

Traitement temporel des traits de voisement et de lieu d'articulation : étude comparative dyslexiques / normo-lecteurs adultes

Caroline Jacquier et Fanny Meunier

Laboratoire Dynamique Du Langage (UMR 5596 CNRS – Université Lumière Lyon 2)
14 avenue berthelot, 69363 Lyon Cedex 07, France
jacquier@isc.cnrs.fr, fanny.meunier@univ-lyon2.fr

ABSTRACT

The general auditory deficit in temporal processing is one of the main views still debated to explain nature and origin of dyslexia. In our study, we investigated the auditory temporal processing in expert readers and in dyslexics adults. By time-compression of rapid acoustic features, we explored their abilities of extraction and analyse of this cues (Experiment 1: voice onset-time and Experiment 2: second formant transition). Compared with controls, dyslexics exhibit deficit in temporal processing and the impairment is stronger for voicing than for formant transition. A distinct temporal processing for both acoustic features and mechanisms of compensation, have been observed for dyslexics.

Keywords: Dyslexia, Acoustic Features, Speech Perception, Temporal Processing.

1. INTRODUCTION

1.1. La dyslexie développementale

La dyslexie est un trouble spécifique, durable et persistant de l'apprentissage de la lecture en absence de déficits sensoriel ou neurologique, de déficit intellectuel, de troubles du comportement, de la personnalité, mais aussi d'inéquation à la scolarité pouvant expliquer l'inaptitude à la lecture. Elle est considérée comme un trouble neurologique avec des origines génétiques et dont il existe des corrélats neurobiologiques universels importants. Les dyslexiques présenteraient des anomalies de maturation du cerveau et par conséquent de mauvaises connexions cortico-corticales.

1.2. Les théories

Trois théories majeures s'affrontent actuellement : la théorie du traitement visuel, la théorie du traitement temporel auditif et la théorie du traitement phonologique. La première théorie repose sur des études qui ont montré des déficits du système magnocellulaire pouvant influencer les capacités de lecture. Stein et Fowler [1] font état d'une instabilité de fixations oculaires liée à un dysfonctionnement des voies magnocellulaires visuelles, causant ainsi des troubles de lecture.

La seconde hypothèse du déficit de traitement temporel postule un déficit spécifique du traitement de stimuli auditifs se succédant rapidement. Ainsi, le système auditif

des dyslexiques n'aurait pas une assez bonne résolution temporelle pour le traitement et l'encodage des transitions rapides et des sons brefs [2-4]. Ce dysfonctionnement auditif modifierait les capacités à utiliser les représentations phonétiques indispensables à la lecture.

La théorie phonologique postule pour sa part l'existence de représentations incorrectes des unités phonémiques menant à des difficultés pour acquérir des bases phonologiques nécessaire à l'apprentissage de la lecture [5].

1.3. Les traits acoustiques

Les traits acoustiques sont essentiels dans la perception de la parole. Chaque trait joue un rôle spécifique dans l'identification de la parole et ils n'ont pas tous la même importance. La manipulation de ces traits permet d'étudier leur rôle et leur importance respective dans la perception de la parole.

Dans cet article, nous allons nous intéresser au traitement temporel auditif du signal de la parole chez des normo-lecteurs (NL) et chez des adultes dyslexiques (DL). En particulier, nous explorons le traitement temporel du trait de voisement et du trait du lieu d'articulation.

La Transition du Formant 2 (TF2) est un indice du lieu d'articulation des consonnes occlusives. Le Délai d'Établissement du Voisement (DEV) (ou Voice Onset Time en anglais) permet de distinguer les occlusives voisées (DEV négatif qui correspond en français à un prévoisement), des non voisées (DEV positif) [7]. Selon Forrest et Morrisette le trait de voisement apparaît comme étant le trait phonétique le mieux retenu et le mieux traité [8]. Il a été montré que les dyslexiques présentent des difficultés particulières à catégoriser des syllabes proches de la frontière intercatégorielle, et s'opposant quant au lieu d'articulation (/ba-/da/) ou le voisement (/ba-/pa/) [6].

Dans nos expériences chaque trait sera manipulé indépendamment afin d'observer leur traitement temporel dans des conditions rapides de perception.

2. MÉTHODE

2.1. Participants

Les 2 expériences partagent un grand nombre de participants ayant les mêmes caractéristiques. Trente-deux dyslexiques adultes ont participé à chacune des expériences (12 hommes – 20 femmes). La dyslexie des participants était diagnostiquée au préalable par un

orthophoniste ou un neuropsychologue. Les dyslexiques sont appariés en âge et en sexe à un groupe contrôle de trente-deux participants, sans trouble du langage ou neurologique, ni aucun déficit auditif (EXP1 : DL - âge M = 23.3, ET = 5.5 ; NL - âge M = 23.2, ET = 5.8 ; EXP2 : DL - âge M = 23.2, ET = 5.6 ; NL - âge M = 23, ET = 5.8). Tous les participants ont le français pour langue maternelle.

2.2. Expérience 1 : trait de voisement

Dans cette première expérience, le trait de voisement, seul, est modifié. Nous étudions les effets d'une compression temporelle sur le traitement du trait de voisement dans une tâche d'identification, chez des adultes normo-lecteurs et dyslexiques.

Stimuli

Le matériel expérimental était composé de 64 non-mots bisyllabiques de forme Consonne-Voyelle-Consonne-Voyelle (CVCV) et de 16 distracteurs de forme Voyelle-Consonne-Voyelle (VCV). Les 4 consonnes occlusives (/b/, /d/, /p/, /t/), différenciables par leur voisement (voisée : /b/, /d/ vs non voisée : /p/, /t/) et leur lieu d'articulation (labial : /b/, /p/ vs dental : /d/, /t/), ont été utilisées. Les voyelles accompagnatrices /i/ et /a/ ont été choisies de façon à disposer d'une variabilité acoustique significative entre les syllabes. Chaque consonne apparaît avec chacune des autres consonnes dans les deux syllabes et avec les deux voyelles ($4C_1 \times 4C_2 \times 2V_1 \times 2V_2 = 64 C_1V_1C_2V_2$). Les distracteurs ont été construits de la même manière (p. ex. /ipa/).

Les stimuli ont été produits par un locuteur français et enregistrés dans une chambre sourde. Les fichiers sons étaient sauvegardés sous le format *waveform audio* et échantillonnés à 22 kHz (stéréo, 16 bits).

La durée de chaque trait acoustique (le voisement et le lieu d'articulation) a été mesurée manuellement pour chacun des items à l'aide du logiciel Praat. Le voisement a été segmenté à partir du début des pulsations périodiques régulières glottiques jusqu'à la détente de l'occlusion supra-glottique [9]. Pour les consonnes voisées, nous manipulons le prévoisement et le DEV pour les consonnes non voisées. La TF2 a été délimitée à partir du changement brusque et rapide de la fréquence du F2, lors de la transition entre la consonne et la voyelle, jusqu'à la partie stable du F2 de la voyelle mesurée sur une représentation spectrographique. Pour les deux traits de chaque syllabe, la durée a été compressée selon 4 conditions expérimentales de compression temporelle : une condition contrôle correspondante à la parole naturelle (100%), une condition correspondant à 50% de la durée initiale, une condition à 25% et une condition à 0% où les traits sont entièrement supprimés. La compression temporelle des traits acoustiques se fait par la méthode Pitch-Synchronous Overlap Add (PSOLA, [10]) dans le logiciel Praat (Figure 1).

Procédure

Les participants étaient assis dans une pièce silencieuse face à un ordinateur. Les stimuli étaient émis en modalité auditive binaurale à l'aide d'un casque (Beyerdynamic

DT 48, 200 Ω) et présentés dans un ordre aléatoire. Les participants étaient informés qu'un signal de parole, pas nécessairement un mot existant dans la langue française, allait être présenté dans le casque et qu'ils devaient transcrire à l'aide du clavier tout ce qu'ils avaient entendu. Afin d'éviter les fautes de retranscription, les participants dyslexiques, eux, devaient répéter à haute voix tout ce qu'ils avaient entendu. Un entraînement était préalablement effectué et la passation durait environ 15 minutes. Pour les participants qui ont passé les 2 expériences, l'ordre de passation était contrebalancé.

Les réponses des participants ont été cotées suivant le nombre de consonnes et de voyelles rappelées (1, si le phonème a été identifié correctement ou 0, dans le cas contraire). Le taux d'identification des consonnes, seulement, sera utilisé dans les analyses suivantes car le taux d'identification des voyelles est proche de 100%.

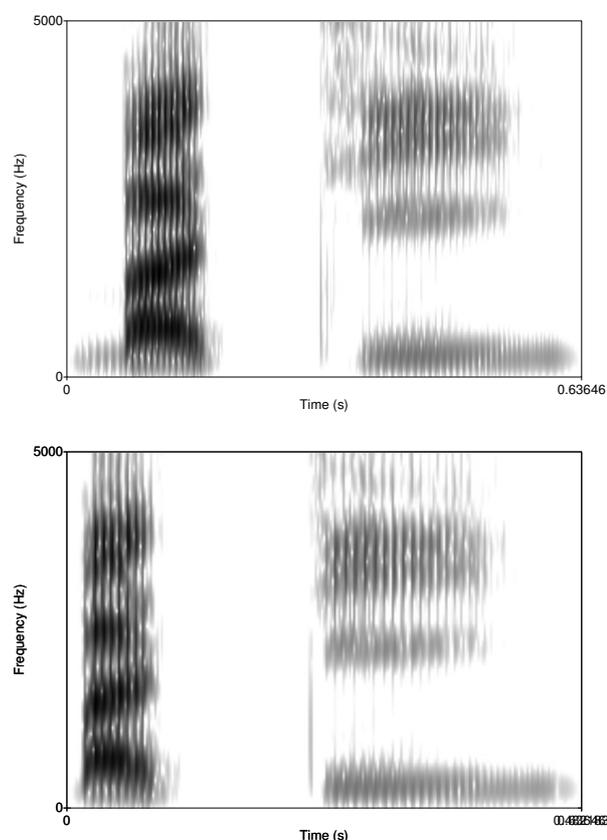


Figure 1 : En haut, spectrogramme du stimulus [bati] en condition naturelle (100%). En bas, spectrogramme du stimulus [bati] dans la condition C₁ 0%_C₂ 25%.

Résultats

Une ANOVA à 3 facteurs est réalisée, incluant : le Groupe (normo-lecteurs, NL et dyslexiques, DL), la Position de la consonne (attaque, intervocalique) et la Compression temporelle (100, 50, 25, 0%). Les 3 effets simples sont significatifs. Les NL ont un meilleur taux d'identification (89.4%) que les DL (83.4%) [$F(1,31) = 21.31, p < .001$]. La consonne intervocalique est mieux reconnue (88%) que la consonne en attaque (84.8%) [$F(1,31) = 15.13, p < .001$]. On observe également un

effet de la Compression [$F(3,93) = 431.02, p < .001$]. Un test de Newman-Keuls montre que le taux d'identification est plus bas pour les Compressions 25 et 0% (89.7% et 64.6%) que pour 100 et 50% (96.2% et 95%). De plus, l'interaction Groupe x Position est significative [$F(1,31) = 4.19, p < .05$]. Il existe un effet de Groupe sur les deux Positions : le groupe DL a des taux d'identification significativement moins bons que les NL sur les deux positions (Table 1). De même, l'interaction Position x Compression est significative [$F(3,93) = 3.38, p < .05$]. Un effet de Position est observé uniquement sur les taux de Compression 100% et 50% : la consonne intervocalique est mieux identifiée que la consonne en attaque (Table 2). Cet effet est principalement dû aux bonnes performances en position intervocalique des dyslexiques, équivalentes à celles des normo-lecteurs (Figure 2).

Table 1 : Effet de l'interaction entre le Groupe (NL, DL) et la Position (C1, C2) pour les Expériences 1 et 2 (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

	Expérience 1			Expérience 2		
	NL	DL	<i>p</i>	NL	DL	<i>p</i>
C1	88.8	80.8	***	94.8	90.3	***
C2	90	86	*	98.4	97.3	ns
Total	89.4	83.4		96.6	93.8	

2.3. Expérience 2 : trait de lieu d'articulation

Dans cette seconde expérience, seule la transition formantique, est manipulée. Nous étudions les effets d'une compression temporelle sur le traitement du trait de lieu d'articulation dans une tâche d'identification chez des adultes normo-lecteurs et dyslexiques.

Stimuli et Procédure

Les stimuli et la procédure expérimentale sont identiques à ceux de l'Expérience 1.

Résultats

Une ANOVA à 3 facteurs est menée croisant : le Groupe (NL, DL), la Position de la consonne (attaque, intervocalique) et la Compression temporelle (100, 50, 25, 0%). Les trois effets simples sont significatifs. Les NL ont un meilleur taux d'identification (96.6%) que les DL (93.8%) [$F(1,31) = 13.41, p < .001$]. La consonne intervocalique est mieux reconnue (97.9%) que la consonne en attaque (92.6%) [$F(1,31) = 58.37, p < .001$]. On observe également un effet de la Compression [$F(3,93) = 73.65, p < .001$]. Un test de Newman-Keuls montre que le taux d'identification est plus bas pour la Compression 0% (89.3%) que pour 100, 50 et 25% (97.5%, 97.6% et 96.7%). De plus, l'interaction Groupe x Position est significative [$F(1,31) = 7.34, p < .05$]. Il existe un effet de Groupe sur les deux Positions : le groupe DL a des taux d'identification significativement moins bons que les NL sur les deux positions (Table 1).

De même, l'interaction Position x Compression est significative [$F(3,93) = 39.87, p < .001$]. Un effet de Position est observé sur tous les taux de Compression : la consonne intervocalique est mieux identifiée que la consonne en attaque (Table 2). Cet effet est majoritairement dû aux bonnes performances en position intervocalique des dyslexiques, équivalentes à celles des normo-lecteurs (Figure 2).

Table 2 : Effet de l'interaction entre la Position (C1, C2) et la Compression (100, 50, 25 et 0%) pour les Expériences 1 et 2 (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

	Expérience 1			Expérience 2		
	C1	C2	<i>p</i>	C1	C2	<i>p</i>
100%	94	98.4	**	95.9	99	***
50%	92.1	97.9	***	96.2	98.8	***
25%	88.9	90.5	ns	94.9	98.2	***
0%	64.3	65	ns	83.2	95.3	***

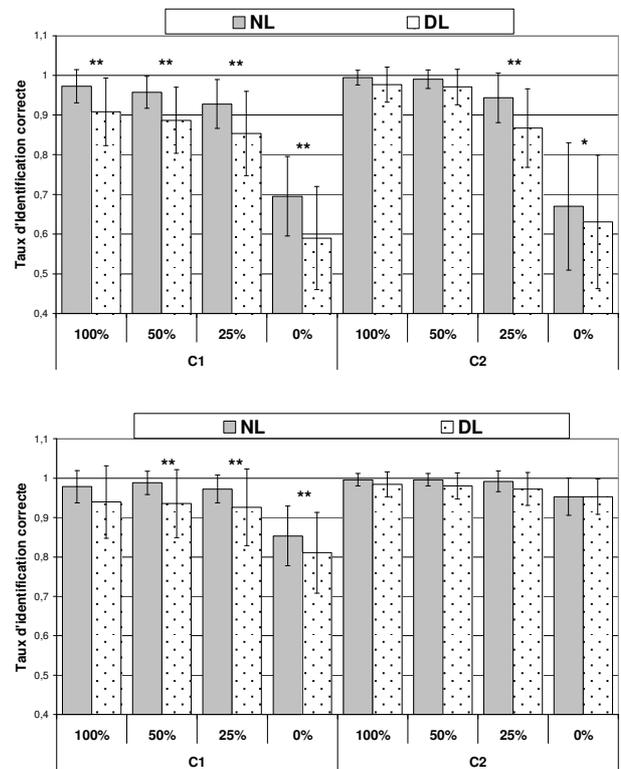


Figure 2 : Résultats de l'Expérience 1 (en haut) et de l'Expérience 2 (en bas) pour les 2 groupes (NL et DL) selon la Position (C1 et C2) et la Compression (100, 50, 25 et 0%). * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

3. DISCUSSION GENERALE

Cette étude avait pour objectif d'étudier le traitement du signal de parole compressée chez des normo-lecteurs et des dyslexiques adultes. Notre intérêt s'est porté sur deux traits acoustiques indispensables à l'identification de la parole. D'une part, le trait de voisement (Expérience 1) dont la durée permet de distinguer des consonnes

occlusives voisées de consonnes occlusives non voisées. D'autre part, la transition du formant 2 (Expérience 2) qui indique le lieu d'articulation des consonnes. Ces deux traits ont donc été manipulés dans leur dimension temporelle en les compressant, afin d'observer la capacité d'extraction et d'intégration de ces traits accélérés chez des normo-lecteurs comparés à des dyslexiques. Le but de l'étude était de mettre en évidence, chez les dyslexiques adultes, des difficultés différentielles de traitement temporel des traits acoustiques.

Globalement, les principaux résultats de nos expériences montrent que les adultes dyslexiques ont des performances d'identification plus basses que les normo-lecteurs. Cela met en évidence un trouble du traitement temporel du signal de parole chez les dyslexiques. La compression temporelle du signal modifierait l'extraction et l'analyse des segments acoustiques indispensables à la perception du signal de parole. La dimension temporelle du signal acoustique de parole semble donc être un support d'information fondamental chez les dyslexiques.

Nous observons également que les performances des dyslexiques dans l'Expérience 1 sont, en moyenne, plus faibles que dans l'Expérience 2. Les dyslexiques ont des taux d'identification plus bas que les normo-lecteurs à la fois pour les consonnes en attaque et pour les consonnes intervocaliques dans l'Expérience 1, alors que dans l'Expérience 2, ce n'est le cas que pour les consonnes en attaque. Cette différence entre les deux expériences montre que les dyslexiques sont plus sensibles à la manipulation du DEV qu'à celle de la TF2. Ce résultat suggère que les dyslexiques effectuent un traitement différentiel des traits acoustiques. Nous suggérons donc que le DEV serait un indice temporel pertinent, pour les dyslexiques [9]. Concernant la TF2, elle correspondrait davantage à un indice spectral pertinent pour distinguer les consonnes. Cette dimension fréquentielle n'est pas

manipulée dans notre étude ce qui coïncide avec les meilleures performances d'identification des dyslexiques observées dans l'Expérience 2.

Pour finir, nos résultats soulignent également la possibilité d'utilisation d'indices redondants permettant dans une certaine mesure la compensation de l'absence de certaines informations acoustiques. Cette compensation s'observe jusqu'à un certain seuil de compression. Dans l'Expérience 1, le seuil de compression est égal à 50% pour les dyslexiques, en position intervocalique, alors que celui des normo-lecteurs est à 25%. A un taux de compression supérieur, l'identification devient plus difficile. Dans l'Expérience 2, aucun seuil n'est observé ce qui pourrait rendre compte d'une absence de mécanismes compensatoires même lorsque le segment est supprimé, pour les deux groupes. Ces résultats renforcent l'hypothèse précédente selon laquelle il existe un traitement différentiel du trait de voisement et des transitions formantiques du à la différence de nature des traits (temporelle et fréquentielle).

4. CONCLUSION

Pour conclure, cette étude a mis en évidence un déficit de traitement temporel du signal de parole chez les dyslexiques. Nous avons également observé une sensibilité plus importante des dyslexiques à la manipulation du trait de voisement qu'à celle du trait de lieu d'articulation. Un traitement différentiel des deux traits acoustiques utilisés apparaît donc clairement. La nature temporelle du voisement, comparée à la nature fréquentielle des transitions formantiques, semble expliquer cette différence de traitement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Stein and S. Fowler. Visual dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 4:77-80, 1981.
- [2] P. Tallal and M. Piercy. Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia*, 11:389-398, 1973.
- [3] P. Tallal. Language and reading: Some perceptual prerequisites. *Annals of Dyslexia*, 30:170-178, 1980.
- [4] P. Tallal, S. L. Miller, G. Bedi, G. Byma, X. Wang, S. S. Nagarajan, C. Schreiner, W. M. Jenkins, and M. M. Merzenich. Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271:81-83, 1996.
- [5] M. Snowling. Phonological processing and developmental dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 18:132-138, 1995.
- [6] F. Manis, M. Seidenberg, L. Doi, C. McBride-Chang, and A. Petersen. On the bases of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition*, 58:157-195, 1996.
- [7] P. Niyogi and P. Ramesh. The voicing feature for stop consonants: Recognition experiments with continuously spoken alphabets. *Speech Communication*, 41:349-367, 2003.
- [8] K. Forrest and M. L. Morrisette. Feature analysis of segmental errors in children with phonological disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42:187-194, 1999.
- [9] L. Lisker and A. S. Abramson. A cross-linguistic study of voicing in initial stops: Acoustical measurements. *Word*, 20:384-422, 1964.
- [10] F. J. Charpentier and M. G. Stella. Diphone synthesis using an overlap-add technique for speech waveforms concatenation. In *Proc. IEEE International Conference ASSP*, 1986.