avec la population (Population) et l'ordre de présentation du bloc (Ordre) comme facteur inter-sujets et l'oreille de présentation du mot (Oreille), le bruit (Bruit) et la configuration de présentation (Configuration) comme facteurs intra-sujets.

Cette analyse a révélé un effet significatif de la Population ($F(1,34)=7.33$, $p<.05$) ; comme le montre la Figure 1, les scores d'intelligibilité des participants dyslexiques sont inférieures à ceux des normo-lecteurs.

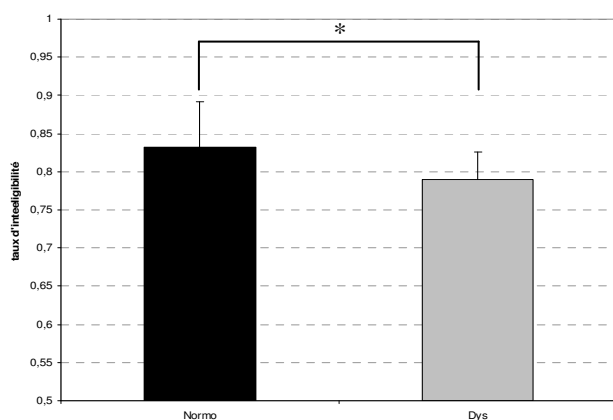


Figure 1 : taux d'intelligibilité selon la population. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type.

L'ANOVA révèle également un effet significatif du facteur Configuration ($F(2,68)=237.52$, $p<.001$). En effet, comme le montre la Figure 2, les performances en configuration S_N plafonnent autour de 97% ; en configuration SN_Si, ces performances chutent vers 68%, cette différence étant statistiquement significative ($F(1,34)=616.62$, $p<.001$). Nous observons un effet de démasquage binaural, l'ajout d'un bruit contralatéral améliorant les performances dans la configuration SN_N par rapport à la condition SN_Si ($F(1,34)=40.52$, $p<.001$). Les performances pour les conditions S_N et SN_N sont également différentes ($F(1,34)=220.64$, $p<.001$).

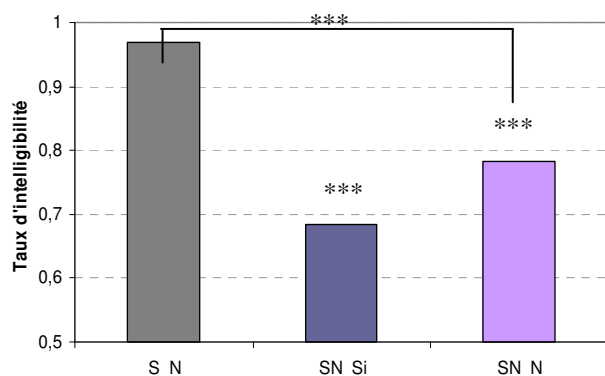


Figure 2: Effet de la configuration sur le taux d'intelligibilité dans les deux populations

Nous obtenons également un effet significatif du type de bruit masquant ($F(2,68)=6.2285$, $p<.05$) ; les comparaisons planifiées ont révélé que le Cocktail génère davantage d'erreurs que le SSN ($F(1,34)=7.35$, $p<.05$) et le BBN ($F(1,34)=7.80$, $p<.01$), ces deux bruits ne différant pas l'un de l'autre.

Nous avons également obtenu une interaction Bruit*Configuration ($F(4,136)=7.85$, $p<.001$), comme le montre la Figure 3, révélant qu'en configuration S_N et SN_N, les 3 bruits ne sont pas significativement différents, tandis qu'en configuration SN_Si, le bruit Cocktail produit significativement plus d'erreurs que le bruit BBN ($F(1,34)=14.22$, $p<.001$) et le bruit SSN ($F(1,34)=29.74$, $p<.001$).

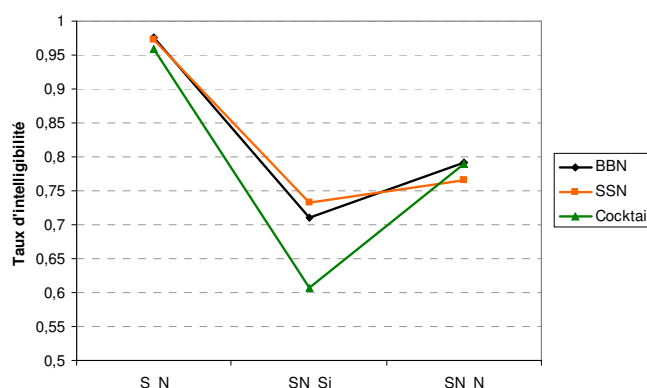


Figure 3: Intelligibilité selon le bruit et la configuration dans les deux populations

Nous obtenons également un effet de démasquage binaural significatif pour le bruit BBN, avec de meilleures performances dans la configuration SN_N par rapport à la configuration SN_Si ($F(1,34)=10.26$, $p<.005$), de même que pour le bruit Cocktail ($F(1,34)=53.08$, $p<.001$). Cet effet, bien que présent, n'est pas significatif pour le bruit SSN ($F(1,34)=1.66$, $p=0.21$).

L'ANOVA nous a également révélé une interaction Population*Bruit*Configuration ($F(4,136)=2.79$, $p<.05$), comme le montre la Figure 4. Les comparaisons planifiées montrent que pour le bruit BBN, les performances des sujets dyslexiques ne sont pas différentes de celles des normo-lecteurs, que ce soit pour la configuration S_N ($F(1,34)=1.36$, $p=0.25$), SN_Si ($F(1,34)=0.12$, $p=0.73$) ou SN_N ($F(1,34)=0.73$, $p=0.4$). Pour le bruit SSN, les performances des sujets dyslexiques ne sont pas significativement différentes de celles des sujets normo-lecteurs dans la configuration S_N ($F(1,34)=0.98$, $p=.33$) ou dans la configuration SN_Si ($F(1,34)=0.23$, $p=.06$), par contre les sujets dyslexiques obtiennent des résultats inférieurs dans la configuration SN_N ($F(1,34)=5.1$, $p<.05$). Il en résulte une absence de démasquage binaural pour le bruit SSN chez les dyslexiques ($F(1,34)=0.001$, $p=0.97$) tandis que les sujets normo-lecteurs tendent à démasquer dans ce bruit ($F(1,34)=3.45$, $p=.07$). Dans le bruit Cocktail, les performances des participants dyslexiques sont inférieures à celles des sujets normo-lecteurs dans la configuration S_N ($F(1,34)=6.18$, $p<.05$) ainsi que dans la configuration SN_Si ($F(1,34)=15.05$, $p<.001$) et ne diffèrent pas dans la configuration SN_N ($F(1,34)=0.19$, $p=0.66$).

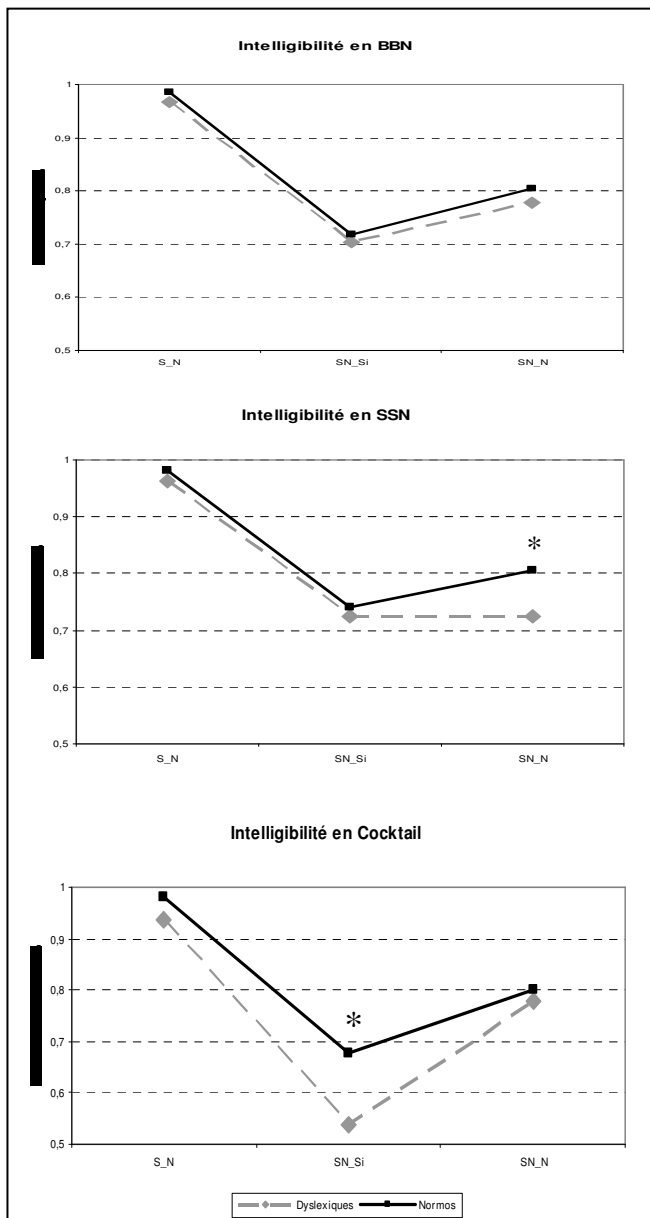


Figure 4 : Intelligibilité selon la configuration, le bruit et la population

L'amplitude du démasquage binaural est évaluée en soustrayant les performances obtenues dans la configuration SN_Si à celles obtenues dans la configuration SN_N. Une ANOVA à 2 facteurs (facteur intersujet : Population, facteur intra-sujets : Bruit) à été réalisée sur les résultats obtenus.

Les résultats de cette analyse ne montrent pas d'effet significatif du facteur Population ($F(2,72)=0.021$, $p=0.65$) mais un effet significatif du facteur Bruit ($F(2,72)=10.15$, $p<0.001$). Les comparaisons planifiées montrent que l'amplitude du démasquage binaural est plus importante dans le bruit Cocktail que dans le bruit BBN ($F(1,36)=7.41$, $p<0.01$) et dans le bruit SSN ($F(1,36)=18.21$, $p<0.001$), ces deux bruits ne différant pas entre eux ($F(1,36)=2.82$, $p=0.1$). Nous obtenons également une interaction Population*Bruit ($F(2,72)=3.71$, $p<0.05$). Les comparaisons planifiées montrent que les deux populations ne diffèrent pas l'une de l'autre pour le bruit BBN ($F(1,36)=0.05$, $p=0.81$) et le bruit SSN ($F(1,36)=1.83$, $p=0.18$), mais que l'amplitude du démasquage binaural dans le bruit Cocktail est significativement plus importante chez les sujets

dyslexiques par rapport aux participants normo-lecteurs ($F(1,36)=4.89$, $p<0.05$). (Figure 5).

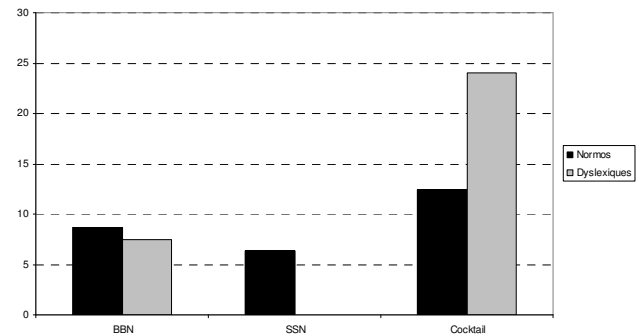


Figure 5 : Amplitude du démasquage binaural en fonction du bruit et de la population

4 Discussion

Nous avons cherché ici à étudier l'influence du type de bruit sur le démasquage binaural en comparant une population de sujets dyslexiques adultes avec une population de normo-lecteurs. Nos résultats ont montré pour l'ensemble des sujets un effet de la configuration de présentation : en configuration dichotique, les sujets obtiennent environ 97% de bonnes réponses. En effet, dans cette condition, la séparation entre les deux sources est maximale, et les sujets n'ont donc aucune difficulté à les discriminer. En condition monaurale, nous avons observé un effet de masquage important du mot cible par le bruit, avec des performances chutant à 71%. En effet, dans cette condition, la cible et le bruit concurrent sont situés du même côté, et les sujets ne disposent d'aucun indice spatial pour les aider à discriminer les deux sources sonores. Cet effet est particulièrement important dans le cadre d'un masquage informationnel de haut niveau représenté par la condition Cocktail (60.7% de réponses correctes). Nous pouvons donc en déduire que les informations linguistiques présentes dans le bruit Cocktail, comme les indices phonologiques et lexicaux, créent davantage d'interférences que des indices de bas niveau comme l'information spectrale (BBN) ou temporelle (SSN).

Nous avons également obtenu un effet de démasquage binaural, avec des performances globales s'améliorant dans la condition SN_N (77% de réponses correctes). Les comparaisons planifiées nous ont cependant montré que cet effet de démasquage binaural est modulé par le type de bruit de fond utilisé, et semble plus important lorsque le bruit de fond est un cocktail de parole, c'est-à-dire dans le cadre d'un masquage informationnel de haut niveau. Ces résultats sont en accord avec les résultats que nous avons précédemment obtenus chez des sujets normo-lecteurs[14].

Nos résultats ont également montré un effet du facteur Population sur l'intelligibilité de la parole dans le bruit : en effet les participants dyslexiques semblent davantage affectés par le masquage de la parole par du bruit environnant que les participants normo-lecteurs. Ce résultat confirme des données précédemment obtenues par Bradlow & al. en 2003 chez des enfants ayant des troubles de l'apprentissage [4], et Ziegler & al en 2009 chez des enfants dyslexiques [5]. Ce déficit serait donc présent dès l'enfance et persisterait à l'âge adulte.

L'interaction Population*Bruit*Configuration nous montre cependant que ce déficit de compréhension de la

parole dans le bruit est dépendant des conditions de stimulation.

En effet, les participants dyslexiques semblent peu affectés en configuration dichotique (S_N) malgré une légère diminution des performances lorsque le bruit masquant est un cocktail de parole (94% de bonnes réponses contre 98% chez les normo-lecteurs). Ils ont en revanche davantage de difficultés en configuration monaurale, notamment lorsque le bruit utilisé est un cocktail de parole (54% de réponses correctes contre 67% chez les sujets normo-lecteurs). Ceci semble donc indiquer qu'ils auraient encore davantage de difficultés à distinguer les deux sources de parole lorsque celles-ci ne sont pas spatialement séparées. En revanche, nous n'observons aucun déficit du traitement des indices binauraux lorsque ceux-ci sont de nature linguistique, puisque les performances en configuration SN_N rattrapent celles des sujets normo-lecteurs. Ces résultats semblent donc suggérer que nos participants dyslexiques sont parvenus à ce qui à compenser le déficit produit par l'ajout du bruit Cocktail grâce à l'utilisation des indices binauraux.

Dans le bruit SSN en revanche, on note chez les sujets dyslexiques des performances inférieures à celles des normo-lecteurs dans la configuration SN_N, ce qui résulte en une absence de démasquage binaural. Les participants dyslexiques pourraient donc avoir un déficit de l'utilisation des indices binauraux lorsque le bruit utilisé est un bruit fluctuant.

Or, les bruits BBN et SSN ont été construits en conservant l'enveloppe temporelle du cocktail de parole pour le bruit SSN, et son information spectrale (pour le bruit BBN). Le fait que ce déficit soit observé uniquement pour le bruit SSN et non pour les bruits Cocktail et BBN pourrait donc suggérer que les sujets dyslexiques présentent un déficit dans le traitement des indices binauraux lorsqu'ils sont de nature temporelle.

Ce déficit pourrait en partie expliquer les troubles de la compréhension de la parole dans le bruit, bien que d'autres études soient nécessaires pour expliquer l'absence de déficit du démasquage binaural en situation de parole concurrente. Il est possible que ce résultat puisse s'expliquer par un effet compensatoire, notre groupe de sujets dyslexiques étant principalement constitué d'étudiants ayant atteint un niveau universitaire.

5 Conclusion

Cette étude avait pour but d'étudier les troubles de la compréhension de la parole dans le bruit chez l'adulte dyslexique, en mettant l'accent sur le traitement des indices binauraux en situation de masquage informationnel. Nos résultats ont permis de mettre en avant un déficit de l'utilisation des indices binauraux lorsque la parole est masquée par un bruit fluctuant, reflétant peut-être un trouble du traitement des indices binauraux de nature temporelle.

Nous avons également mis en avant une aggravation des difficultés lorsque le mot cible est masqué par un bruit de paroles concurrentes présentées dans la même oreille. Ce déficit n'est cependant pas présent lorsque le bruit est présenté de manière binaurale, ce qui montre une absence de déficit de traitement des informations binaurales lorsqu'elles sont de nature linguistique, ce qui pourrait s'expliquer par un effet compensatoire.

Remerciements

Les auteurs remercient la Région Rhône-Alpes (cluster Handicap, Vieillesse, Neurosciences) pour son Allocation Doctorale de Recherche, ainsi que l'European Research Council pour son financement attribué à Fanny Meunier (projet SpiN).

Références

- [1] Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., Carré, R., Sprenger-Charolles, L., "Allophonic mode of speech perception in dyslexia", *J. of Exp. Child Psychol.*, 87, 336-361 (2004).
- [2] Manis, F.R., McBride-Chang, C., Seidenberg, M.C., Keating, P., and al, "Are speech perception deficits associated with developmental dyslexia?", *J. of Exp. Child Psychol.*, 66, 211-235 (1997).
- [3] Cornellissen, P.L., Hansen, P.C., Bradley, L., Stein, J.L., "Analysis of perceptual confusions between nine sets of consonant vowel sounds in normal and dyslexic adults", *Cognition*, 59, 275-306 (1996).
- [4] Bradlow, A.R., Kraus, N., Hayes, E, "Speaking clearly for children with learning disabilities: sentence perception in noise", *J. of Speech Lang. Hear. Res.*, 46, 80-97 (2003).
- [5] Ziegler, J.C., Pech-Georgel, C., George, F., Lorenzi, C., "Speech-perception-in-noise deficits in dyslexia", *Developmental Science*, 12, 732-745 (2009).
- [6] Wible, B., Nicol, T., Kraus, N., "Abnormal neural encoding of repeated speech stimuli in noise in children with learning problems", *Clin. Neurophysiol.*, 113, 485-494 (2002).
- [7] Habib, M., "The neurological basis of dyslexia. An overview and working hypothesis", *Brain*, 123, 2373-2399 (2000).
- [8] Heim, S., Eulitz, C., Elbert, T., "Altered hemispheric asymmetry of auditory N100m in adults with developmental dyslexia", *Neuroreport*, 14, 501-504 (2003).
- [9] Giraud, K., Trébuchon-DaFonseca, A., Démonet, F., Habib, M., Liégeois-Chauvel, C., "Asymmetry of voice onset time-processing in adult developmental dyslexics", *Clin. Neurophysiol.*, 119, 1652-1663 (2008).
- [10] Hugdahl, K., Heiervang, E., Ersland, L., Lundervold, A., Steinmetz, H., Smievoll, A.I., "Significant relation between MR measures of planum temporale area and dichotic processing of syllables in dyslexic children", *Neuropsychol.*, 41, 666-675 (2003).
- [11] Robichon, F., Levrier, O., Farnarier, P., Habib, M., "Developmental dyslexia: atypical cortical asymmetries and functional significance", *Eur. J. of Neurol.*, 7, 35-46 (2000).
- [12] Giraud, A.L., Garnier, S., Micheyl, C., Lina, G., Chays, A., Chéry-Croze, S., "Auditory efferents involved in speech-in-noise intelligibility", *Neuroreport*, 8, 1779-1783 (1997).

- [13] Veuillet, E., Magnan, A., Ecalle, J., Thai-Van, H., Collet, L., "Auditory processing disorder in children with reading disabilities: effect of audiovisual training". *Brain*, 130, 2915-2928 (2007).
- [14] Dole, M., Hoen, M., Meunier, F., "Effect of contralateral noise on energetic and informational masking on speech-in-speech intelligibility", *Proc.Interspeech*, 10, 136-139 (2009).
- [15] New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., Ferrand, L., "Lexique 2: a new French lexical database", *Behavior. Res. Meth. Instr. Comp.*, 36, 516-524 (2004).