

Université de Montréal

**La dynamique spatio-temporelle de l'attention en lecture
chez les dyslexiques**

par Simon Fortier-St-Pierre

Département de psychologie
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph. D)
en psychologie – recherche et intervention
option neuropsychologie clinique

© Simon Fortier-St-Pierre, 2019

Université de Montréal
Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences

Cette thèse intitulée

La dynamique spatio-temporelle de l'attention en lecture chez les dyslexiques

Présentée par

Simon Fortier-St-Pierre

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes

Franco Lepore

Président-rapporteur

Martin Arguin

Directeur de recherche

Bruno Gauthier

Membre du jury

Dave Saint-Amour

Examineur externe

Résumé

La dyslexie est un trouble neurodéveloppemental nuisant au développement normal de la fluidité en lecture. Certains processus de base à la lecture pourraient être atteints chez les dyslexiques et entraîner des répercussions touchant les représentations de haut niveau des mots en découlant : orthographique, phonologique et sémantique. Un de ces processus de base est le déploiement spatio-temporel de l'attention sur des séquences de stimuli multiples alignés à l'horizontale. L'efficacité de ce déploiement pourrait être étroitement liée à l'expertise en lecture chez les normo-lecteurs, et des irrégularités dans celui-ci pourraient être observées chez des dyslexiques. Malheureusement, la caractérisation de ce déploiement en contexte de reconnaissance de mots écrits, son implication dans la vitesse de lecture et (potentiellement) même dans certaines habiletés langagières demeurent largement sous-spécifiées. Le premier article de cette thèse vise à révéler les divergences du déploiement de l'attention dans le temps et dans l'espace pendant la reconnaissance d'un mot familier chez un groupe d'adultes dyslexiques par rapport à un groupe de normo-lecteurs. Les groupes sont appariés en termes d'âge et de fonctionnement intellectuel. Cet objectif est poursuivi avec la technique de sonde attentionnelle. Les résultats révèlent que les dyslexiques dirigent moins de ressources attentionnelles vers la première lettre d'un mot, ce qui est sous-optimal considérant que la première lettre d'un mot est particulièrement informative sur son identité. Le deuxième article de cette thèse vise à déterminer si les habiletés en lecture de texte et de traitement phonologique chez les dyslexiques peuvent bénéficier d'un entraînement attentionnel court. Un protocole utilisant un entraînement visuo-attentionnel (*NeuroTracker*) et un entraînement placebo chez une vingtaine d'adultes dyslexiques met en évidence des gains systématiques

immédiatement après l'entraînement actif. L'ordre des entraînements (actif puis placebo, ou placebo puis actif) était contrebalancé entre deux groupes. Ces gains s'observent en vitesse de lecture, et même au niveau de la conscience phonologique. Le troisième article de cette thèse apporte finalement une contribution additionnelle significative pour l'évaluation de la vitesse de la lecture chez les adultes universitaires franco-québécois. L'utilisation des phrases-tests d'un outil existant (MNRRead) a été intégrée à un protocole de présentation visuelle sérielle rapide pour l'évaluation de la vitesse de lecture. En plus de cet ensemble de phrases-test, quatre autres ensembles de phrases-test ont été normés. L'outil développé permet d'obtenir une mesure de la vitesse de lecture fiable chez un même individu à différentes reprises (Exp. 1) et il satisfait différents standards psychométriques (Exps. 1 et 2), en étant notamment sensible à la présence des difficultés en lecture retrouvées chez les dyslexiques (Exp. 2). En somme, il appert que certains processus visuo-attentionnels sous-tendent l'expertise en lecture et que ceux-ci pourraient présenter des irrégularités chez les dyslexiques. La caractérisation d'un déploiement attentionnel sous-optimal en reconnaissance de mots familiers tout comme les bénéfices obtenus en lecture et en traitement phonologique subséquents à un entraînement attentionnels mettent en lumière l'importance de ces processus de base en lecture.

Mots-clés: Dyslexie; Attention visuelle; Attention spatiale; Reconnaissance de mots; Entraînement; 3D-MOT; Vitesse de lecture; Conscience phonologique

Abstract

Dyslexia is a neurodevelopmental disorder that affects the normal development of reading fluency. Deficits affecting basic reading processes may affect dyslexics and would thus alter high-level word representations: orthographic, phonological, and semantic. One of these basic processes is the attentional mechanism that is involved in the visual processing of horizontal multi-element strings such as words. The effectiveness of this mechanism could be closely related to reading expertise in normal readers and anomalies thereof could be observed in dyslexics. Unfortunately, it remains unclear how attention is deployed during visual word recognition and how it may impact on reading speed and potentially on certain language skills. The first article of this thesis aims to shed light on divergences in the deployment of attention through time and space during the recognition of familiar words in a group of adults with dyslexia in comparison to normal readers. These groups were matched in terms of age and intellectual functioning. This objective is pursued with the attentional probe technique. Results reveal that less attentional resources are directed to the first letter of a word in dyslexics, which is suboptimal considering that the first letter of a word has a higher diagnostic value than any other letter position. The goal of the second article is to determine if reading fluency and phonological awareness in dyslexics may benefit from a short attentional training. The effects of an active training using the *NeuroTracker* program and a placebo training in adults with dyslexia shows systematic gains immediately after active training. The order of the training (active then placebo, or placebo then active) was counter-balanced across two groups. These gains are observed on reading speed as well as on phonological awareness. The third article of this thesis finally brings a significant additional contribution to the evaluation of

reading speed among Quebec university students. The use of test sentences from an existing tool (MNRead) has been incorporated into a rapid visual serial presentation protocol to assess reading speed. In addition to this set of test sentences, four other sets of test sentences have been standardized. The tool is reliable, as reading speed measurements are similar in the same individual at different times (Exp 1). Moreover, it meets different psychometric standards (Exps 1 and 2) while being particularly sensitive to the presence of the reading difficulties found in dyslexics (Exp.2). In sum, it appears that particular visual-attention processes underlie reading expertise and that these show anomalies in dyslexics. The characterization of a suboptimal attention deployment in visual word recognition as well as the benefits obtained in reading and phonological awareness subsequent to an attentional training highlight the importance of these basic processes in reading.

Keywords: Dyslexia; Visual attention; Visual word recognition; Training; 3D-MOT; Reading speed; Phonological awareness

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures	ix
Liste des sigles et des abréviations	x
Remerciements.....	xii
Avant-propos.....	xiv
Chapitre 1 - Introduction.....	1
1.1 La dyslexie développementale : perspective actuelle	5
1.1.1 Déficit phonologique et dyslexie.	7
1.1.2 Troubles visuels et attentionnels dans la dyslexie.	11
1.1.3 Les manifestations éclatées de la dyslexie : un, deux ou de multiples noyaux déficitaires?	18
1.2 Le déploiement spatio-temporel de l'attention pour la reconnaissance de mots	21
1.2.1 Expertise en reconnaissance de mots chez le normo-lecteurs.	21
1.2.2 Implications attentionnelles dans la reconnaissance de mots.	23
1.2.3 Déploiement spatio-temporel optimal chez le normo-lecteur.....	25
1.2.4 Indices de dysfonctionnement du déploiement attentionnel chez les dyslexiques. .	26
1.2.5 Technique de sonde attentionnelle pour caractériser les différences attentionnelles des dyslexiques en reconnaissance de mots.....	27
1.2.6 Application de la technique en contexte de reconnaissance de mots pour caractériser les différences attentionnelles des dyslexiques.....	29
1.3 Implications attentionnelles dans la lecture de texte et les habiletés phonologiques chez les dyslexiques : Entraînement visuo-attentionnel	31
1.3.1 Jeux vidéo d'action et gains cognitifs.....	33
1.3.2 Jeux vidéo d'action et lecture.	34

1.3.3 Paradigme de poursuite d’objets multiples, gains cognitifs et possibles implications en lecture.....	36
1.3.4 Devis expérimental.....	38
1.4 Mesure de la vitesse de lecture chez un échantillon adulte franco-québécois.....	38
1.4.1 MNRead et application en présentation sérielle visuelle rapide.....	40
1.4.2. Normalisation et validation de la mesure de vitesse de lecture en RSVP avec différentes listes de phrases-tests.....	41
1.5 Résumé du chapitre.....	42
1.5.1. Objectif 1.....	43
1.5.2. Objectif 2.....	43
1.5.3. Objectif 3.....	44
Chapitre 2 – Article 1.....	45
2.1 Abstract.....	47
2.2 Introduction.....	48
2.3 Method.....	53
2.3.1 Participants.....	53
2.3.2 Materials and stimuli.....	53
2.4 Results.....	57
2.4.1 Sociodemographic information and intellectual functioning (IQ).....	57
2.4.2 Reading speed.....	57
2.4.3 Attentional probe.....	58
2.5 Discussion.....	61
2.6 References.....	63
Chapitre 3 – Article 2.....	74
3.1 Abstract.....	76
3.2 Introduction.....	77
3.2.1 Goals and hypotheses.....	82
3.3 Methods.....	83
3.3.1 Participants.....	83
3.3.2 Materials, Task Descriptions and Stimuli.....	83
3.3.3 Procedure.....	88

3.4 Results.....	89
3.4.1 Sociodemographic data, IQ and assessment of basic language skills (T1).....	89
3.4.2 Training Sessions.....	91
3.4.3 Post-Evaluation Training.....	91
3.5 Discussion.....	94
3.6 References.....	97
Chapitre 4 – Article 3.....	111
4.1 Résumé.....	113
4.2 Introduction.....	114
4.2.1 Objectifs.....	115
4.3 Expérience 1.....	115
4.3.1 Méthode.....	116
4.3.2 Résultats.....	118
4.3.3 Discussion.....	119
4.4 Expérience 2.....	120
4.4.1 Méthode.....	120
4.4.2 Résultats.....	121
4.4.3 Discussion.....	122
4.5 Discussion générale.....	123
4.6 Références.....	124
Chapitre 5 - Conclusion.....	128
5.1. Retour sur chaque expérience.....	128
5.1.1. Article 1.....	128
5.1.2. Article 2.....	130
5.1.3. Article 3.....	133
5.2. Intégration théorique générale.....	136
5.3. Limites.....	140
5.4. Conclusions.....	142
Bibliographie générale.....	144
Annexe I – Matériel supplémentaire du chapitre 4.....	i

Liste des tableaux

Table I.	Group means for age, IQ, gender, and manual dominance. For age and IQ, groups were compared using a t-test whereas a chi-square test was used for gender and manual dominance.	68
Table II.	Group means for ERs and RTs on the attentional probe task. Groups were compared using t-tests.....	69
Table III.	Mean ERs (%) and RTs (ms) for each condition of the attentional probe task in the control group. Standard deviations are indicated in parentheses.	70
Table IV.	Mean ERs (%) and RTs (ms) for each condition of the attentional probe task in the dyslexic group. Standard deviations are indicated in parentheses.	71
Table V.	Group means for age, IQ, gender, and manual dominance. For age and IQ, groups were compared using a t-test whereas a chi-square test was used for gender and manual dominance.	103
Table VI.	Group means for each index of the selected ECLA-16+ tests converted in Z-score (compared using a t-test) prior to any training (T1).	104
Tableau VII.	Estimation des taux moyens de performance et seuils cliniques (en %) pour les listes MNRead et LP1-4 en fonction de la durée de présentation (ms/mot).....	126
Tableau VIII.	Sensibilité et spécificité (en %) de l'outil à l'Expérience 2 sur la base des seuils cliniques de l'Expérience 1.....	127

Liste des figures

<i>Figure 1.</i>	Mean success rate in both groups as a function of presentation duration the reading-speed task. The dotted lines illustrate the outcome of the linear regression analyses.	72
<i>Figure 2.</i>	Z-score error rates in the dyslexic group to detect the orientation of the probe as a function of letter position for each SOA. Error bars indicate standard errors.	73
<i>Figure 3.</i>	Mean success rate in both groups as a function of presentation duration in the MNRead in RSVP task at T1. The dotted lines illustrate the outcome of the linear regression analyses. Error bars indicate standard deviations.	105
<i>Figure 4.</i>	Mean threshold of upper speed of pursuit in <i>NeuroTracker</i> training as a function of training session across all participants. The dotted line illustrates the outcome of a reverse logarithmic regression of these thresholds across training sessions.	106
<i>Figure 5.</i>	Mean 2048 scores as a function of training session across all participants. The dotted line illustrates the outcome of a linear regression of these scores across training sessions.	107
<i>Figure 6.</i>	Average Z-scores for each group and each index of the selected ECLA-16+ tests at T1, T2 and T3 (○ : NT-2048 group; ■ : 2048-NT group). The letters in the upper left corner of each panel indicate the illustrated index: A) <i>Alouette-R</i> ; words read correctly per minute, B) <i>Alouette-R</i> ; Error, C) Initial Phoneme Deletion; Time, D) Initial Phoneme Deletion; Score, E) Spoonerism; Time, F) Spoonerism; Score. Significant post-hoc comparisons are indicated by an *. Error bars indicate standard deviations. Please note that the vertical axis varies across panels.	108-109
<i>Figure 7.</i>	Mean success rates in both groups in the MNRead in RSVP task at T1, T2 and T3. Significant post-hoc comparisons are indicated by an *. Error bars indicate standard deviations	110

Liste des sigles et des abréviations

AAS	Asynchronie d'apparition du stimulus	SOA	Stimulus onset asynchrony
APA	Association américaine de psychiatrie		American Psychiatric Association
°	Degré		Degree
DSM	Manuel diagnostique et statistiques des troubles mentaux		Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
ECLA-16+	Évaluation des Compétences en lecture chez l'Adulte de plus de 16 ans		
Hz	Hertz		Hertz
JVA	Jeu vidéo d'action	AVG	Action video game
MNRead			Minnesota Low Vision Reading Test
QI	Quotient intellectuel	IQ	Intellectual quotient
RSVP	Présentation visuelle sérielle rapide		Rapid serial visual presentation
WASI-2	Deuxième édition de l'Échelle Abrégé de Quotient Intellectuel de Weschler		Weschler Abbreviated Scale of Intelligence Second Edition

Si tu lis un livre à un enfant; il s'émerveillera un jour.

Si tu lui apprends à lire, il s'émerveillera toujours.

Adaptation libre d'un adage de l'écrivaine
Anne Isabella Thackeray Ritchie (1837-1919)

Si tu donnes un poisson à un homme, il mangera un jour.

Si tu lui apprends à pêcher, il mangera toujours.

A word after a word after a word is power

Margaret Atwood (1939-)

Remerciements

Je tiens premièrement à remercier toutes les figures académiques m'ayant permis de découvrir le monde universitaire, de me développer en recherche et en tant que futur neuropsychologue clinicien au fil des dernières années. Merci de m'avoir transmis votre passion. Particulièrement, je souligne l'apport essentiel de mon directeur de recherche, Martin Arguin, pour son soutien et sa confiance. Merci pour cette belle aventure. Je remercie aussi chaudement Isabelle Blanchette, qui m'a pris sous son aile dès le baccalauréat, me donnant l'opportunité de développer mes idées et de les mener à terme.

Ce doctorat s'inscrit dans un parcours de vie qui fut particulièrement tumultueux. Ces montagnes n'auraient pas pu être traversées, en traînant toujours cette grande tâche que je m'étais imposé, sans un entourage, ancien et renouvelé, en or. Cet encourage est le mien.

Je tiens d'abord à remercier ma famille pour leur support inconditionnel. À mes parents, vous qui m'avez permis de m'épanouir tout en restant accessibles à tous moments, la réussite de ce projet est aussi la vôtre. Mireille, ma chère sœur, un merci particulier pour les cafés après le souper du temps de notre colocation. Avec vous, le mot ensemble prend tout son sens.

Je salue aussi tout ami à m'avoir accompagné pendant ce parcours, de près ou de loin. D'abord, merci au quartier Sacré-Cœur et aux Rouynorandiens de tous horizons, de French et de gauche, avec qui je me suis investi dans des projets incroyables, notamment Entheos, qui

m'ont permis de garder la tête froide et me divertir. Aux amitiés bâties au baccalauréat et au doctorat, merci d'avoir fait de l'université un endroit où je me suis ma place. En particulier, le G2 aura été un endroit privilégié où je garderai de très beaux souvenirs.

Dans un creux de vague, à un moment où je me demandais si je pouvais effectivement terminer mon parcours, j'ai eu la chance de rencontrer une personne incroyable m'ayant d'abord permis de reprendre mon souffle et avec qui l'idée d'un projet commun est devenue possible. Marie, tu es une complice inspirante, ton énergie m'est contagieuse, et tu ne peux pas savoir à quel point l'achèvement de ce travail est teinté par ta présence dans ma vie.

Il n'y a pas d'efforts inutiles, Sisyphe se faisait des muscles

Roger Callois (1913-1978)

Avant-propos

À ce moment précis, vous accomplissez une action qui est franchement remarquable. Tout en dirigeant progressivement votre regard de gauche à droite, une quantité de groupe de symboles sont à être traités, un à la fois. Ces groupes de symboles sont identifiables les uns des autres à l'aide d'espaces blancs qui les entourent et les séparent. Nous appelons communément ces groupes des mots, et les symboles les constituants des lettres. Ces lettres font partie d'un système. Le système alphabétique permet de représenter à l'écrit les mots qui font partie de la langue française et bien d'autres. Des ensembles de plusieurs mots forment ce que l'on appelle une phrase. Un ensemble de phrases est considéré comme un texte. L'opération que vous accomplissez se nomme quant à elle la lecture. En finissant ce paragraphe, vous aurez reconnu 163 mots de différentes longueurs, comptant au total 861 lettres (dont 23 sont différentes les unes des autres), et ce, probablement à l'intérieur d'une seule minute. Comment faites-vous?

La lecture est une opération complexe, impliquant une myriade de processus, dont certains, bien que nécessaires, passent facilement inaperçus. Avant même d'extraire le sens global de ce qui est lu et celui de chacun des mots isolés, l'extraction, puis l'intégration de l'information visuelle contenue dans ce mot, c'est-à-dire, ses lettres, par le lecteur, constituent un point de départ essentiel. L'accessibilité à un minimum d'information visuelle est nécessaire à la lecture. Par exemple, si vous descendez votre regard de quelques lignes tout en le maintenant à l'extrême gauche de la page, il vous sera impossible de reconnaître un mot qui se situe cette même ligne, mais à son extrême droite. Vous remarquerez également que votre habileté à reconnaître des mots diminue drastiquement plus vous vous éloignez de celui que

vous fixez. L'information visuelle est ainsi la plus accessible lorsque le mot se situe à peu près au milieu de votre champ visuel. À ce moment, votre attention visuelle, c'est-à-dire, la sélection d'un sous-ensemble d'informations contenues dans le champ visuel en vue d'un traitement plus complexe, se déploie sur les mots d'une façon rapide et extrêmement efficace. L'efficacité de ce déploiement est due en partie à l'énorme quantité de matériel écrit auquel vous avez déjà été exposé. Cette exposition est par ailleurs omniprésente dans toutes les sphères de votre vie. Pensez seulement au fait que le matériel scolaire des matières enseignées à l'école se fait principalement à l'aide de l'écrit, avec un niveau de complexité et de richesse des textes s'accroissant au fil des années d'étude. La montée et la prédominance de la technologie augmentent également notre exposition au matériel écrit, par exemple, avec l'émergence des réseaux sociaux et des moteurs de recherche. La maîtrise de la lecture devient donc un facteur non négligeable de réussite scolaire, mais aussi d'autonomie et d'intégration sociale.

Malheureusement, il est possible qu'une telle fluidité en lecture ne soit pas atteinte par tout le monde. Plusieurs circonstances peuvent mener à une telle impossibilité, mais une des plus communes est attribuable à un trouble d'apprentissage spécifique de la lecture. Ce trouble est aussi appelé la dyslexie développementale. Chez les individus dyslexiques, la lecture, bien que possible, est significativement plus lente et moins précise que chez des individus d'âge similaire sans plaintes de lecture, que nous appellerons dorénavant des normo-lecteurs. Les difficultés qu'ils éprouvent persistent même si des mesures particulières et des interventions sont entreprises. Nous chercherons à mieux comprendre le lien qui unit les habiletés en lecture et certains processus visuo-attentionnels qui y semblent sous-jacents, particulièrement chez les dyslexiques.

La présente thèse sera organisée de cette façon. Une introduction générale faisant état de la littérature sur la dyslexie développementale, avec un accent particulier en ce qui concerne le lien entre l'attention visuelle et la lecture, sera présentée. Les trois chapitres suivants sont présentés sous forme d'article, afin de répondre à trois objectifs de recherche distincts. D'abord, un premier objectif de cette thèse est d'explorer comment le déploiement spatio-temporel de l'attention se distingue chez les dyslexiques par rapport à des normo-lecteurs dans un contexte d'identification de mots. Avec un paradigme de sonde attentionnelle, nous mesurerons l'efficacité attentionnelle de ce déploiement d'un point de vue spatial, c.-à-d. à différentes positions à l'intérieur du mot (en fonction des positions de lettres) autant que temporel, c.-à-d. à différents moments suivant la présentation du mot. Le second objectif est de mieux comprendre l'implication de l'attention à travers la vitesse et la précision à lire des textes et à effectuer d'autres opérations langagières impliquées en lecture. Chez des adultes dyslexiques, nous allons mesurer l'efficacité d'un entraînement visuo-attentionnel court sur ces habiletés. Ceci constitue le deuxième objectif principal de cette thèse. De plus, subséquemment à ces deux objectifs principaux, une contribution additionnelle de cette thèse est de développer, normer et valider plusieurs ensembles de phrases pour l'évaluation de la vitesse de lecture pour adultes francophones avec un outil informatique. Finalement, nous discuterons de l'ensemble des résultats obtenus et leurs implications pour une meilleure compréhension de la contribution de l'attention en lecture (cinquième chapitre).

Chapitre 1 - Introduction

C'est à l'aube du 20^e siècle qu'apparaissent les premières descriptions d'enfants qui, malgré un bon niveau langagier et une acuité visuelle adéquate, n'arrivaient pas à atteindre une fluidité en lecture équivalente à celle de leurs pairs du même âge (P. L. Anderson & Meier-Hedde, 2001). Le terme dyslexie a été utilisé pour la première fois par un ophtalmologiste allemand, Rudolf Berlin, en 1887 (Wagner, 1973). Ce qui ressort de ces premières études de cas, c'est l'absence de facteurs explicatifs des déficits observés chez ces enfants. Notamment, il a été rapidement démontré qu'il n'y avait pas de lien entre le fonctionnement intellectuel et les difficultés en lecture observées chez ces enfants (Orton, 1925).

Puis, entre 1900 et 2000, à l'échelle mondiale, la proportion de personnes de plus de 15 ans sachant lire et écrire est passée d'environ un individu sur cinq à quatre individus sur cinq (Roser & Ortiz-Ospina, 2018). En valeur absolue, si la prévalence de la dyslexie demeure similaire au fil des années, la fréquence de son observation dans la population suit donc une tendance ascendante. Rapidement, notamment par les contributions d'Hinshelwood, un ophtalmologiste anglais, et Orton, un neuropathologiste américain, un accent particulier a été mis sur l'intervention auprès d'enfants (P. L. Anderson & Meier-Hedde, 2001; Hallahan & Mercer, 2001; Pullen, 2016). Ces chercheurs ont publié plusieurs études de cas et ont entrepris des recherches visant à mieux comprendre les difficultés observées chez les dyslexiques. De plus, Orton a développé des techniques pour faciliter l'apprentissage de la lecture. Ainsi, des travaux visant à décrire et comprendre ce trouble ont été entrepris, tout comme d'autres axés sur le développement d'interventions pour aider les dyslexiques à atteindre un niveau de lecture normal.

Une évolution rapide de la conception de ce trouble survient au fil du 20^e siècle. La description des premiers cas est largement influencée par la littérature déjà grandissante sur les dyslexies acquises du 19^e siècle; désignées alors comme un trouble de cécité des mots (Hallahan & Mercer, 2001). Il s'agissait dans la plupart des cas de personnes âgées ayant subi une lésion cérébrale, dont une conséquence fonctionnelle était qu'elles n'arrivaient plus à lire. Une différence majeure a alors été établie entre la cécité des mots acquise suite à une lésion et celle congénitale, qui ralentit l'apprentissage et la maîtrise de la lecture chez les enfants (P. L. Anderson & Meier-Hedde, 2001). Puis, la description d'autres enfants présentant des difficultés particulières dans l'apprentissage d'autres domaines scolaires que la lecture, par exemple les mathématiques, a été regroupée à la dyslexie. Le terme de trouble d'apprentissage spécifique a été proposé en 1963 par Samuel Kirk afin de les regrouper plus adéquatement (Pullen, 2016). Ce terme représente donc une constellation de difficultés persistantes d'apprentissage et de maîtrise d'un domaine scolaire que l'on peut retrouver chez un enfant, mais qui ne sont pas attribuables à une limitation sensorielle ou intellectuelle, à un environnement qui ne permet pas de faire ces apprentissages ou des difficultés affectives.

L'importance de la lecture dans le cheminement scolaire est primordiale, puisque la compétence à lire est associée à la réussite scolaire. Il apparaît donc nécessaire d'offrir à ceux présentant des difficultés en lecture un support supplémentaire et un suivi adéquat tout au long de leur cursus académique. Dans les lignes directrices sur l'apprentissage de la lecture du Ministère de l'Éducation du Québec (anciennement le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS)), il est souligné : « l'importance de la compréhension de l'écrit puisqu'elle est le fondement de l'apprentissage dans toutes les disciplines » (2005, p.3). Très rapidement au fil du parcours scolaire, les textes deviennent l'outil pédagogique principal pour une majorité

d'apprentissage (MELS, 2012a). Selon le Conseil des statistiques canadiennes de l'éducation (2009), la difficulté à lire apparaît comme un facteur de risque pour le décrochage scolaire chez les élèves canadiens. Des politiques et des accommodations académiques ont été mises en place dans la deuxième moitié du 20^e siècle afin de protéger et maximiser la réussite scolaire, entre autres, chez les dyslexiques (L. W. Anderson, 2005). Pour aider une personne avec un trouble d'apprentissage, différents moyens sont idéalement accessibles directement à l'école dès le début de la scolarisation (Barrouillet et al., 2007). Le plus important est celui de l'intervention, où un professionnel qualifié travaille avec l'enfant afin d'améliorer ses habiletés en lecture. Au Québec, ce professionnel est habituellement un orthopédagogue. Selon le site de l'Association des Orthopédagogues du Québec (2013), l'orthopédagogie se définit comme une science de l'éducation, dont l'objectif principal est : « l'évaluation et l'intervention relatives aux apprenants susceptibles de présenter ou présentant des difficultés d'apprentissage scolaire, incluant les troubles d'apprentissage. Sa pratique prend appui sur la recherche en orthodidactique, en didactique, en pédagogie et en sciences cognitives ». L'orthopédagogue travaille de plus en collaboration avec les enseignants afin d'assurer le suivi nécessaire en fonction du niveau d'intervention approprié pour chaque élève présentant des difficultés (MELS, 2012b).

Les impacts de la dyslexie sont multiples. Notamment, ce trouble diminue la motivation à lire et l'appréciation de la lecture en tant qu'activité (Baker & Wigfield, 1999). Il est estimé qu'annuellement, un enfant avec des habiletés de lecture dans la moyenne (50^e centile) lira 75 fois plus de matériel écrit qu'un dyslexique (2^e centile) (R. C. Anderson, Wilson, & Fielding, 1988). Considérant que le vocabulaire se développe grandement grâce à la lecture (Jenkins, Stein, & Wysocki, 1984), les conséquences à long terme d'une exposition limitée au matériel écrit peuvent s'avérer importantes pour les dyslexiques (Stanovich, 2009). La dyslexie a encore

un impact négatif sur la réussite scolaire (Swanson & Hsieh, 2009) et ce trouble peut ultimement mener à la stigmatisation des difficultés observées (Alexander-Passe, 2015). La dyslexie est donc liée à de plus faibles résultats académiques et à des retards dans les autres matières impliquant la lecture, à un plus grand taux de décrochage scolaire, difficultés qui amènent généralement une grande détresse psychologique pouvant se manifester par de l'anxiété et une humeur dépressive chez les enfants du primaire (Carroll, Maughan, Goodman, & Meltzer, 2005; Maughan, Rowe, Loeber, & Stouthamer-Loeber, 2003; Mugnaini, Lassi, La Malfa, & Albertini, 2009). Les adolescents atteints du trouble sont plus à risque de décrochage scolaire, de dépression et de suicide (Daniel et al., 2006; Huntington & Bender, 1993; Svetaz, Ireland, & Blum, 2000). Les conséquences psychologiques de ce trouble se font toujours sentir à l'âge adulte (Carroll & Iles, 2006), où s'observent un taux plus élevé de chômage et de plus faibles revenus (APA, 2013). Chez les adultes dyslexiques aux études supérieures, le cheminement scolaire peut s'avérer plus long ou alors demander plus de temps qu'aux normo-lecteurs (Olofsson, Taube, & Ahl, 2015). Les choix de vie des adultes dyslexiques sont également teintés par leurs difficultés, par exemple, ils auraient tendance à choisir principalement des emplois ou des postes limitant les risques qu'ils d'échouent ou de nuire à une équipe (Gerber, Ginsberg, & Reiff, 1992; Tanner, 2009).

Ceci pose ainsi les fondements à partir desquels nos connaissances sur la dyslexie se sont construites: des points de vue théoriques, de sa prise en charge par des politiques académiques et des professionnels qualifiés ainsi que l'impact multidimensionnel de ce trouble sur le développement d'un individu. Depuis la deuxième moitié du 20^e siècle jusqu'à aujourd'hui, de 1967 à 2016 spécifiquement, plus de 13 000 articles scientifiques ont été publiés concernaient la dyslexie (Ram, 2018). Ceci met en lumière la quantité impressionnante d'efforts et de travail mis

à comprendre et à décrire cette problématique à l'intérieur d'une courte période de temps. Malgré tout, des incertitudes persistent, et la littérature est loin d'être unanime sur plusieurs enjeux au cœur même de la dyslexie.

1.1 La dyslexie développementale : perspective actuelle

Il est largement accepté que la prévalence de la dyslexie se situe entre 5 et 10 % de la population (Shaywitz, 1996) et que ce trouble peut se manifester dans toutes les langues (Paulesu et al., 2001). Chez les jeunes francophones, la prévalence se situe entre 6 % et 8 % (Barrouillet et al., 2007). Ce trouble affecte davantage les garçons que les filles (entre 1,4 et 3,2 garçons pour une fille) (Rutter et al., 2004). Une composante génétique importante est également acceptée, puisque le risque d'être dyslexique est plus élevé si un des deux parents est dyslexique que lorsqu'aucun des deux ne l'est (Bishop, 2015).

La définition clinique de la dyslexie développementale la plus utilisée aujourd'hui se retrouve dans la cinquième édition du *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (American Psychiatric Association, 2013), dans la section des troubles neurodéveloppementaux. Ces troubles se caractérisent par leur apparition dans l'enfance et survenant suite à un développement atypique du cerveau et des fonctions cérébrales. Des critères diagnostiques précis doivent tous être satisfaits pour confirmer la présence de la dyslexie. Une personne est considérée dyslexique lorsque des difficultés en lecture de mots et de texte persistent depuis au moins 6 mois, et ce malgré des interventions ciblées (critère A). Ces difficultés ont un impact négatif sur le rendement académique et les performances en lecture sont significativement plus basses en comparaison à des individus d'âge semblable (critère B). Ces difficultés sont présentes depuis le début de la scolarisation, toutefois, elles peuvent se manifester tardivement dans le cursus académique, précisément au moment où les exigences académiques excèdent les limites

d'un individu (critère C). Le dernier critère concerne les critères d'exclusion mentionnés auparavant, soient l'exclusion d'un diagnostic de dyslexie lorsque les difficultés en lecture sont attribuables à la présence d'une limitation sensorielle ou intellectuelle chez l'enfant ou alors à des difficultés affectives, et lorsque l'environnement dans lequel a grandi l'enfant n'est pas favorable à l'émergence de ces apprentissages (critère D). Les difficultés en lecture d'un dyslexique sont donc persistantes à travers le temps, et vont avoir une influence sur la réussite académique, à moins que des mesures particulières ne soient mises en place.

Parmi les troubles neurodéveloppementaux, la dyslexie est celui qui a été le plus étudié (Peterson & Pennington, 2012), comme le démontre l'importante quantité d'articles publiés à ce sujet (Ram, 2018). Malgré l'abondance d'études en provenance de plusieurs disciplines, la cause précise de la dyslexie demeure inconnue. La nature de l'atteinte fonctionnelle responsable de la dyslexie est donc encore sujette à débat et de nombreuses théories ont été formulées à cet égard. Une revue récente en dénombre une douzaine, seulement depuis 1990 (Ramus & Ahissar, 2012). Les hypothèses avancées se regroupent principalement en deux grands domaines: la théorie phonologique et la théorie visuelle. Nous reconnaissons l'existence et l'intérêt de théories alternatives, notamment celle d'un déficit cérébelleux (Fawcett & Nicolson, 1999), mais puisque celles-ci dépassent le cadre de cette thèse, elles ne seront pas explicitées. Nous poursuivrons ainsi ce chapitre avec un aperçu de ces deux grandes théories, et nous approfondirons, dans la théorie visuelle, l'hypothèse d'un déploiement irrégulier de l'attention en contexte de lecture (Vidyasagar & Pammer, 2010), qui aurait le potentiel d'expliquer une partie des difficultés observées chez les dyslexiques et qui nous intéresse particulièrement dans le cadre de cette thèse.

1.1.1 Déficit phonologique et dyslexie.

Les tenants de la théorie phonologique défendent l'idée que la dyslexie développementale est causée par un déficit langagier (Ahmed, Wagner, & Kantor, 2012; Goswami, 2011; Stanovich, 1988). Alors que l'exposition et le début de l'apprentissage du langage écrit se font graduellement chez l'enfant, particulièrement à partir du début de la scolarisation, l'exposition au langage oral débute avant même la naissance. Le nourrisson devient rapidement plus sensible aux sons de la (ou des) langue présente dans son environnement (Dehaene-Lambertz, 1998). Au moment d'apprendre à lire, un prélecteur doit utiliser ses habiletés langagières déjà en partie développées pour associer les sons de sa langue à des symboles écrits. L'opération de base pour la lecture est d'associer les phonèmes, qui constituent l'unité distinctive du langage oral, à leur graphème correspondant, c'est-à-dire, une lettre ou un groupe de lettres transcrivant un phonème (Barrouillet et al., 2007).

Selon cette théorie, les difficultés rencontrées par les dyslexiques dans l'apprentissage de la lecture seraient d'ordre phonologique. Plus précisément, elles découleraient d'un problème affectant la conscience phonologique, c'est-à-dire, l'utilisation et la manipulation adéquate des sons d'une langue (Schatschneider, Francis, Foorman, Fletcher, & Mehta, 1999). Le déficit de conscience phonologique pourrait lui-même être dû à une pauvre qualité des représentations phonologiques ou de l'accès à ces représentations (Barrouillet et al., 2007). Des difficultés de conscience phonologique sont observées très fréquemment chez des dyslexiques de tout âge en comparaison à des normo-lecteurs appariés à leur âge respectif (Melby-Lervåg, Lyster, & Hulme, 2012). De plus, chez un groupe de dyslexiques apparié à un groupe de normo-lecteurs quant à leur niveau de lecture (donc avec des normo-lecteurs plus jeunes), la conscience phonologique est plus faible chez les dyslexiques (Elbro & Jensen, 2005). Sur le plan de la

lecture, ces difficultés entraîneraient des problèmes affectant la conversion graphème-phonème. Ceci est mis en évidence lors de la lecture de pseudo-mots, qui sont des séquences de lettres formant un non-mot mais pouvant être lus à voix haute par un individu selon les codes de sa langue. À cette tâche, les performances des dyslexiques de différentes langues sont plus faibles en comparaison à des normo-lecteurs appariés sur l'âge et le niveau de lecture (Ziegler, Perry, Ma-Wyatt, Ladner, & Schulte-Körne, 2003). D'autres études ont montré que les enfants ayant une dyslexie ont des scores significativement inférieurs à ceux des normo-lecteurs de même niveau de lecture dans des tâches de décision lexicale, de décision phonologique et de lecture de pseudo-mots (Peterson, Pennington, & Olson, 2013; Sprenger-Charolles, Colé, Lacert, & Serniclaes, 2000). Ces atteintes sont souvent attribuées de manière exclusive aux difficultés phonologiques des dyslexiques. Il est à noter que d'autres études n'ont pas réussi à différencier les enfants ayant une dyslexie et les normo-lecteurs appariés selon le niveau de lecture global dans des tâches de lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots (Castles & Coltheart, 1993; Manis, Seidenberg, Doi, McBride-Chang, & Petersen, 1996; Stanovich, Siegel, & Gottardo, 1997)

Une étude de cas multiples chez des adultes dyslexiques suggère qu'un déficit d'ordre phonologique serait suffisant pour entraîner une dyslexie (Ramus et al. 2003). Certains proposent même que seul un tel déficit soit tributaire de la dyslexie développementale, les autres difficultés éprouvées en lecture de mots, comme celles que l'on retrouve dans les dyslexies de surface par exemple, seraient associées uniquement à un retard dans l'apprentissage de la lecture ou secondaire au déficit phonologique (Piasta & Wagner, 2008; Stanovich, 1988). Une large recension des écrits sur la dyslexie permet de constater que l'hypothèse phonologique a été la plus documentée depuis les années 1970 (Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004) et

l'accumulation de résultats convergents est considérée par plusieurs comme robuste (Barrouillet et al., 2007). Bien que majoritaire, il demeure toutefois que ce point de vue ne représente pas celui de tous les chercheurs dans le domaine, et l'hypothèse d'un lien causal entre un déficit phonologique et la dyslexie n'est pas validée par tous.

Ainsi, bien que la relation soit forte entre un déficit d'ordre phonologique et les troubles de lecture, aucun lien causal n'a pu être établi jusqu'à maintenant (Blomert & Willems, 2010; Castles & Friedmann, 2014). La critique la plus importante de la théorie phonologique est formulée par Castles et Coltheart (2004) qui indiquent que l'exposition et l'apprentissage du système d'écriture (en français, l'alphabet grec) améliore et altère grandement la façon dont les opérations phonologiques sont accomplies. Ils soulignent également que parmi les entraînements ciblant spécifiquement la conversion graphophonémique, il est impossible d'isoler les bénéfices associés uniquement au traitement phonologique en raison de l'exposition au matériel écrit lors de ces entraînements. En effet, alors que les représentations phonologiques seraient implicites avant l'apprentissage de la lecture, elles deviendraient explicites de par leur association répétée avec une ou plusieurs lettres. La façon de traiter et manipuler l'information phonologique serait donc influencée par l'émergence des représentations graphophonémique et également orthographiques des sons et des mots.

Les observations suivantes appuient cette critique. Sur le plan de l'entraînement, de meilleurs résultats sont obtenus lorsqu'il cible la conversion graphophonémique, plutôt que seulement les compétences langagières, dont la conscience phonologique (Barrouillet et al., 2007; Bus & Van IJzendoorn, 1999). D'ailleurs, un entraînement strictement phonologique chez des prélecteurs améliore la conscience phonologique, mais pas la lecture de mots mesurée six mois après le début de l'apprentissage de la lecture en comparaison à un groupe de prélecteurs

n'ayant suivi aucun entraînement (Fricke et al., 2017). Donc, les interventions purement phonologiques ne semblent pas permettre une généralisation des apprentissages pour normaliser le rythme de la lecture chez les dyslexiques.

Par ailleurs, il a été démontré que le traitement de l'information phonologique est influencé et facilité dès le début de l'apprentissage de la lecture par le traitement orthographique des mots, ceci provenant de l'émergence des représentations visuelles des mots (Castles, Wilson, & Coltheart, 2011; Morais, Cary, Alegria, & Bertelson, 1979). Les opérations phonologiques se font ainsi plus rapidement avec des mots dont la correspondance entre les lettres et les sons est régulière chez des adultes tout comme chez des enfants (Castles, Holmes, Neath, & Kinoshita, 2003). Dans une tâche de décision lexicale auditive, des mots et des non-mots devaient être discriminés. Chez les normo-lecteurs, mais pas chez des dyslexiques d'âge similaire, les mots étaient discriminés plus rapidement lorsque ceux-ci avaient plusieurs voisins orthographiques (Ziegler & Muneaux, 2007). Selon les chercheurs, ceci indique un rôle clé des représentations orthographiques dans le langage oral à partir du moment où l'apprentissage de la lecture débute. Il semble aussi que le développement des représentations orthographiques soit altéré chez les dyslexiques. Il devient ainsi difficile de mesurer de façon isolée l'efficacité du traitement phonologique dès que l'apprentissage de la lecture débute, même au niveau du langage oral.

La conséquence d'une absence de lien causal clair entre un déficit phonologique et la dyslexie amène donc certains à chercher, proposer et tester la validité d'autres explications se situant à l'extérieur du domaine phonologique quant à la cause primaire de ce trouble. Certains processus visuels et attentionnels pourraient être importants dans le développement de la fluidité en lecture par leur implication dans l'émergence des représentations orthographiques. Ultiment, l'éventuelle expertise acquise en reconnaissance de mots ainsi qu'en lecture

pourraient en être subséquente, tout en contribuant aux manipulations d'ordre phonologique. De façon cohérente avec cette idée, beaucoup de différences significatives ont été découvertes quant au fonctionnement visuel et attentionnel entre des normo-lecteurs et des dyslexiques.

1.1.2 Troubles visuels et attentionnels dans la dyslexie.

La théorie visuelle s'articule autour de l'idée qu'un déficit visuel ou attentionnel est à la source de la dyslexie développementale. En contexte de lecture, les premières étapes du traitement d'un mot (et d'un texte) sont visuelles. L'extraction et le traitement de cette information visuelle semble ainsi dépendre de plusieurs structures anatomiques (et de leur projections), et des processus perceptuels et attentionnels associés à ces structures. La plupart des déficits visuels envisagés chez les dyslexiques concernent un dysfonctionnement d'une structure ou d'un processus associé à la voie visuelle magno-dorsale (Boden & Giaschi, 2007; Laycock & Crewther, 2008). Dans les modèles théoriques de reconnaissance de mots, l'étape d'extraction de l'information visuelle est souvent ignorée (Perry, Ziegler, & Zorzi, 2007). Pourtant, si un des éléments responsables d'assurer cette étape fait défaut, la lecture pourrait s'en trouver affectée, ralentie et rendue imprécise (Vidyasagar & Pammer, 2010). Après une courte description des structures anatomiques importantes de la voie magno-dorsale, nous concentrerons la présente revue de littérature sur les différences entre normo-lecteurs et dyslexiques observées quant aux processus perceptuels et attentionnels découlant de cette voie.

La voie visuelle magno-dorsale transmet l'information visuelle concernant l'encodage spatial et la perception du mouvement vers les aires pariétales (Livingstone & Hubel, 1987). Le nom de cette voie visuelle tient au fait que l'information en provenance des cellules magnocellulaires y serait dominante, et qu'après leur entrée dans les aires visuelles primaires, cette information serait en grande partie dirigée vers les zones dorsales du cerveau (Stein, 2012).

Les cellules magnocellulaires répondent principalement à l'information transitoire, de fréquence temporelle élevée et spatiale basse, avec une haute sensibilité et ont des grands champs récepteurs (Stein, 2014). À partir de l'information captée et acheminée au cerveau par les cellules magnocellulaires, des différences entre dyslexiques et normo-lecteurs ont été démontrées sur l'ensemble du trajet où l'information magnocellulaire serait dominante. Notamment, des différences anatomiques se retrouvent dans le corps genouillé latéral, mais d'autres différences fonctionnelles impliquant les zones visuelles primaires et les régions dorsales, où l'information magnocellulaire serait particulièrement critique, ont aussi été documentées (Laycock & Crewther, 2008). Au niveau comportemental, l'efficacité de la voie visuelle magno-dorsale peut être mesurée avec des tâches qui isolent certains de ses aspects fonctionnels, c'est-à-dire, perceptuels et attentionnels.

Parmi les tâches sollicitant particulièrement la voie visuelle magno-dorsale, celles impliquant la perception du mouvement et l'illusion de doublage de fréquence, des différences ont été observées entre normo-lecteurs et dyslexiques. Ainsi, les dyslexiques sont moins sensibles que les normo-lecteurs dans la détection du mouvement global, particulièrement lorsque des distracteurs visuels sont présentés pendant la tâche (Qian & Bi, 2014; Sperling, Lu, Manis, & Seidenberg, 2006). Dans un devis causal impliquant plusieurs expériences, Gori, Seitz, Ronconi, Franceschini, et Facoetti (2015) démontrent que la perception du mouvement est déficiente chez des dyslexiques ayant en moyenne onze ans en comparaison à un groupe apparié au niveau de l'âge et un autre groupe apparié au niveau des habiletés de lecture. Ils démontrent aussi que chez des prélecteurs, la perception du mouvement est un prédicteur significatif des habiletés phonologiques et en lecture de texte mesurées un an après le début de l'apprentissage de la lecture. De plus, il a été démontré que les dyslexiques sont moins sensibles que des normo-

lecteur pour la détection d'une illusion de doublage de fréquence, ce qui suggère également une sensibilité réduite de la voie visuelle magno-dorsale (Buchholz & McKone, 2004; Pammer & Wheatley, 2001). L'illusion de doublage de fréquence est un effet perceptuel provoqué par l'alternance rapide en inversion de phase de deux réseaux achromatiques. Ceci amène l'observateur à percevoir la fréquence spatiale des réseaux comme étant le double de leur fréquence réelle, d'où le terme doublage de fréquence. Le phénomène se produit lorsque les trois conditions suivantes sont respectées : un niveau élevé de contraste des réseaux, une fréquence spatiale basse et une fréquence temporelle élevée, c'est-à-dire, une inversion rapide des réseaux de bandes (Kelly, 1981). Un intérêt particulier de ces tâches est qu'elles sont principalement visuelles, limitant les influences langagières, donc les différences observées ne peuvent pas être secondaires à un déficit phonologique. Ces résultats mettent donc en lumière des processus visuels découlant de la voie magno-dorsale qui sont moins efficaces chez les dyslexiques.

Toujours dans les régions dorsales, le cortex pariétal postérieur est considéré comme le siège du traitement de l'information spatiale (Bisley & Goldberg, 2003). L'activité de ce cortex en contexte de recherche attentionnelle influence la sensibilité d'aires visuelles de plus bas niveau, suggérant un rôle important de cette région dans l'extraction de l'information visuelle en vue de son traitement (Saalmann, Pigarev, & Vidyasagar, 2007). Elle serait ainsi particulièrement importante dans l'encodage spatial des lettres et de leur position dans le mot (Pammer, Hansen, Holliday, & Cornelissen, 2006), permettant d'accéder rapidement et précisément à une représentation orthographique adéquate du mot traité.

Autant pour l'attention spatiale que temporelle, celles-ci semblent impliquées dans les habiletés de lecture et des différences à cet égard ont déjà été documentées entre normo-lecteurs et dyslexiques (Ruffino, Gori, Boccardi, Molteni, & Facoetti, 2014). D'abord, les performances à

des tâches de barrage de symboles et à une tâche d'indiciage spatial chez des prélecteurs prédisent leurs habiletés de lecture de textes, de mots isolés et de pseudo-mots mesurées deux ans après le début de l'apprentissage de la lecture (Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli, & Facchetti, 2012). Ces deux tâches mettent en jeu l'attention visuo-spatiale et plus les performances y sont faibles chez les prélecteurs, plus ils sont à risque de présenter des difficultés éventuelle en lecture. Par ailleurs, une allocation asymétrique de l'attention, favorisant le champ visuel droit, se révèle être présente chez les dyslexiques en comparaison à des normo-lecteurs (Facchetti, Turatto, Lorusso, & Mascetti, 2001; Lorusso et al., 2004). Au plan temporel, le clignement attentionnel est systématiquement plus long chez les dyslexiques en comparaison à des normo-lecteurs (Hari, Valta, & Uutela, 1999; Laasonen et al., 2012). Le clignement attentionnel est un phénomène bien documenté de la diminution temporaire de ressources attentionnelles survenant à l'intérieur d'une demi-seconde après la détection d'une cible (Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992). Les résultats reflètent un engagement ainsi qu'un désengagement attentionnel plus lent chez les dyslexiques (Hari & Renvall, 2001; Lallier et al., 2010).

En somme, des déficits visuels et attentionnels semblent clairement impliqués dans les troubles d'apprentissage en lecture (Nandakumar & Leat, 2008). Par contre, une des critiques les plus importantes de cette théorie concerne la part d'imprécision qui demeure au niveau du lien entre les différences observées et le processus même de la lecture (Boden & Giaschi, 2007). La plupart des démonstrations expérimentales d'une atteinte visuelle et/ou attentionnelle chez les dyslexiques n'utilisent pas des mots (ou des textes) comme stimuli à l'intérieur de leur protocole. Les différences de groupes (normo-lecteurs versus dyslexiques, appariés au niveau de l'âge chronologique ou de lecture) révélées dans ces études n'expliquent pas directement comment le

processus de lecture est atteint. Au plus, il s'agit d'indices de dysfonctionnement susceptibles de nuire à la lecture. Nous ferons un compte-rendu plus détaillé d'une partie de ces indices lors de notre exposé plus bas d'une hypothèse audacieuse de Vidyasagar et Pammer (2010). Ceux-ci proposent que les dyslexiques ont des difficultés à diriger leur attention efficacement à travers l'espace et le temps sur l'information la plus pertinente pendant le processus de reconnaissance d'un mot et de lecture de texte. Certaines prédictions découlant de cette hypothèse seront testées dans les prochains chapitres. Nous nommerons cette hypothèse le trouble du déploiement spatio-temporel de l'attention chez les dyslexiques.

1.1.2.1 Le déploiement spatio-temporel de l'attention dans la dyslexie. Il a été proposé qu'un mécanisme attentionnel impliqué dans le traitement efficace d'une séquence d'éléments alignés à l'horizontale serait touché chez les dyslexiques (Vidyasagar & Pammer, 1999). Il semble évident qu'en contexte de lecture, l'efficacité de l'extraction de l'information visuelle est déterminante pour la fluidité en reconnaissance de mot. Ainsi, la proposition principale de Vidyasagar et Pammer (2010) est que la façon dont l'attention se déploie dans l'espace (attention spatiale) et dans le temps (attention temporelle) sur des alignements horizontaux d'éléments multiples, dont les mots constituent un sous-ensemble, serait moins efficace chez les dyslexiques que les normo-lecteurs. Subséquemment, l'accès aux représentations orthographiques en serait ralenti. Ce déficit pourrait ainsi nuire grandement à la précision et la vitesse de lecture, notamment en affectant la conversion des graphèmes (unité de sons à l'écrit) en phonèmes (unité de sons à l'oral), tel qu'observable dans des épreuves de lecture de pseudo-mots. Une seconde proposition importante de cette hypothèse est que les habiletés phonologiques en elles-mêmes, particulièrement la conscience phonologique, seraient également atteintes, en conséquence secondaire du déficit attentionnel (Vidyasagar, 2012). Cette

proposition est cohérente avec le fait que les représentations orthographiques des mots se développant dès l'apprentissage de la lecture influencent la façon de traiter l'information phonologique (Castles et al., 2003).

Un déficit attentionnel bien démontré que l'on retrouve chez plusieurs dyslexiques concerne l'empan visuo-attentionnel (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007). Cet empan réfère au nombre d'éléments pouvant être traités simultanément dans une séquence horizontale de caractères visuels (Lobier, Zoubrinetzky, & Valdois, 2012; Valdois et al., 2003). Les dyslexiques sont généralement moins performants que des normo-lecteurs dans une tâche de rappel complet de séquences de cinq consonnes présentées simultanément pendant 200 ms (Bosse et al., 2007; Lassus-Sangosse, N'guyen-Morel, & Valdois, 2008). Selon les auteurs, il est peu probable que les habiletés phonologiques viennent affaiblir le rappel des cinq consonnes chez les dyslexiques, ce type de tâche est reconnu pour être un indicateur du fonctionnement de l'attention visuelle (Shih & Sperling, 2002). Ainsi, les dyslexiques ont un empan visuo-attentionnel systématiquement plus petit que des normo-lecteurs. Cet empan constitue un indicateur du fonctionnement de l'attention spatiale puisque plus cet empan est élevé, plus grande est l'étendue du champ visuel duquel il est possible d'intégrer l'information visuelle (Bosse, Kandel, Prado, & Valdois, 2014). Il a notamment été démontré que les dyslexiques sont plus sensibles à l'effet d'encombrement (c.-à-d. « *crowding* ») que les normo-lecteurs (Moore, Cassim, & Talcott, 2011; Zorzi et al., 2012). L'effet d'encombrement concerne la difficulté à reconnaître une cible périphérique lorsqu'elle est entourée d'autres stimuli. La susceptibilité d'un individu à cet effet est directement reliée à la taille de son empan visuel (Pelli & Tillman, 2008).

Encore avec des tâches d'identification de séquences de caractères, mais cette fois avec des durées d'exposition variables en fonction des performances des participants, il est démontré

que le déploiement attentionnel s'avère plus lent chez les dyslexiques. Cette démonstration a été faite à partir d'une tâche de rappel partiel utilisant des séquences de cinq consonnes ou de cinq chiffres, et dont le caractère à rappeler était souligné par un indice de couleur immédiatement après la présentation de la séquence. La durée d'exposition des séquences était ajustée essai par essai par une procédure en escalier, c'est-à-dire que le temps d'exposition de la séquence de stimuli diminuait suite à un bon rappel et il augmentait suite à une erreur. À la fin de l'expérience, le temps requis pour identifier un des éléments présentés était plus élevé chez des dyslexiques que chez des normo-lecteurs (Hawelka, Huber, & Wimmer, 2006). Ce déficit a été observé avec des séquences de quatre items ou plus (Hawelka & Wimmer, 2005). Dans une tâche de choix forcé, les dyslexiques, enfants ou adultes, sont moins efficaces que des normo-lecteurs appariés pour reconnaître une séquence de pseudo-lettres présentée préalablement pendant 100 ms (Pammer, Lavis, Cooper, Hansen, & Cornelissen, 2005; Pammer, Lavis, Hansen, & Cornelissen, 2004). Un tel paradigme implique de présenter au participant deux ou plusieurs choix de réponses parmi lesquels se retrouve la cible. Ici, les distracteurs étaient différents des cibles seulement par un échange de position de deux lettres dans la séquence. Selon les auteurs de ces études, les difficultés des dyslexiques à cette tâche seraient attribuables à un problème affectant l'encodage de l'identité et de la position des symboles à l'intérieur d'une séquence. Dans une autre tâche, impliquant l'identification de symboles non verbaux (c.-à-d. ni des chiffres ou des lettres) individuels présentés pendant 100 ms avec des masques avant et après, les résultats indiquent que les dyslexiques ayant des déficits phonologiques sont moins précis que des normo-lecteurs appariés au niveau de l'âge et du QI (Ruffino et al., 2014). Selon les chercheurs, cette différence s'explique par une attention temporelle plus faible chez les dyslexiques.

En somme, ces observations suggèrent que les dyslexiques semblent à risque de présenter un déficit affectant un mécanisme attentionnel impliqué dans le traitement de séquences horizontales de stimuli et sont cohérentes avec l'hypothèse d'un trouble du déploiement spatio-temporel de l'attention chez les dyslexiques. Les sections suivantes de ce chapitre nous permettront d'expliquer comment certaines prédictions de cette hypothèse seront mises à l'épreuve dans cette thèse. D'abord, nous présenterons comment l'attention spatio-temporelle est impliquée dans le processus de reconnaissance d'un mot, particulièrement comment il pourrait s'avérer différent entre des normo-lecteurs et des dyslexiques. Nous poursuivrons avec une revue de la littérature sur le lien entre les entraînements visuo-attentionnels et les bénéfices possibles en lecture de texte et d'autres habiletés langagières impliquées dans la lecture chez les dyslexiques. Avant tout, nous regarderons un dernier élément non négligeable de la dyslexie développementale, c'est-à-dire, comment l'hypothèse d'un trouble du déploiement spatio-temporel de l'attention permet de rendre compte de l'hétérogénéité des déficits observés chez les dyslexiques.

1.1.3 Les manifestations éclatées de la dyslexie : un, deux ou de multiples noyaux déficitaires?

La spécification des difficultés rencontrées en clinique de la dyslexie est également sujette à débat. Un facteur important rendant difficile d'obtenir à ce jour un consensus est l'hétérogénéité des profils cliniques possibles de la dyslexie. Un autre facteur est évidemment que la cause exacte de la dyslexie développementale n'est pas encore connue. Il existe donc différentes classifications des profils de dyslexie et certaines d'entre elles seront présentées dans cette section.

D'abord, certains considèrent la dyslexie comme un trouble survenant strictement en lien avec un déficit phonologique primaire (Goswami, 2011; Stanovich, 1988). Dans ce cas, les difficultés d'ordre visuel seraient attribuables à un retard d'apprentissage ou alors secondaire au déficit phonologique. Il est à noter que certaines difficultés visuelles (orthographiques) sont fréquentes chez les apprentis-lecteurs et qu'elles tendent à éventuellement disparaître, ce qui peut prendre plus de temps ou d'exposition pour certains que pour d'autres (Piasta & Wagner, 2008)

Ensuite, un autre ensemble de chercheurs distingue deux types de dyslexies; phonologique et de surface. Ces deux désordres auraient des causes bien distinctes, soit un déficit phonologique et visuo-attentionnel, respectivement (Newby, Recht, & Caldwell, 1993; Zoubrinetzky, Collet, Serniclaes, Nguyen-Morel, & Valdois, 2016). Par exemple, une étude de cas conduite sur deux adolescents dyslexiques permet de dissocier ces deux sous-types (Valdois et al., 2003). Les deux adolescents, qui présentent des habiletés de lecture équivalentes, ont passé une série d'épreuves qui permettent d'établir deux profils différents de dyslexies. D'une part, chez le jeune ayant une dyslexie dite phonologique, des déficits au niveau de la conscience phonologique sont retrouvés, tel que mesurés avec des tâches sollicitant des opérations de catégorisation, de manipulation et de segmentation de phonèmes. Pour compenser ce déficit lors de la lecture, ce jeune se fie à la forme visuelle des mots. Les principales difficultés de lecture s'observent avec des pseudo-mots, mais aussi des mots qui lui sont inconnus. D'autre part, la dyslexie de surface est associée à un déficit de l'empan visuo-attentionnel qui empêche un traitement parallèle des lettres dans les mots. La lecture est ainsi beaucoup plus lente, parce que chacune des lettres doit être traitée afin de reconnaître le mot. Cette étude de cas suggère l'existence d'une double dissociation dans la dyslexie, celle-ci pouvant survenir en raison de l'un ou l'autre de deux désordres bien distincts. Ainsi, le jeune ayant une dyslexie phonologique

n'aurait pas de déficit visuo-attentionnel et que le jeune ayant une dyslexie de surface présenterait un traitement phonologique intact. Cependant, ces deux profils extrêmes ne représentent pas celui de la majorité des dyslexiques, où les deux déficits (phonologique et visuel) se manifesteraient le long d'un continuum entre ces deux pôles avec une distribution normale entre les deux (Barrouillet et al., 2007).

Par ailleurs, il s'avère que la classification sur la base de ces deux groupes est potentiellement inadéquate. Divers systèmes de classification utilisés dans une étude avec un grand échantillon de dyslexiques vont tous classer au moins la moitié de l'échantillon comme ayant un profil mixte (phonologique et de surface) ou non catégorisable (McArthur et al., 2013). La majorité des dyslexiques ne se distinguent pas entre eux sur plusieurs tâches (Manis et al., 1996). Il appert que la majorité des dyslexiques auront des déficits multiples plutôt qu'isolés, et sur davantage de domaines que seulement phonologiques ou visuo-attentionnels (Menghini et al., 2010).

En ce qui concerne l'hypothèse d'un trouble du déploiement spatio-temporel de l'attention chez les dyslexiques, Vidyasagar et Pammer (1999) proposent que ce déficit est susceptible de se retrouver chez l'ensemble des dyslexiques. En général, la théorie visuelle a été critiquée pour son impossibilité à retrouver des déficits chez tous les dyslexiques pour une mesure visuelle donnée (Ramus et al., 2003; Skoyles & Skottun, 2011). À cette critique, Vidyasagar et Pammer (2010) répondent que l'impossibilité de rendre compte de l'ensemble des dyslexiques par une seule mesure visuelle est due au fait que plusieurs déficits visuels et attentionnels de la voie visuelle magno-dorsale peuvent au final, affecter le déploiement de l'attention en reconnaissance de mots. Concernant les déficits phonologiques, ceux-ci pourraient être, en partie du moins, secondaires à ce déficit attentionnel.

Il n'en demeure pas moins que peu de résultats peuvent appuyer directement l'hypothèse d'un trouble spatio-temporel de l'attention commun à tous les dyslexiques (Vidyasagar, 2012). Nous opterons dans cette thèse pour un groupe unique d'adultes ayant auparavant été diagnostiqués comme dyslexiques par un professionnel qualifié, sans distinction entre différents sous-types ou sélectionnés selon un déficit particulier retrouvé. Ceci apparaît la meilleure façon de mettre à l'épreuve cette hypothèse.

1.2 Le déploiement spatio-temporel de l'attention pour la reconnaissance de mots

1.2.1 Expertise en reconnaissance de mots chez le normo-lecteurs.

Les adultes normo-lecteurs sont considérés comme des experts en reconnaissance de mots (McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003). Cette expertise se développe et se consolide notamment en raison d'une impressionnante exposition quotidienne au matériel écrit. Les estimations de la quantité de matériel écrit auquel nous serons exposées sont impressionnantes. En effet, en lisant seulement une heure par jour pendant quarante ans, le lecteur humain aura traité environ un milliard de lettres (Pelli, Burns, Farell, & Moore-Page, 2006). Plus encore, il est estimé qu'un adulte d'à peine 25 ans aura déjà reconnu plus d'une centaine de millions de mots (Geisler & Murray, 2003).

L'apprentissage de la lecture et notre exposition aux mots entraînent des changements neuronaux importants (Chang et al., 2015). Chez des lecteurs adultes, en comparaisons à des adultes analphabètes un traitement particulier des mots est observé à partir des aires visuelles primaires, et ce traitement s'observe également chez des personnes ayant appris à lire seulement à l'âge adulte (Dehaene et al., 2010). Une forme de recyclage neuronal offre une explication à

tous ces changements (Dehaene & Cohen, 2007). La lecture, et particulièrement, la possibilité d'apprendre à lire est une réalité très récente dans l'évolution de l'être humain. Il est alors postulé qu'au niveau cérébral, l'apprentissage et la maîtrise de la reconnaissance du matériel écrit recrutent plusieurs aires visuelles, ventrales et dorsales, qui ne sont pas exclusivement dédiées à la lecture. Ceci est cohérent avec l'hypothèse d'un trouble du déploiement spatio-temporel de l'attention chez les dyslexiques (Vidyasagar, 2013).

Une aire visuelle ventrale a été systématiquement identifiée comme impliquée dans le processus de reconnaissance des mots familiers, il s'agit de l'aire visuelle de la forme des mots (L. Cohen & Dehaene, 2004). Selon certains, l'activation de cette aire permet de reconnaître les mots à partir d'un traitement parallèle des lettres le constituant. Ce traitement parallèle implique qu'un mot, sera reconnu à une vitesse et une précision constante peu importe son nombre de lettres. Chez des normo-lecteurs, ceci s'avère effectivement le cas avec des mots qui contiennent entre trois et huit lettres (New, Ferrand, Pallier, & Brysbaert, 2006; Weekes, 1997). L'hypothèse d'un traitement de l'information se faisant de façon parallèle est dominante dans les modèles de lecture, impliquant que toutes les lettres d'un mot seront traitées simultanément et de façon uniforme (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001; Perry et al., 2007; Seidenberg & McClelland, 1989). Cette forte croyance a eu pour effet de sous-spécifier l'apport et les conséquences de l'étape d'extraction de l'information dans la reconnaissance de mots familiers, en tenant pour acquis que le focus attentionnel est réparti uniformément à travers l'étendue du mot traité.

Pourtant, les régions dorsales, responsables des réseaux de l'attention visuelle, semblent particulièrement impliquées au début du traitement de l'information visuelle d'un mot, notamment dans les premières étapes de ce traitement afin d'orienter et d'étendre adéquatement

la fenêtre de l'attention visuelle sur le mot (L. Cohen, Dehaene, Vinckier, Jobert, & Montavont, 2008). Le traitement réalisé au niveau de la voie dorsale serait complémentaire au processus de reconnaissance du mot se finalisant dans les aires ventrales (Rosazza, Cai, Minati, Paulignan, & Nazir, 2009). En fait, l'information visuelle traitée au niveau dorsal faciliterait le traitement réalisé ensuite dans les aires ventrales, par processus de rétroaction vers les aires visuelles primaires, augmentant la sensibilité visuelle aux endroits où l'information la plus pertinente est à traiter (Saalman et al., 2007; Vidyasagar, 1999). Ainsi, l'étape de l'extraction de l'information visuelle pourrait jouer un rôle important dans l'expertise en reconnaissance de mots, et être influencée par l'efficacité du déploiement attentionnel sur ceux-ci (Vidyasagar, 2013).

1.2.2 Implications attentionnelles dans la reconnaissance de mots.

Le point de vue dominant dans la littérature sur l'implication de l'attention dans la reconnaissance de mots est qu'elle est particulièrement minime ou alors limitée à la lecture de non-mots seulement (Facoetti et al., 2006). En effet, en raison de l'absence de l'effet de longueur du mot, et de l'effet *Stroop*, la reconnaissance du mot est parfois considérée comme un automatisme (Brown, Gore, & Carr, 2002), ou même un réflexe (Perfetti & Zhang, 1995).

L'effet *Stroop* est souvent attribué à un biais de prédominance des processus de reconnaissance de mot mis en évidence dans une tâche où des mots de couleurs (rouge, vert ou bleu) sont imprimés dans une couleur différente de leur attribut (p. ex, le mot rouge est imprimé en bleu). Lorsqu'une personne doit nommer les couleurs dans lesquelles les mots sont imprimés, elle doit inhiber la réponse dominante, qui est celle de nommer le mot écrit, plutôt que sa couleur (Brown et al., 2002). Pour certains, cette réponse dominante, qui nuit à la réalisation de la tâche demandée, qui est celle de nommer la couleur d'impression, découle du fait que la reconnaissance de mot est automatique et qu'elle nécessite un apport minime de ressources

attentionnelles (Barrouillet et al., 2007). Pourtant, dans une version alternative et informatisée de la tâche dont la condition de dénomination consistait à nommer la couleur occupant le plus d'espace à l'écran parmi deux couleurs, la réponse dominante des mots n'est pas présente (Robidoux & Besner, 2015). Il a été suggéré par les auteurs de ce papier que la tâche concurrente demandait des ressources attentionnelles plus importantes que celle de nommer des couleurs très fréquentes dans un paradigme classique *Stroop*, ce qui est mis en évidence par l'absence d'effet de la réponse dominante dans leur paradigme.

Par ailleurs, de plus en plus de mécanismes attentionnels (attention spatiale, centrale et exécutive) sont identifiés comme étant impliqués dans la lecture (Besner et al., 2016). Notamment, il a été démontré que la reconnaissance de mots est impossible à l'extérieur d'où est orientée l'attention spatiale. Le déploiement de ressources attentionnelles suffisantes dans le traitement d'un mot est ainsi considéré comme un processus de base à sa reconnaissance (Lien, Ruthruff, Kouchi, & Lachter, 2010). Il a également été démontré que l'accès aux représentations orthographiques et sémantiques d'un mot n'est pas possible sans attention spatiale (Waechter, Besner, & Stolz, 2011).

Il est difficile de réconcilier les deux points de vue présentés précédemment, entre la reconnaissance parallèle ou automatique d'un mot, et celle dépendante de ressources attentionnelle. Particulièrement, cette réconciliation semble impossible à partir du moment où une stratégie attentionnelle de l'extraction de l'information visuelle serait impliquée pendant la reconnaissance du mot. Cette stratégie, s'organisant autour d'un déploiement optimal de l'attention sur l'information la plus importante d'un mot, pourrait jouer un rôle important dans l'expertise des normo-lecteurs.

1.2.3 Déploiement spatio-temporel optimal chez le normo-lecteur.

Comme mentionné précédemment, une implication logique d'un mot étant reconnu de façon parallèle, est que le déploiement de l'attention dans l'extraction d'un mot se fait sur l'entièreté du mot, avec une distribution uniforme ou presque des ressources attentionnelles sur chacune des lettres du mot. Les quelques études ayant abordé directement cette question révèlent que ce processus est loin d'être purement parallèle. En fait, il a été proposé que chez les normo-lecteurs, l'extraction de l'information visuelle d'un mot suit une séquence qui permet de diriger davantage de ressources attentionnelles sur les positions des lettres étant les plus informatives concernant son identité (Blais et al., 2009).

Notamment, un avantage de la première lettre d'un mot a été retrouvé, peu importe la longueur de ce mot (Scaltritti & Balota, 2013; Scaltritti, Dufau, & Grainger, 2018). Il a été démontré que cet avantage pour la première lettre est sous-tendu par un déploiement rapide de l'attention spatiale vers cette position après l'apparition d'un mot (Aschenbrenner, Balota, Weigand, Scaltritti, & Besner, 2017). Les contraintes lexicales sont plus élevées au début d'un mot plutôt qu'à la fin (Farid & Grainger, 1996), c.-à-d. que la première lettre est celle qui distingue le plus souvent un mot d'alternatives lexicales très similaires, du moins en anglais et en français. Ce biais attentionnel vers la première lettre d'un mot est cohérent avec des démonstrations computationnelles indiquant que la première lettre d'un mot est la plus informative peu importe le nombre de lettres que contient le mot (Blais et al., 2009). Ces démonstrations utilisaient un observateur idéal (Geisler, 2011), soit un programme qui identifie la stratégie la plus optimale pour accomplir une tâche en fonction de l'information qu'on lui donne (ici, des mots). Un biais attentionnel facilitant le traitement de la première lettre permettrait donc de limiter rapidement le nombre de candidats lexicaux sur la base de

l'information récoltée et ceci serait cohérent avec une stratégie d'extraction optimale de l'information en reconnaissance de mot. Par contre, la majorité des démonstrations appuyant l'effet de l'absence de longueur du mot ou de l'avantage de la première lettre utilisent des paradigmes expérimentaux avec des tâches de décision lexicale ou de choix forcé, qui nous donnent des indices sur le processus d'extraction uniquement lorsque celui-ci est terminé, et non pas pendant le processus même.

Ainsi, une mesure du déploiement attentionnel sur le mot au moment même où le processus de reconnaissance du mot a lieu apparaît comme une façon de réellement mettre à l'épreuve l'hypothèse d'un trouble spatio-temporel de l'attention chez les dyslexiques. Ce paradigme devrait également permettre de mesurer le déploiement de l'attention spatiale à plusieurs moments pendant ce processus, et donc offrir une mesure spatio-temporelle de ce déploiement.

1.2.4 Indices de dysfonctionnement du déploiement attentionnel chez les dyslexiques.

Le déploiement spatio-temporel de l'attention apparaît donc comme un processus de base dans la lecture. Celui-ci pourrait s'avérer important dans l'expertise observée chez les normo-lecteurs. Il a été proposé que chez les dyslexiques, le déploiement spatio-temporel de l'attention sur un mot n'est pas optimal (Vidyasagar & Pammer, 2010). La sous-spécification de ce déploiement demeure un obstacle à cette proposition, et des indices seulement indirects appuient cette hypothèse. Parmi les indices indirects décrits plus haut, des tâches utilisant des séquences horizontales de plusieurs stimuli, dont les mots constituent un sous-ensemble, permettent d'illustrer certaines différences entre normo-lecteurs et dyslexiques quant à la distribution de l'attention spatiale et temporelle. Il demeure toutefois une part d'incertitude concernant la façon

exacte dont ces difficultés peuvent altérer l'efficacité de la reconnaissance de mots (Boden & Giaschi, 2007). À partir d'un paradigme comportemental de sonde attentionnelle, nous allons caractériser la distribution de l'attention dans l'espace et le temps chez des adultes dyslexiques au moment même où le mot est traité. Pour ce faire, nous allons utiliser les performances d'un groupe de normo-lecteurs comme niveau de base, puisque chez cet échantillon, le déploiement de l'attention dans ce contexte est considéré comme optimal.

1.2.5 Technique de sonde attentionnelle pour caractériser les différences attentionnelles des dyslexiques en reconnaissance de mots.

La technique de sonde attentionnelle est une méthode comportementale qui permet de mesurer le déploiement de l'attention pendant le processus de reconnaissance d'un stimulus visuel. Ce déploiement de l'attention peut être mesuré conjointement sur les domaines spatial et temporel. Nous couvrirons les façons de mesurer ces différentes composantes du déploiement attentionnel.

La mesure de la distribution de l'attention à travers l'espace avec cette technique a principalement été employée dans la reconnaissance de formes visuelles. Dans ces études, il est demandé aux participants d'identifier rapidement un attribut d'une sonde, p. ex., un point d'une couleur verte ou rouge, qui est présenté à différents endroits à l'intérieur d'un stimulus global, plus étendu, p. ex, un polygone (Cole, Gellatly, & Blurton, 2001). Les résultats indiquent que le déploiement de l'attention varie en fonction de la forme du stimulus global, p. ex, qu'il soit un carré ou un triangle, et que les régions privilégiées par l'attention sont les coins d'un stimulus, par rapport aux côtés. Un ajustement de la distribution de l'attention permet ainsi de capturer l'information la plus pertinente du stimulus global dès le début du processus d'identification (Cole, Skarratt, & Gellatly, 2007). À partir des indicateurs comportementaux, le paradigme de

sonde attentionnelle permet d'inférer les zones privilégiées du focus attentionnel à l'intérieur d'un stimulus à un moment particulier du processus de reconnaissance.

La technique de sonde attentionnelle a déjà été utilisée en contexte de reconnaissance de mots mais seulement sur le plan temporel et avec une sonde auditive. Après l'apparition d'un mot à l'écran, les temps de réaction à l'identification d'un attribut d'une sonde auditive (p. ex., une tonalité sonore grave ou aigu) diminuent en fonction de l'augmentation de l'asynchronie d'apparition du stimulus (AAS), ici la sonde, par rapport au moment de présentation du mot (Herdman, 1992; Simpson, Kellas, & Ferraro, 1999). En d'autres mots, l'AAS représente ici le temps entre l'apparition du mot à l'écran et la présentation de la sonde. La diminution des temps de réaction plus l'AAS est long peut s'expliquer par un effet d'alerte du stimulus global (ici, l'apparition à l'écran d'un mot) sur l'apparition subséquente et le traitement de la sonde à venir (Weinbach & Henik, 2012). Également, plus l'AAS augmente, moins de ressources attentionnelles seraient requises par le processus d'identification du stimulus global, ce qui permet d'allouer plus de ressources à l'identification de l'attribut de la sonde. Toutefois, les AAS utilisés dans ces expériences surviennent parfois 1000 ms après l'apparition du stimulus. Dans le contexte d'un processus de reconnaissance qui se fait très rapidement, des AAS devraient être considérablement plus courts afin de caractériser la partie utile du déploiement de l'attention visuelle sur un mot. Également, la sonde devrait être visuelle plutôt qu'auditive.

La technique de sonde attentionnelle permet ainsi de mesurer comment l'attention se déploie dans l'espace et dans le temps. De façon intrigante, peu de tâches de sonde attentionnelle ont utilisé simultanément son potentiel de mesure de distribution spatiale et temporelle de l'attention pendant la reconnaissance d'un objet.

1.2.6 Application de la technique en contexte de reconnaissance de mots pour caractériser les différences attentionnelles des dyslexiques.

Dans le premier article de cette thèse, au chapitre suivant, nous avons adapté la technique de sonde attentionnelle pour évaluer le déploiement spatio-temporel de l'attention en contexte de reconnaissance de mots. Cette adaptation a pour but de caractériser les différences attentionnelles qu'on l'on pourrait retrouver chez les dyslexiques, en comparaison à un groupe de normo-lecteurs apparié au niveau de l'âge et du fonctionnement intellectuel.

Dans cette expérience, les participants ont tous exposés pendant 200 ms à des mots de quatre lettres, qui leur sont familiers. Durant l'exposition du mot, une sonde (une petite barre) apparaît pendant 50 ms sur l'une des quatre lettres à une AAS particulier. La tâche du participant est d'identifier son orientation (verticale ou horizontale) le plus rapidement possible, en évitant de faire une erreur. Les performances d'identification de l'attribut de la sonde servent ici d'index de l'allocation de ressources attentionnelles sur chacune des lettres du mot à différents moments après l'apparition du mot. L'interprétation de la quantité de ressources attentionnelles allouées repose sur les temps de réaction associés aux bonnes réponses et aux taux d'erreur à un moment et un endroit particulier. Spécifiquement, plus les temps de réponse et les taux d'erreurs associés seront bas, plus le niveau d'attention inféré sera élevé, et vice versa.

Un enjeu bien spécifique de la mesure du déploiement attentionnel ayant lieu pendant le processus de reconnaissance du mot demeure tous les autres aspects visuels contribuant ou influençant ce processus. Effectivement, l'acuité visuelle et l'effet d'encombrement sont des facteurs importants qui déterminent l'efficacité du déploiement attentionnel pendant la reconnaissance d'un mot (Grainger, Dufau, & Ziegler, 2016). Il est possible de contrôler l'acuité visuelle dans une certaine mesure en s'assurant que les participants ont une acuité normale ou

corrigée à la normale. L'effet d'encombrement est étroitement lié au concept d'empan visuel puisque ce dernier correspond au nombre maximal de lettres qui peuvent être traitées sans souffrir d'un effet d'encombrement (Pelli & Tillman, 2008). L'étendue de cet empan augmente durant les premières années d'apprentissage de la lecture et représente un prédicteur important de la vitesse de lecture (Kwon, Legge, & Dubbels, 2007; Pelli et al., 2007). Chez des adultes normo-lecteurs, l'étendue de l'empan visuel est d'environ dix caractères (Legge, Mansfield, & Chung, 2001). Il a cependant été démontré que les dyslexiques sont plus sensibles à l'effet d'encombrement que les normo-lecteurs (Moore et al., 2011; Zorzi et al., 2012). Dans notre paradigme expérimental, nous utilisons des mots de quatre lettres, normalement espacés, ce qui devrait s'avérer nettement moindre que la taille de l'empan attentionnel des normo-lecteurs et des dyslexiques.

Également, la position visuelle optimale de la fixation oculaire initiale se situe légèrement à la gauche du centre d'un mot (Clark & O'Regan, 1999). Les courbes de performance en reconnaissance de mots associées à différents emplacements de fixation oculaire initiale sont atypiques chez les dyslexiques en comparaison de normo-lecteurs, particulièrement lorsque le mot n'est pas centré (Ducrot, Lété, Sprenger-Charolles, Pynte, & Billard, 2003). Dans notre application, le mot apparaît toujours au même endroit, au centre de l'écran. Ceci permettra de minimiser les effets de fixation oculaire initiale.

Néanmoins, il demeure plusieurs autres facteurs visuels impliqués dans la reconnaissance de mots, notamment l'ordre sériel des lettres dans un mot, l'excentricité, le masquage latéral, etc. De plus, ces facteurs peuvent se confondre, notamment l'effet de position de lettre et celui d'excentricité lorsque l'alignement du mot relativement au point de fixation est constant. Ceci ne nous permettrait pas d'établir clairement comment s'articule la stratégie attentionnelle à partir

des données brutes à la tâche de sonde attentionnelle. Toutefois, nous considérons que l'impact de ces facteurs sera similaire chez les normo-lecteurs et les dyslexiques. Ainsi, dans ce projet, il est postulé qu'une différence observée chez les dyslexiques relativement au profil des normo-lecteurs indiquera une stratégie attentionnelle différente en reconnaissance de mots. Le profil obtenu chez les normo-lecteurs servira donc ici de référence pour identifier des possibles anomalies dans le déploiement spatio-temporel de l'attention dans la dyslexie.

Ce premier projet expérimental vise donc à mesurer comment le déploiement attentionnel des dyslexiques en contexte de reconnaissance de mots s'articule en comparaison à des normo-lecteurs, le profil de ces derniers servant de niveau de base. Dans le second projet, nous débordons du cadre de reconnaissance de mots simples pour étudier les contributions attentionnelles en contexte de lecture de phrases ou de texte, mais également dans différentes habiletés phonologiques, sous-composante importante de la lecture.

1.3 Implications attentionnelles dans la lecture de texte et les habiletés phonologiques chez les dyslexiques : Entraînement visuo-attentionnel

Nous désirons observer le lien entre l'attention visuelle, les habiletés en lecture et certaines composantes langagières directement impliquées dans la lecture par le biais d'un entraînement visuo-attentionnel chez des adultes dyslexiques. Les études d'entraînement sont d'une importance particulière dans l'étude de la dyslexie car les gains de performance peuvent directement être attribuables à la fonction cognitive entraînée, ce qui souligne son importance dans le processus normal de lecture (Goswami, 2015). Puisque l'entraînement proposé ressemble à un jeu vidéo, nous débutons cette section par une revue de la littérature sur ces jeux.

Le point de vue scientifique sur les jeux vidéo a grandement évolué depuis les 25 dernières années. Les jeux vidéo ont d'abord été perçus comme néfastes à plusieurs points de vue, notamment sur le plan de l'agressivité avec la pratique de jeux vidéo violents (C. A. Anderson & Bushman, 2001; Carnagey & Anderson, 2005). Toutefois, un biais de publication en faveur d'études présentant les répercussions négatives associées à la pratique des jeux vidéo, notamment la relation avec la présence de comportements agressifs, par rapport à leurs répercussions positives a influencé la perception des chercheurs et du public envers ce type d'activité (Ferguson, 2007). Une méta-analyse démontre que certains jeux vidéo violents peuvent mener à davantage de comportements agressifs, mais celle-ci démontre également que le fait de regarder des émissions télévisuelles violentes soit relié à encore plus de comportements agressifs (Sherry, 2001). Au contraire, de plus en plus de bienfaits affectifs, sociaux et cognitifs ont été observés avec la pratique ou l'entraînement à des jeux vidéo (Granic, Lobel, & Engels, 2014). Comme bien d'autres outils pédagogiques informatiques, il est à prévoir qu'une plus grande place leur sera accordée en contexte scolaire. À cet effet, des outils pédagogiques pour la lecture ont été développés sous la forme de jeux vidéo, par exemple, le programme Évasion (Meyer, 2019). Dans un contexte bien différent mais relié à l'émergence des jeux vidéo des récentes années, une première école secondaire au Québec offrira dès septembre 2019 une concentration compétitive en sport électronique, sur un modèle calqué de celui des concentrations sports-études (Académie de Esport de Montréal, 2018).

Il apparaît toutefois certain que ce ne sont pas tous les jeux vidéo qui ont le potentiel d'engendrer des gains cognitifs et que ceux qui semblent en avoir le plus grand potentiel sont les jeux vidéo d'action (JVA) (J. E. Cohen, Green, & Bavelier, 2007); dont plusieurs sont aussi considérés comme violents. Pour la suite de cette section, nous nous concentrerons sur les JVA,

dont les exigences fonctionnelles sont similaires à celle de l'entraînement que nous utilisons dans le troisième chapitre de cette thèse.

1.3.1 Jeux vidéo d'action et gains cognitifs.

Les JVA présentent quatre exigences fonctionnelles qui les distinguent des jeux vidéo dits sans action (Green, Li, & Bavelier, 2010). Ceux-ci impliquent la grande vitesse des séquences d'événements (visuels et auditifs) qui s'enchaînent et des mouvements à effectuer (1), une charge considérable aux plans perceptuel, cognitif et moteur (2), une imprévisibilité spatiale et temporelle des stimuli (3) ainsi qu'une sollicitation particulière des processus visuels périphériques (4).

Des mesures de fonctionnement attentionnel ont été prises afin de comparer des joueurs de ce type de jeux vidéo et des non-joueurs, ainsi qu'à l'intérieur de paradigmes d'entraînement comparant un groupe actif jouant à des JVA à un autre jouant à un jeu vidéo ne remplissant pas ces exigences fonctionnelles. Les joueurs de JVA présentent moins d'effet d'encombrement puisqu'ils sont capables de traiter simultanément davantage d'éléments visuels que des non-joueurs et présentent aussi un clignement attentionnel moins long (Green & Bavelier, 2003). Les gains attentionnels associés aux JVA en termes d'attention spatiale sont valides pour des tâches faisant usage de stimuli présentés au centre du champ visuel et aussi en périphérie (Green & Bavelier, 2006). Il a d'ailleurs été proposé que la présence conjointe de ces exigences fonctionnelles pourrait entraîner des bénéfices pour d'autres fonctions attentionnelles et cognitives, même si elles ne sont pas directement impliquées dans ces jeux (Gori & Facoetti, 2014; Green & Bavelier, 2006).

En effet, une méta-analyse récente concernant les JVA met en lumière les effets généraux que l'on retrouve chez les joueurs réguliers en comparaison à des non-joueurs d'études publiées entre 2000 et 2015 (Bediou et al., 2018). Six domaines cognitifs semblent plus efficaces chez les

joueurs de JVA, les trois domaines avec les gains les plus importants sont la perception, la cognition spatiale et l'attention. Des effets faibles ou moyens sont aussi observés dans les domaines d'alternance, d'inhibition, et finalement, de cognition verbale (dont la lecture fait partie). Nous approfondirons plus en profondeur ce lien entre les JVA et la lecture dans la section suivante.

1.3.2 Jeux vidéo d'action et lecture.

Il apparaît donc que des composantes de cognition verbale peuvent être plus performantes chez les joueurs de JVA. Notamment, les joueurs réguliers de JVA ont un empan attentionnel plus étendu ainsi qu'une meilleure précision en lecture de pseudo-mots que des non-joueurs de JVA (Antzaka et al., 2017). Les études les plus intéressantes concernant ce lien entre les JVA et les habiletés en lecture demeurent celles utilisant des paradigmes d'entraînements chez des dyslexiques. À cet égard, Franceschini et al. (2013) ont significativement amélioré les habiletés de lecture, en termes de précision et de vitesse en lecture de texte et de pseudo-mots, chez des jeunes dyslexiques italophones avec un entraînement de courte durée (12 heures) faisant appel à un JVA. À l'opposé, le groupe contrôle, qui jouait à un jeu vidéo sans action n'a manifesté aucune amélioration de ses habiletés de lecture. Récemment, en utilisant le même protocole d'entraînement que Franceschini et al. (2013), ces démonstrations ont été répliquées avec un échantillon d'enfants dyslexiques anglophones (Franceschini et al., 2017). Avec un entraînement reposant sur des exigences similaires à celles d'un JVA, la vitesse et la précision en lecture de texte ont également été améliorées chez des adultes dyslexiques italophones après 7,5 heures d'entraînement (Gori et al., 2015). Ces résultats indiquent que les bénéfices en lecture liés à la pratique de JVA se vérifient pour différentes langues et sont indépendants de l'âge des participants. Néanmoins, chez des jeunes polonais dyslexiques, un protocole d'entraînement

comme celui de Franceschini et al. (2013), les effets en lecture ne sont pas avérés plus élevés que chez un groupe contrôle (Łuniewska et al., 2018). Cette étude ne prenait toutefois pas en compte l'amélioration des performances à l'entraînement, et il a été démontré que les améliorations en lecture ne surviennent que chez ceux qui s'améliorent à l'entraînement proposé au fil des rencontres (Franceschini & Bertoni, in press). Finalement, chez des normo-lecteurs, il a été démontré que la mémoire de travail phonologique bénéficie d'un entraînement avec un JVA (Oei & Patterson, 2013).

Ainsi, il y a récemment eu une accumulation de données expérimentales et d'entraînement indiquant des bienfaits des JVA sur les habiletés de lecture. En réponse à l'étude de Franceschini et al. (2013), trois critiques importantes ont été soulevées (Bavelier, Green, & Seidenberg, 2013), dont deux qui n'ont pas encore été tout à fait adressées adéquatement à ce jour auxquelles nous tenterons de répondre dans la deuxième expérience. Une première critique est que l'étude originale impliquait seulement des italophones, ce qui a motivé la réplique réussie des résultats chez des anglophones (Franceschini et al., 2017). Une deuxième critique est qu'il est difficile d'attribuer à quoi sont dus les gains en lecture de pseudo-mots. Les stimuli étant visuels, la lecture de pseudo-mots implique autant des facteurs phonologiques que visuo-attentionnels. Nous utiliserons des tâches de conscience phonologique sans matériel visuel pour isoler davantage les habiletés phonologiques. Un troisième aspect soulevé concerne l'implication même des quatre exigences fonctionnelles des JVA dans les gains observés. Pour confirmer que les exigences fonctionnelles des JVA sont au cœur de cette amélioration, nous proposons donc d'utiliser un autre paradigme expérimental sollicitant ces mêmes exigences. Un paradigme d'entraînement de poursuite attentionnelle d'objets multiples sera utilisé pour répondre à ces importantes critiques.

1.3.3 Paradigme de poursuite d'objets multiples, gains cognitifs et possibles implications en lecture.

Le paradigme de poursuite d'objets multiples demande au participant de garder la trace d'un certain nombre d'objets se déplaçant de façon indépendante les uns des autres parmi des distracteurs (Pylyshyn & Storm, 1988). En tant que méthode d'entraînement, une application de ce paradigme est le *NeuroTracker*. L'intérêt d'utiliser le *NeuroTracker* repose sur le fait qu'on y retrouve les quatre exigences fonctionnelles des JVA (Green et al., 2010). Nous les rappelons brièvement : vitesse élevée des stimuli (et, dans le cas du *NeuroTracker*, celle-ci est adaptée sur une base individuelle, ce qui permet à tous les participants d'améliorer leur propre niveau de base), charge cognitive considérable, indépendance des stimuli dans le temps et l'espace et sollicitation des processus visuels périphériques (Faubert & Sidebottom, 2012). De plus, un avantage pratique que présente le *NeuroTracker* dans le cadre d'un entraînement court est que les effets bénéfiques de l'entraînement à des tâches de mémoire de travail et de vitesse de traitement de l'information sont supérieurs à ceux d'autres types d'entraînements, dont les JVA (Pakdaman Lahiji, 2016).

Une séance au *NeuroTracker* dure environ 8 minutes et des améliorations significatives des capacités attentionnelles ont été observées après 30 séances d'entraînement au *NeuroTracker* chez des universitaires (Parsons et al., 2014), et après 15 séances chez des enfants présentant un trouble neurodéveloppemental (Tullo, Guy, Faubert, & Bertone, 2018). Chez des personnes âgées, la perception du mouvement biologique est améliorée après 15 séances d'entraînement (Legault & Faubert, 2012). Le traitement de cette information visuelle semble être principalement associée à la voie visuelle dorsale (Grezes et al., 2001). Tout comme les JVA, les

bénéfices liés à la pratique du *NeuroTracker* semblent déborder le cadre de ses propres exigences fonctionnelles.

Enfin, certains indices suggèrent qu'un tel entraînement pourrait également être bénéfique pour les habiletés en lecture. Un court entraînement (10 séances) chez des militaires adultes a donné lieu à une amélioration des performances de mémoire de travail verbale (Vartanian, Coady, & Blackler, 2016). La mémoire de travail verbale est un facteur important dans les habiletés de lecture (Hansen & Bowey, 1994) et sa mesure est positivement corrélée avec celle de la conscience phonologique (Alloway et al., 2005).

En résumé, le *NeuroTracker* engage les quatre exigences fonctionnelles d'un JVA. Un autre point commun chez ces deux programmes est qu'il n'implique aucune intervention directe concernant la lecture, certaine de ces sous-composantes visuelles (des mots ou des lettres) ou langagières. Contrairement à des entraînements ciblant la conversion graphophonémique, où il est impossible de distinguer les effets bénéfiques de l'exposition au matériel visuel et celui langagier (Castles & Coltheart, 2004), les bénéfices associés aux entraînements proposés ne peuvent que découler de l'activité visuo-attentionnelle proposée et de ses propres exigences. En ce sens, ce type d'entraînement permet de mettre à l'épreuve la proposition de Vidyasagar (2012) à l'effet que les déficits phonologiques sont une conséquence secondaire du déficit attentionnel. L'entraînement proposé ciblerait ainsi ce déficit attentionnel et il pourrait révéler des gains non seulement en contexte de lecture de texte, mais également au niveau des habiletés phonologiques. De tels résultats révéleraient une contribution particulière des processus visuels et attentionnels à l'intérieur même d'opérations langagières. Pour répondre plus spécifiquement à ce point soulevé par Bavelier et al. (2013), l'utilisation de tâches de conscience phonologique à l'oral plutôt qu'une épreuve de lecture de pseudo-mots sera ici privilégiée.

1.3.4 Devis expérimental.

Pour ce deuxième projet expérimental, nous allons utiliser le *NeuroTracker* comme méthode d'entraînement afin d'examiner si une amélioration de la lecture et des opérations phonologiques pourrait être observée chez un échantillon d'adultes dyslexiques francophones. Deux groupes d'adultes universitaires dyslexiques ont été recrutés afin de contrebalancer l'ordre de deux types d'entraînements utilisés: un actif (avec le *NeuroTracker*) et un placebo (utilisant le jeu 2048). Ce protocole contrebalancé apparaît nécessaire dans un contexte où les mêmes épreuves sont utilisées à plusieurs reprises pour mesurer les effets des entraînements, ce qui nous permet de contrôler les effets indésirables de familiarité et de pratique associés. Les deux groupes sont appariés en termes d'âge, de QI, de dominance manuelle, de genre, de vitesse de lecture et de conscience phonologique.

1.4 Mesure de la vitesse de lecture chez un échantillon adulte franco-québécois

Le devis expérimental précédemment décrit apparaît donc nécessaire dans un contexte où peu d'outils sont disponibles pour mesurer les habiletés en lecture chez des adultes francophones du Québec. En effet, une recension récente des outils d'évaluation du langage pour la population franco-québécoise fait état de ressources limitées, particulièrement pour la clientèle adulte (Monetta et al., 2016). De plus, la majorité des outils disponibles ne répond pas aux standards psychométriques (Bouchard, Fitzpatrick, & Olds, 2009). Notamment, aucun outil construit pour évaluer les habiletés en lecture chez les adultes de cette population ne rapporte d'informations quant à la fidélité test-retest et aucun ne dispose d'une version parallèle. Dans le cadre de cette thèse, en plus d'adapter notre protocole d'entraînement afin de faire face à ce problème, une

dernière contribution est de développer un outil d'évaluation de la lecture permettant d'en faire la mesure à plusieurs reprises, sans se soucier d'un effet de pratique associé à l'utilisation du même matériel, pour d'éventuels projets.

Une difficulté particulière à l'adaptation en français d'épreuves développées dans d'autres langues est liée notamment à l'ensemble des variables lexicales qui doivent être contrôlées et qui sont difficilement transposables d'une langue à l'autre, ainsi qu'à la disparité de fréquence d'usage de mots correspondants d'une langue à l'autre ou même entre groupes distincts partageant la même langue (p. ex., francophones du Québec versus de France) (Monetta et al., 2016). Peu de tests d'évaluation de la lecture traduits en français pour la population québécoise ou franco-canadienne sont passés à travers ce processus rigoureux. Parmi eux, nous retenons le test d'évaluation de la vitesse de lecture MNRead, qui a été développé en anglais par Legge, Ross, Luebker, et Lamay (1989), pour ensuite être adapté pour une utilisation clinique par Mansfield, Ahn, Legge, et Luebker (1993). Celui-ci a été adapté et validé en français pour les élèves franco-québécois de troisième année du primaire (Senécal, 2001). L'épreuve du MNRead demande simplement au participant de lire des phrases courtes à voix haute. Un intérêt de cette tâche est que les phrases-test sont construites selon des critères quantitatifs très spécifiques (elles comptent toutes 60 caractères incluant le point final) et qu'elles présentent une grammaire et une syntaxe simples et accessibles. Les qualités psychométriques de l'adaptation française sont par ailleurs satisfaisantes (Senécal, 2001). Une application intéressante des phrases-test du MNRead est avec la méthode de présentation visuelle sérielle rapide (Kwon et al., 2007), bien connue sous son acronyme anglais RSVP (c.-à-d. « *Rapid Serial Visual Presentation* »).

1.4.1 MNRead et application en présentation sérielle visuelle rapide.

La technique RSVP a été utilisée abondamment pour l'étude de la cognition visuelle, notamment pour mesurer la vitesse de lecture (Fine & Peli, 1998; Harland, Legge, & Luebker, 1998). Il s'agit de présenter une séquence de mots constituant une phrase qui se succèdent un à la fois au centre de l'écran, avec une durée de présentation des mots variable à travers les phrases. Il s'agit d'une méthode de lecture qui devrait éventuellement être de plus en plus courante dans la vie quotidienne, notamment avec les petits appareils électroniques portatifs (p. ex., montre intelligente) et certaines applications mobiles ont déjà été développées pour permettre de lire différents textes de cette façon sur les téléphones cellulaires (Benedetto et al., 2015; Gannon, He, Gao, & Chaparro, 2016).

L'intérêt particulier de la procédure RSVP est qu'elle élimine la composante des mouvements oculaires de l'évaluation de la vitesse de lecture (Legge et al., 2001) et, évidemment, la vitesse de lecture obtenue de cette manière est généralement plus élevée qu'avec la lecture d'un texte continu (Gannon et al., 2016; Harland et al., 1998). Il demeure toutefois plusieurs points à éclaircir concernant cette méthode de lecture. Nous en spécifions deux ici. D'abord, cet outil de lecture devrait être sensible aux différences individuelles en vitesse de lecture. Toutefois, à notre connaissance, aucune démonstration entre normo-lecteurs et dyslexiques n'a été faite avec un outil de lecture en RSVP. Évidemment, il est permis d'avancer que les normo-lecteurs obtiendront une vitesse de lecture supérieure aux dyslexiques avec un tel type de tâche, notamment puisque la vitesse de lecture mesurée corrèle avec la taille de l'empan visuel (Legge et al., 2007). La taille de cet empan est inversement reliée à l'effet d'encombrement (He & Legge, 2017) et les dyslexiques sont plus sensibles à l'effet d'encombrement que les normo-lecteurs (Zorzi et al., 2012). Deuxièmement, l'estimation de la

vitesse de lecture peut toutefois s'avérer très variable entre les études en raison des différents protocoles utilisés (Primativo, Spinelli, Zoccolotti, De Luca, & Martelli, 2016). La similarité de cette estimation chez un même individu, avec différents échantillons de phrases construits sur la base des mêmes critères, demeure ainsi à démontrer.

L'adaptation française du MNRead existante souffre d'une faiblesse majeure en raison du faible nombre de phrases disponibles dans la liste, soit 38. À moins qu'une seule mesure de la vitesse de lecture soit utilisée ou alors que celle-ci soit mesurée à l'intérieur d'un protocole contrebalancé, ceci peut s'avérer problématique dans le cadre d'une évaluation répétée de la vitesse de lecture sans pour autant répéter l'utilisation des phrases servant à cette évaluation. Un objectif de ce dernier projet est de construire quatre nouvelles listes dont les phrases-tests respecteront les critères du MNRead. De plus, ces listes compteront davantage de phrases-tests que le MNRead. Le but est donc de créer quatre nouvelles listes de 75 phrases-test similaires dans la mesure de la vitesse de lecture obtenue chez un même individu.

1.4.2. Normalisation et validation de la mesure de vitesse de lecture en RSVP avec différentes listes de phrases-tests.

Il apparaît important de soumettre l'outil créé à un exercice de normalisation et de validation, afin d'observer dans quelle mesure celui-ci rencontre différents standards psychométriques. Le but de la normalisation est d'établir des normes de vitesse de lecture chez un échantillon de normo-lecteurs universitaires avec un protocole RSVP du MNRead en utilisant nos cinq listes de phrases, le MNRead et les quatre nouvelles. Nous pouvons évaluer la fidélité test-retest pour ces nouvelles listes de phrases et corriger un sous-ensemble des protocoles par deux juges indépendants pour obtenir un indice de fidélité inter-juges. Ensuite, nous validons ce nouveau test d'évaluation de la vitesse de lecture à travers une comparaison des performances

d'un groupe d'adultes dyslexiques à un groupe contrôle apparié (âge, QI) de normo-lecteurs. Il est attendu que les participants dyslexiques présentent des performances globalement inférieures à celles du groupe contrôle et que leur vitesse de lecture soit inférieure. Les vitesses de lecture mesurées vont être comparées avec un indice de vitesse de lecture de l'Alouette-R, en vue d'obtenir un indice de validité de construit. La capacité de l'outil à discriminer les participants dyslexiques des normo-lecteurs sert à établir sa validité discriminante sur la base des intervalles de confiance obtenus à partir du groupe normatif par la présentation des indices de sensibilité (c.-à-d. dans quelle proportion l'instrument arrive à identifier les dyslexiques à l'intérieur de notre échantillon) et de spécificité (c.-à-d. dans quelle proportion ceux qui sont catégorisés comme dyslexiques le sont réellement) de cet outil (Lalkhen & McCluskey, 2008).

1.5 Résumé du chapitre

La question du déploiement attentionnel ayant lieu pendant le processus de lecture est largement sous-spécifiée. Pourtant, celui-ci apparaît comme un processus de base à la reconnaissance de mots, et les traitements subséquents de plus haut niveau, tels qu'orthographique, phonologique et sémantique pourraient être influencés par la qualité de l'information extraite à cette étape. Si ce déploiement apparaît optimal chez les normo-lecteurs, celui-ci pourrait s'avérer moins efficace chez les dyslexiques, entraînant ainsi certaines de leurs difficultés observées en lecture. Les contributions les plus évidentes du lien important entre l'attention et les habiletés en lecture sont les études d'entraînements avec JVA chez les dyslexiques. Il demeure toutefois une certaine part d'incertitude, concernant notamment les potentiels bénéfiques associés à la conscience phonologique qui pourraient en découler. Par ailleurs, l'accessibilité à des outils de mesure de la vitesse de lecture chez les adultes franco-québécois est également très restreinte et les devis expérimentaux d'entraînement utilisés doivent

en tenir compte. La création d'un outil rencontrant différents standards psychométriques pour de futurs projets apparaît ainsi la bienvenue dans ce contexte.

La suite de cette thèse présentera sous forme d'article trois projets expérimentaux. Finalement, suivant la présentation de ces articles, nous poursuivrons ensuite avec un retour sur chacun des résultats principaux et nous discuterons de leurs principales implications théoriques dans la conclusion. Voici un bref rappel des objectifs de chacun de ces projets.

1.5.1. Objectif 1.

Le premier projet consiste à mesurer directement comment l'attention se distribue dans le temps et dans l'espace pendant la reconnaissance d'un mot familier afin d'évaluer si cette distribution retrouvée chez des dyslexiques est sous-optimale. La technique de sonde attentionnelle permet ici d'observer le déploiement spatio-temporel de l'attention pendant ce processus. Les divergences attentionnelles en contexte de reconnaissance de mots chez un groupe d'adultes dyslexiques ont été établies à partir d'un profil optimal obtenu chez un groupe apparié (âge, QI) de normo-lecteurs.

1.5.2. Objectif 2.

Le second projet vise à explorer les liens entre l'attention et la lecture dans un contexte plus large que la reconnaissance simple de mots, notamment en lecture de texte, mais aussi au niveau de la conscience phonologique chez les dyslexiques. L'application du logiciel d'entraînement visuo-attentionnel *NeuroTracker*, utilisant le paradigme de poursuite d'objets multiples, partage plusieurs exigences fonctionnelles avec les JVA, mais les bénéfices attentionnels et cognitifs semblent être obtenus plus rapidement. Chez deux groupes d'adultes francophones dyslexiques équivalents, les effets d'un entraînement actif et d'un entraînement

placebo sont contrebalancés afin d'en observer les effets sur les habiletés de lecture et de traitement phonologique.

1.5.3. Objectif 3.

Le troisième et dernier projet expérimental présente des normes de vitesse de lecture chez des normo-lecteurs adultes avec un protocole RSVP utilisant les phrases-tests du MNRead ainsi que quatre nouveaux ensembles de phrases-test extraits du quotidien La Presse. De plus, une validation de l'outil est faite par la comparaison des performances d'un groupe d'adultes dyslexiques à un groupe contrôle apparié (âge, QI) de normo-lecteurs. Nous évaluons dans quelle mesure cet outil rencontre différents standards psychométriques, notamment la fidélité test-retest et inter-juges et la validité de construit et discriminante.

Chapitre 2 – Article 1

The spatiotemporal dynamics of visual word recognition in developmental dyslexia

Simon Fortier-St-Pierre & Martin Arguin

Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Département de Psychologie, Université
de Montréal, Montréal, Québec, Canada

Funding. This research was supported by a grant to Martin Arguin and a graduate scholarship to
Simon Fortier-St-Pierre from the Fonds Québécois de Recherche en Nature et
Technologies (FQRNT).

Competing interests. The authors declare that no competing interest exists.

État du manuscrit. Manuscrit soumis pour publication au journal *Research in Developmental
Disabilities* (RIDD-D-20-00044).

Contributions.

Conception et programmation: Simon Fortier-St-Pierre, Martin Arguin

Cueillette et analyses des données : Simon Fortier-St-Pierre

Rédaction de la première version du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre

Révision du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre, Martin Arguin

2.1 Abstract

Humans tend to focus their attention on the most diagnostic locations within an object that must be recognized to facilitate performance. In word recognition, normal readers direct more attentional resources to the first letter, which offers the most valuable information. The attention probe technique was used to determine where attention is directed during four-letter word recognition in a contrasted profile of dyslexic adults relative to a matched control group. Error rates indicate less attentional resources are allocated to the first letter of a word than to those that follow in dyslexics. This perceptual bias could contribute to their reading difficulties.

Keywords: visual word recognition; dyslexia; attention; probe

2.2 Introduction

In the vast visual word recognition literature, attention is generally ignored by models of reading. Some authors have thus suggested that word recognition is a reflex (Perfetti & Zhang, 1995) or that it can be performed automatically (Brown, Gore, & Carr, 2002). When attention is taken into account in such models, it is primarily viewed as relevant to read pseudo-word but not so with familiar words (Perry, Ziegler, & Zorzi, 2007). However, empirical evidence from normal readers indicates that even though the impact of a precue directing attention to the beginning or end of a letter string is larger on pseudo-word reading, it also affects the recognition of words (Arguin & Bub, 1997; Auclair & Siéoff, 2002). In fact, the literature on normal readers indicates that multiple types of attention (spatial, central, and executive) are involved in familiar word reading (Besner et al., 2016). Sufficient attentional resources need to be deployed around the area occupied by a word in order for it to be recognized (Lien, Ruthruff, Kouchi, & Lachter, 2010; Risko, Stolz, & Besner, 2010) and a number of careful empirical investigations have led to the conclusion that the spatial deployment of attention is a basic process for normal visual word recognition (McCann, Folk, & Johnston, 1992; Robidoux & Besner, 2015). Ultimately, higher and complex word processing (orthographic, phonologic, and semantic) most likely also depend on this basic step (Waechter, Besner, & Stolz, 2011). However, the way that attention is deployed through space as well as through time during familiar word recognition remains largely unknown.

The absence of a length effect for three- to eight-letter words (New, Ferrand, Pallier, & Brysbaert, 2006; Weekes, 1997) is used in most reading model to support the notion that the extraction of visual information in familiar words is spatially parallel, i.e. occurs simultaneously and uniformly across the full spatial extent of the word (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, &

Ziegler, 2001; Perry et al., 2007; Seidenberg & McClelland, 1989). Considering that spatial attention normally contributes to reading performance, this would mean that the focus of attention needs to encompass the entire spatial extent of the word and that all the letters within this focus can be recognized in a single pass. However, the assumption that spatial attention is uniformly distributed across the length of the word in normal reading is inconsistent with the relevant empirical evidence. In particular, clear evidence exists that normal readers show a strong attentional bias towards the first letter in visual word recognition (Aschenbrenner, Balota, Weigand, Scaltritti, & Besner, 2017; Scaltritti & Balota, 2013; Scaltritti, Dufau, & Grainger, 2018). This attentional bias is well accounted for by computational analyses which show that the letter position with the most diagnostic information about the identity of a word is the first (Blais et al., 2009) or, stated differently, because lexical constraint is higher in the beginnings than in the ends of words (Farid & Grainger, 1996). This, in turn, can be largely explained from the fact that, at least in English or French, the first letter position is that the one that most frequently distinguishes a word from orthographically highly similar lexical alternatives.

Since spatial attention seems an important basic process in reading, one might expect that its dysfunction should lead to reading difficulties taking the form of developmental dyslexia (Vidyasagar & Pammer, 2010). Congruently, the spatial and temporal deployment of attention, have been identified as dysfunctional in dyslexia (Ruffino, Gori, Boccardi, Molteni, & Facoetti, 2014). Other results also suggest an attentional asymmetry in favor of the right visual field in dyslexics (Facoetti, Turatto, Lorusso, & Mascetti, 2001; Lorusso et al., 2004). Since these attentional problems have been demonstrated in the context of tasks that did not require word recognition and using stimuli with a spatial organization different from that in words, it remains difficult to determine whether (and if so, how) they may impact reading tasks.

Other tasks which have used stimuli made of horizontal sequences of multiple items, i.e. a word-like display, may better contribute to characterize the difference between normal readers and dyslexics regarding the deployment of attention during word recognition. With horizontal strings of random numbers or consonants, the threshold exposure duration needed to identify a single item cued by position immediately (i.e. 0 ms inter-stimulus interval) after stimulus offset is higher in adult dyslexics than normal readers, regardless of the target location within the string (Hawelka, Huber, & Wimmer, 2006). This impairment is significant with four and six-item strings whereas there is no difference between dyslexics and normal readers with two-item strings (Hawelka & Wimmer, 2005). These observations are congruent with the notion that dyslexics suffer from a deficit in an attentional mechanism involved in the visual processing of horizontal multi-element strings, of which words are part (Onochie-Quintanilla, Defior, & Simpson, 2017; Vidyasagar & Pammer, 2010). However, this notion is contradicted by yet another study which replicated the above deficits in dyslexics using horizontal strings of letters and digits but not when the stimulus sequence was made of written symbols (e.g. %, /, ?, @, etc.; Ziegler, Pech-Georgel, Dufau, & Grainger, 2010). A crucial issue that needs pointing out is that the stimuli used in the experiments cited above are always nonwords, even though they can be verbalized (i.e. letters or numbers). To this day, the deployment of visual attention in dyslexia in the specific context of familiar word recognition remains unknown and, given the above, this clearly needs to be elucidated. The study reported here uses an attentional probe task to investigate the distribution of attention through space and time in adult developmental dyslexics in contrast to normal readers when they attempt to recognize a visual word.

The attentional probe is a behavioral method that allows the investigation of the spatial distribution of attention during the processing of visual stimuli stimulus. In visual form

recognition, the method requires participants to respond rapidly to a probe, e. g., a dot, that may be displayed at various locations within a larger, global stimulus, e. g., a polygon (Cole, Gellatly, & Blurton, 2001). The findings showed that attentional deployment varies according to the shape of the global stimulus (e. g., a square or a triangle) and that the stimulus regions privileged are corners, as opposed to straight edges. This finding is interpreted as resulting from an adjustment of the distribution of attention aimed at capturing the most relevant information of the global stimulus for the purpose of its identification (Cole, Skarratt, & Gellatly, 2007). From the pattern of behavioral performances, then, the attentional probe task makes it possible to infer where attention is focused within a stimulus at a particular time.

The attentional probe technique was previously used to study visual word recognition, but only from a temporal point of view. With an auditory probe, reaction times to the sound decrease as stimulus onset asynchrony (SOA) increases (Herdman, 1992; Simpson, Kellas, & Ferraro, 1999), which is explained by a general alerting effect of the global stimulus (here, a word) on the upcoming probe (see Weinbach & Henik, 2012). Instead of an auditory probe, here we will assess the processing of a *visual* probe as a function of SOA in the context of a visual word recognition task. From the findings obtained with auditory probes, it is thus expected that error rates and response times will decrease with longer SOAs.

As noted above, the attentional probe task can thus be used to index attention in the spatial and/or temporal domains. Surprisingly, no attentional probe study has yet examined the spatial and temporal deployment of attention jointly, in the same experiment. In the present study, we adapt the probe task to enable an evaluation of the spatiotemporal deployment of attention in the context of visual word recognition. Participants were exposed to single words that they had to read aloud without time pressure. During word exposure, a small bar was

displayed over one letter at a particular SOA and participants had to indicate its orientation (vertical or horizontal) as rapidly as possible while avoiding errors. Probe performance served to index the attentional resources allocated at a particular letter location and SOA combination. Specifically, the amount of attentional resources allocated was assumed to be inversely proportional to correct response times and error rates.

On the spatial dimension, this method will not directly establish the attentional strategy of normal readers since the letter position effect should be affected not only by the serial order of the letter in the word, but also by retinal eccentricity, crowding, lateral masking, and possibly other factors. However, these factors will be applied in exactly the same way in dyslexics. With everything else being equal, this should imply that any divergence that dyslexics may present relative to normal readers should mean a divergence between their attentional strategies. Hence, we used performance in the control group as a baseline to identify possible anomalies in the spatiotemporal distribution of attention in dyslexics. Specifically, the crucial aspect of the findings reported below will be the characterization of distribution of attention in dyslexics in terms of Z-scores using the corresponding mean and standard deviations of the normal controls as reference. It should be noted however, that this way of proceeding is not entirely perfect since it is known that dyslexics are more susceptible to the negative impact of crowding than normal readers (Zorzi et al., 2012). The visual span of normal readers is estimated at ten characters (Legge, Mansfield, & Chung, 2001). This span represents the amount of visual information that can be processed without crowding (Pelli & Tillman, 2008). Using short words in this experiment (four-letter words) should control this greater sensitivity in dyslexia. The findings reported below will be considered in light of this fact in the discussion section.

2.3 Method

2.3.1 Participants.

Thirty-two participants took part in the experiment. All participants were aged between 18 and 35 years old. Their mother tongue was French and their visual acuity was normal or corrected. They were all university students. Of these, 16 had previously been diagnosed with developmental dyslexia by a trained professional. The other 16 participants do not report any particular reading difficulty. Participants consented freely to participate and received a financial compensation of \$25 for a 90-minute participation. The project received proper ethics approval prior to conducting the experiment.

2.3.2 Materials and stimuli.

2.3.2.1 Sociodemographic information and intellectual functioning (IQ). Age, gender, manual dominance and IQ measures were collected. IQ was measured with a French translation of the Weschler Abbreviated Scale of Intelligence Second Edition (WASI-2), a rapid cognitive assessment tool based on two subtests of the Weschler Intelligence Scale: Vocabulary and Matrices. The WASI-2 was administered under standard conditions.

2.3.2.2 Computer tasks. Two tasks were administered on computer, one assessing reading speed while the other was the attentional probe experiment. These were conducted using an HP Compaq 6000 pro computer. The programs were written in MatLab and used functions from the Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997). Stimuli were displayed on an HP p1230 (1280 x 1024 pixels) monitor with a 120 Hz refresh rate. They appeared in black over a white background. The distance between the participant and the screen was maintained constant at 57 cm using a chinrest.

2.3.2.2.1 Reading speed. The Minnesota Low-Vision Reading Test (MNRead) was developed and published in English by Legge, Ross, Luebker, and Lamay (1989). Subsequently, a French adaptation was developed by Sénécal (2001), which is what was used here. This test measures reading speed from the performance of individuals in a sentence reading task. The 38 meaningful sentences constituting the test are all composed of 60 characters (including spaces and the end point) and between nine and thirteen words. These were displayed in black over a white background using the rapid serial visual presentation (RSVP) of individual words, which is the procedure recommended to exclude the eye movement component in the estimation of reading speed (Chung, Mansfield, & Legge, 1998). Reading speed is estimated from a linear regression of accuracy as a function of word exposure duration and its value is based on the display duration allowing the recognition of an average of 80 % of the words in a sentence (Legge et al., 2001).

The words were displayed one at the time in the center of the screen with an exposure duration that was the same for all words in a sentence. Five exposure durations were used: 50, 58.33, 75, 100 and 133.33 ms, and these were distributed randomly across trials. For each participant, seven of the test sentences were randomly assigned to each of the five presentation durations, for a total of 35 trials. The three residual sentences of the French version of the MNRead were not used. The words were in lowercase letters in Courier font. A word of average size ($\bar{x} = 4.55$ letters/words), sustained a visual angle of 0.76° vertically x 1.76° horizontally. A tape recorder was used to record their responses, which served for scoring afterwards.

The following sequence of events occurred on each trial: a fixation cross appeared in the center of the screen for 500 ms, then, after a blank screen of 250 ms, the words making up the sentence were displayed one after the other with no delay between them for the duration assigned

to this sentence. On each trial, participants had to read aloud the sentence presented. Participants could begin to read immediately when the first word appeared. They were instructed to report as many words as possible from the sentence presented. When the participant was done reading the sentence, the experimenter pressed the space bar on the computer keyboard to launch the next trial. The dependent variable was the percentage of words read correctly by the participant.

2.3.2.2.2 Attentional probe. Stimuli were 288 four-letter words printed black over a white background in bold lowercase Courier 40 point. With these settings, the letter “x” subtended a horizontal x vertical visual angle of $0.84^\circ \times 0.82^\circ$. The word list was constructed using BRULEX (Content, Mousty, & Radeau, 1990), a French lexical frequency database. No word in the list contained diacritic marks (i.e. accented letters; e.g. é, ô, etc.). Every word had a frequency sufficient for it to be familiar to an adult reader (average in \log_{10} frequency/100 million = 3.24, $\sigma = 0.87$). The words used had a mean of 3.1 orthographic neighbors ($\sigma = 0.87$); i.e. a word of the same length as the target that differs from it by only one letter (Coltheart, Davelaar, Jonasson, & Besner, 1977). The number of neighbors varied significantly according to the letter position by which they differed from the target ($\chi^2(3) = 255.62$; $p < 0.0001$). There were more neighbors differing from the target on the first letter (a total of 420 neighbors) than on letter positions 2, 3, or 4 (100, 190 and 180 neighbors, respectively). On every trial the target word was presented in a continuous sequence of 24 screen frames (8.33 ms/frame) for a total duration of 200 ms. The attentional probe was a horizontal or vertical line subtending $0.80^\circ \times 0.18^\circ$ centered on one of the four letters and which lasted for 6 screen frames (50 ms). The probe was gray and its intensity was halfway between the word and background intensities. The onset of a probe could be synchronized with word onset (0 ms) or it could be delayed by 50, 100, or 150 ms after the initial word frame. The lower the error rates (ER) and response times (RT) at a

particular location and time, the greater the amount of allocated attention more it was assumed that attentional resources were allocated.

Prior to the attentional probe task, participants were given 32 practice trials to familiarize themselves with the procedure. The target words used in this phase were different from those in the experimental list. Two experimental blocks of 288 trials each were then completed. Each word of the experimental list appeared once in each block.

A trial in this experiment consisted in the following sequence of event. A fixation cross centered at the middle of the screen was presented for 500 ms. This was followed by a 250 ms blank screen and then by the target word, which lasted 200 ms. During word exposure, a probe was displayed for 50 ms centered on one of the four letters. Participants had to indicate whether the probe was horizontal or vertical as rapidly as possible while avoiding errors by pressing the ‘m’ or ‘z’ key on the computer keyboard. For half the participants ‘m’ served to indicate horizontal and ‘z’ to indicate vertical. These assignments were reversed for the other half. After the offset of the word, the screen remained blank until participants responded to the probe. This response was accompanied by a feedback tone after which participants were asked to name the word without time pressure. The experimenter, who was seated behind the participant, typed in the latter response on a second keyboard and then pressed “ENTER” to initiate the next trial. The experiment comprised sixteen conditions determined jointly by the probe location (four letter locations) and its onset time (SOA of 0, 50, 100, or 150 ms). There were 18 trials per condition in each block which were distributed in a random order.

The order in which the different tests were administered was the same for all participants: sociodemographic information, WASI-2, reading speed, and attentional probe.

2.4 Results

2.4.1 Sociodemographic information and intellectual functioning (IQ).

As shown in Table I, the groups were matched on age, IQ, gender, and manual dominance.

=====
Insert Table I near here
=====

2.4.2 Reading speed.

For the reading speed task, a mixed ANOVA was conducted with the five presentation durations as repeated measures and groups as between-subject variable. Group means are illustrated in *Figure 1*. The main effect of presentation duration was significant, ($F(4, 120) = 4.65, p = 0.002$). For each group, linear regressions of the mean of correct responses as a function of presentation duration showed that this effect was linear in the control group ($r^2 = 0.91$) as well as in the dyslexic group ($r^2 = 0.98$).

The group main effect was also significant ($F(1, 30) = 30.84, p < 0.001$), with normal readers showing greater overall accuracy than the dyslexic participants. It was not possible to establish reading speeds on an individual basis because, for some dyslexic participants, the 80 % success threshold, as determined by linear regression, was greater than the longest exposure duration used. Moreover, the threshold for some participants in the normal control group was below the shortest exposure duration in the task. Based on group means, the reading speed was of 686.30 words/minute for the control group and 474.84 words/minute for the dyslexics.

Congruently, even though performance in the attentional probe task was almost errorless and the magnitude of the group difference was small, accuracy was significantly greater in the

control than in the dyslexic group (control group, $\bar{x} = 99.79\%$, $\sigma = 0.18$; dyslexic group, $\bar{x} = 99.26\%$, $\sigma = 0.74$; $t(30) = 2.80$, $p < 0.01$).

Insert *Figure 1* near here

2.4.3 Attentional probe.

Trials for which the word was read incorrectly by the participant as well as those for which the RT was more than 2.5 SD away from the condition mean for that participant (5.2 % of trials overall) were excluded from data analysis for the attentional probe task. The dependent variables that were analyzed are ER and RTs on correct responses. Initial analyses were performed using ANOVAs and LSD *post-hoc* comparisons were used to decompose significant main effects and interactions.

As shown in Table II, overall performance as measured by either correct RTs or ERs did not differ across groups. The correlation between mean ERS and RTs was not significant, $r(32) = -0.27$, $p > 0.05$, indicating no speed-accuracy trade-off.

Insert Table II near here

2.4.3.1 Control group. Table III reports the mean results for the control group. The following statistical tests were performed for a descriptive purpose only. A repeated measures ANOVA conducted on ERs as a function of letter position and probe SOA demonstrated main effects of letter position ($F(3, 45) = 16.46$, $p < 0.001$) and SOA ($F(3, 45) = 8.82$, $p < 0.001$), but no significant interaction ($F(9, 135) < 1$). The significant effect of letter position was mainly

based on a much higher error rate for letter 4 than for any of the previous three ($p_s < 0.001$). We also note that the error rate for letter 1 was significantly lower than for letter 3 ($p < 0.05$). The significant effect of SOA was based on a reduction in ERs with an increase in SOA. Pairwise comparisons showed that ERs were higher at an SOA of 0 ms than at 100 ms ($p < 0.05$) or 150 ms ($p < 0.01$).

For RTs, the ANOVA demonstrated significant main effects of letter position ($F(3, 45) = 22.89, p < 0.001$) and SOA ($F(3, 45) = 96.74, p < 0.001$), but no significant interaction ($F(9, 135) < 1$). With regard to the position effect, RTs were the lowest and did not differ between positions 1, 2 and 3 ($p_s > 0.05$) while those at position 4 were the longest ($p_s < 0.001$). As for the SOA effect, post-hoc comparisons showed that RTs were significantly higher at 0 ms than at the other SOAs ($p_s < 0.001$). Moreover, RTs were higher at the 50 ms SOA than at 100 or 150 ms ($p_s = 0.001$), which did not differ from each other ($p > 0.05$).

=====
Insert Table III near here
=====

2.4.3.2 Dyslexic group. Table IV reports the mean raw data for the dyslexics group. For their proper characterization in relation to the normal control performance, individual mean ERs and RTs for the dyslexic participants were transformed into Z-scores by reference to the control group means and standard deviations per condition. A high Z-score means a particularly large ER or RT and thus indicates less attentional resources.

=====
Insert Table IV near here
=====

The the Z transformed ERs are shown in *Figure 2*. The ANOVA applied on these data indicates a main effect of letter position ($F(3, 45) = 3.84, p < 0.05$), as well as a significant interaction between letter position and SOA ($F(9, 135) = 2.61, p < 0.01$). The main effect of SOA is not significant ($F(3, 45) < 1$). The main position effect indicates a decrease of Z-error rates from the first to the last letter position. Thus, Z-error rates are higher at letter position 1 than at position 3 ($p < 0.05$) or 4 ($p < 0.01$). Individual results indicate that 14/16 of dyslexic participants (i.e. 88 %) show a pattern of performance congruent with this group effect (i.e. higher Z-score on letter position 1 than 3 or 4). Analysis of the simple effects of the interaction demonstrates a significant position effect at the 0 ms SOA ($F(3, 13) = 3.98, p < 0.05$), and a marginal effect at 100 ms ($F(3, 13) = 2.82, p = 0.08$). At the 0 ms SOA, Z-error rates are higher for letter position 1 than for positions 2 ($p < 0.05$) or 3 ($p < 0.05$) whereas position 4 does not differ from others ($p_s > 0.05$). Individual results indicate that 14/16 of dyslexic participants (i.e. 88 %) show a pattern of performance congruent with this group effect (i.e. higher Z-score on letter position 1 than 2 or 3). At 100 ms, Z-scores are significantly higher for letter positions 1 ($p < 0.05$) and 3 ($p < 0.05$) than for position 4. Individual results indicate that 15/16 of dyslexic participants (i.e. 94 %) show a pattern of performance congruent with this group effect (i.e. higher Z-score on letter position 1 or 3 than 4).

=====
Insert *Figure 2* near here
=====

The ANOVA applied to Z transformed RTs indicates no significant effect (all $F_s(3, 45) < 1$ or, $F(9, 135) = 1.05$).

2.5 Discussion

The attentional probe technique made it possible to explore the spatiotemporal deployment of attention in developmental dyslexics in the context of a word recognition task. Participants from the dyslexic group did not differ from the normal controls with respect to age, IQ, handedness or sex. An assessment of reading speed demonstrated the lower efficiency of the dyslexic participants in the decoding of written material in comparison to normal controls. In the attentional probe task, the probe display varied according to space (letter position) and time (onset asynchrony between the word and the probe) to characterize the spatiotemporal allocation of attention within a four-letter word. The discrimination performance of the orientation of the probe served as an index of the deployment of attention on the word.

In the control group, better probe discrimination performance at a particular time and location must be affected by the amount of attentional resources. However, other factors are likely to also have an impact on performance (e.g. retinal eccentricity, etc.) such that a detailed interpretation of their results is difficult. Nevertheless, it is rather clear that their results are consistent with an attentional bias towards the beginning of the word, as suggested by other studies (Aschenbrenner et al., 2017; Blais et al., 2009; Scaltritti & Balota, 2013). Considering that almost half of the orthographic neighbors of four-letter words (see Methods) differ by their first letter, this attentional bias should be considered highly functional since it contributes to discriminate between the target and its orthographic neighbors. In addition, the present results also show that error rates and response times to the probe decreased with increasing SOA, which is consistent with an alerting effect (see Weinbach & Henik, 2012) and is congruent with previous observations using auditory probes during a visual word recognition task (Simpson et al., 1999).

The analysis of the attentional deployment in the dyslexic group was made by reference to the data obtained in the control group by transforming the accuracy and response time data of the former into *Z*-scores using reference means and standard deviations from the latter. An advantage of this approach is that it offers an excellent control of non-attentional factors in the assessment of the spatial temporal distribution of attention in dyslexics (such as retinal eccentricity, crowding, or alerting, that can have a major impact on probe performance). As described above, this analysis demonstrates that dyslexic participants exhibit a significant attentional bias towards the last letters of the word compared to normal readers at SOAs of 0 and 100 ms. Although the effect is not significant, a similar profile is observed at the 150 ms SOA.

As noted in the Introduction, while every possible non-attentional factor pertaining to the stimuli is controlled in the comparison of performances between dyslexics and normal readers, these two groups appear to differ in terms of their susceptibility to crowding (Zorzi et al., 2012). It appears however, that a group difference in the sensitivity to crowding failed to affect the present results. Indeed, had this been the case, the *Z*-scores of dyslexics (whether they concern correct response times or error rates) should tend to be lower for letters in extreme positions (i.e. letter positions 1 and 4) than for middle letters (i.e. letter positions 2 and 3) since the latter suffer from more crowding, being surrounded by other letters on either side. The present do not support such a prediction. Thus, with respect to *Z*-RTs, no significant effect of letter position was observed whereas the letter-position effect observed on *Z*-error rates is inconsistent with the notion of a greater crowding effect in dyslexics.

The results of the present study are congruent with the right visual field advantage that has previously been observed in dyslexia (Facoetti et al., 2001). This rightward bias in the spatial distribution of attention is suboptimal considering the high diagnostic value of the first letter for

word recognition, regardless of word length (Blais et al., 2009), and the large proportion of orthographic neighbours that differ by their first letter. It is, in fact, this superior diagnostic value of the first letter which would determine the leftward bias that is observed in normal readers (Aschenbrenner et al., 2017; Scaltritti & Balota, 2013) given the performance advantage it confers.

The present results support the hypothesis of an abnormal deployment of attention in visual word recognition in dyslexia (Vidyasagar & Pammer, 2010). Spatial attention impacts early visual processing, meaning that the extraction of high-level lexical information (orthographic, phonologic, semantic) must be largely dependent upon its effectiveness (Waechter et al., 2011). This complements the observations obtained by other researchers using non-word horizontal stimulus sequences (e. g. Hawelka et al., 2006: letters or numbers) adding a direct observation using words. With respect to the rightward attentional bias demonstrated in the present study, we argue that it contributes significantly to the reading difficulties of developmental dyslexics because of its dysfunctional relation to the spatial distribution of information within words.

2.6 References

- Arguin, M., & Bub, D. (1997). Lexical constraints on reading accuracy in neglect dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, *14*, 765-800. doi:10.1080/026432997381448
- Aschenbrenner, A. J., Balota, D. A., Weigand, A. J., Scaltritti, M., & Besner, D. (2017). The first letter position effect in visual word recognition: The role of spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*, 700-718. doi:10.1037/xhp0000342
- Auclair, L., & Siéoff, E. (2002). Attentional cueing effect in the identification of words and pseudowords of different length. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *55*, 445-463. doi:10.1080/02724980143000415

- Besner, D., Risko, E. F., Stolz, J. A., White, D., Reynolds, M., O'Malley, S., & Robidoux, S. (2016). Varieties of attention: Their roles in visual word identification. *Current Directions in Psychological Science*, *25*, 162-168. doi:10.1177/0963721416639351
- Blais, C., Fiset, D., Arguin, M., Jolicoeur, P., Bub, D., & Gosselin, F. (2009). Reading between eye saccades. *PLoS One*, *4*, e6448. doi:10.1371/journal.pone.0006448
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, *10*, 433-436. doi:10.1163/156856897X00357
- Brown, T. L., Gore, C. L., & Carr, T. H. (2002). Visual attention and word recognition in Stroop color naming: Is word recognition "automatic?". *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*, 220-240. doi:10.1037/0096-3445.131.2.220
- Chung, S. T., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (1998). Psychophysics of reading: XVIII. The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision. *Vision Research*, *38*, 2949-2962. doi:10.1016/S0042-6989(98)00072-8
- Cole, G. G., Gellatly, A., & Blurton, A. (2001). Effect of object onset on the distribution of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 1356-1368. doi:10.1037//0096-1523.27.6.1356
- Cole, G. G., Skarratt, P. A., & Gellatly, A. R. H. (2007). Object and spatial representations in the corner enhancement effect. *Perception & Psychophysics*, *69*, 400-412. doi:10.3758/BF03193761
- Coltheart, M., Davelaar, E., Jonasson, J., & Besner, D. (1977). Access to the internal lexicon. In S. Dornic (Ed.), *Attention and Performance IV* (pp. 535-555). London: Academic Press.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*, 204-256. doi:10.1037//0033-295X.108.1.204
- Content, A., Mousty, P., & Radeau, M. (1990). Brulex. Une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé. *L'Année Psychologique*, *90*, 551-566. doi:10.3406/psy.1990.29428
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L., & Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research*, *138*, 46-53. doi:10.1007/s002210100700

- Farid, M., & Grainger, J. (1996). How initial fixation position influences visual word recognition: A comparison of French and Arabic. *Brain and Language, 53*, 351-368. doi:10.1006/brln.1996.0053
- Hawelka, S., Huber, C., & Wimmer, H. (2006). Impaired visual processing of letter and digit strings in adult dyslexic readers. *Vision Research, 46*, 718-723. doi:10.1016/j.visres.2005.09.017
- Hawelka, S., & Wimmer, H. (2005). Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research, 45*, 855-863. doi:10.1016/j.visres.2004.10.007
- Herdman, C. M. (1992). Attentional resource demands of visual word recognition in naming and lexical decisions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 460-470. doi:10.1037/0096-1523.18.2.460
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. (2001). Psychophysics of reading: XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research, 41*, 725-743. doi:10.1016/S0042-6989(00)00295-9
- Legge, G. E., Ross, J. A., Luebker, A., & Lamay, J. M. (1989). Psychophysics of reading: VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optometry & Vision Science, 66*, 843-853. doi:10.1097/00006324-198912000-00008
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., Kouchi, S., & Lachter, J. (2010). Even frequent and expected words are not identified without spatial attention. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*, 973-988. doi:10.3758/APP.72.4.973
- Lorusso, M., Facoetti, A., Pesenti, S., Cattaneo, C., Molteni, M., & Geiger, G. (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research, 44*, 2413-2424. doi:10.1016/j.visres.2004.05.001
- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 1015-1029. doi:10.1037/0096-1523.18.4.1015
- New, B., Ferrand, L., Pallier, C., & Brysbaert, M. (2006). Reexamining the word length effect in visual word recognition: New evidence from the English Lexicon Project. *Psychonomic Bulletin & Review, 13*, 45-52. doi:10.3758/BF03193811

- Onochie-Quintanilla, E., Defior, S., & Simpson, I. C. (2017). Visual multi-element processing as a pre-reading predictor of decoding skill. *Journal of Memory and Language, 94*, 134-148. doi:10.1016/j.jml.2016.11.003
- Pelli, D. G., & Tillman, K. A. (2008). The uncrowded window of object recognition. *Nature Neuroscience, 11*, 1129-1135. doi:10.1038/nn.2187
- Perfetti, C. A., & Zhang, S. (1995). The universal word identification reflex. In D. L. Medin (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 33, pp. 159-189). San Diego, CA, US: Academic Press.
- Perry, C., Ziegler, J. C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review, 114*, 273-315. doi:10.1037/0033-295X.114.2.273
- Risko, E. F., Stolz, J. A., & Besner, D. (2010). Spatial attention modulates feature crosstalk in visual word processing. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*, 989-998. doi:10.3758/APP.72.4.989
- Robidoux, S., & Besner, D. (2015). Conflict resolved: On the role of spatial attention in reading and color naming tasks. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*, 1709-1716. doi:10.3758/s13423-015-0830-7
- Ruffino, M., Gori, S., Boccardi, D., Molteni, M., & Facoetti, A. (2014). Spatial and temporal attention in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 1-13. doi:10.3389/fnhum.2014.00331
- Scaltritti, M., & Balota, D. A. (2013). Are all letters really processed equally and in parallel? Further evidence of a robust first letter advantage. *Acta Psychologica, 144*, 397-410. doi:10.1016/j.actpsy.2013.07.018
- Scaltritti, M., Dufau, S., & Grainger, J. (2018). Stimulus orientation and the first-letter advantage. *Acta Psychologica, 183*, 37-42. doi:10.1016/j.actpsy.2017.12.009
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review, 96*, 523-568. doi:10.1037/0033-295X.96.4.523
- Senécal, M.-J. (2001). *Version française du Minnesota Low Vision Reading Test*. (Maîtrise), Université de Montréal, Faculté des études supérieures.

- Simpson, G. B., Kellas, G., & Ferraro, F. R. (1999). Age and the allocation of attention across the time course of word recognition. *The Journal of General Psychology, 126*, 119-133. doi:10.1080/00221309909595356
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences, 14*, 57-63. doi:10.1016/j.tics.2009.12.003
- Waechter, S., Besner, D., & Stolz, J. A. (2011). Basic processes in reading: Spatial attention as a necessary preliminary to orthographic and semantic processing. *Visual Cognition, 19*, 171-202. doi:10.1080/13506285.2010.517228
- Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A, 50*, 439-456. doi:10.1080/713755710
- Weinbach, N., & Henik, A. (2012). Temporal orienting and alerting—the same or different? *Frontiers in Psychology, 3*, 236-238. doi:10.3389/fpsyg.2012.00236
- Ziegler, J. C., Pech-Georgel, C., Dufau, S., & Grainger, J. (2010). Rapid processing of letters, digits and symbols: what purely visual-attentional deficit in developmental dyslexia? *Developmental Science, 13*, F8-F14. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.00983.x
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., . . . Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*, 11455-11459.

TABLES

Table I. Group means for age, IQ, gender, and manual dominance. For age and IQ, groups were compared using a t-test whereas a chi-square test was used for gender and manual dominance.

		Control (n = 16)	Dyslexic (n = 16)	$t(30); p$
Years	Mean	22.94	22.31	0.77; <i>ns</i>
	SD	2.52	2.06	
IQ	Mean	113.63	111.44	0.77; <i>ns</i>
	SD	8.76	7.27	
				$\chi^2(1); p$
Gender	Male	7	6	0.18; <i>ns</i>
Manual dominance	Right	12	13	0.13; <i>ns</i>

Table II. Group means for ERs and RTs on the attentional probe task. Groups were compared using t-tests.

		Control (n = 16)	Dyslexic (n = 16)	<i>t</i> (30); <i>p</i>
Error rate	Mean	9.99 %	12.86 %	1.26; <i>ns</i>
	SD	4.31	7.83	
Response time	Mean	742.87 ms	725.07 ms	0.53; <i>ns</i>
	SD	91.94	104.43	

Table III. Mean ERs (%) and RTs (ms) for each condition of the attentional probe task in the control group. Standard deviations are indicated in parentheses.

SOA	Letter position				Mean
	1	2	3	4	
0 ms	8.9 % (6.8) 835.8 ms (124.3)	12.3 % (9.0) 808.9 ms (111.9)	12.4 % (5.4) 836.4 ms (101.6)	15.9 % (6.8) 889.3 ms (101.6)	12.4 % (7.4) 842.6 ms (110.6)
50 ms	8.0 % (7.8) 729.2 ms (100.5)	8.6 % (5.2) 730.2 ms (96.1)	9.4 % (6.6) 719.9 ms (101.0)	15.7 % (6.5) 770.4 ms (98.2)	10.4 % (7.1) 737.4 ms (97.8)
100 ms	7.7 % (5.1) 697.1 ms (103.5)	7.9 % (8.9) 686.0 ms (94.2)	6.4 % (6.5) 690.1 ms (108.4)	15.3 % (7.7) 717.9 ms (104.8)	9.3 % (7.8) 697.8 ms (100.3)
150 ms	5.6 % (5.5) 694.8 ms (85.6)	5.6 % (7.7) 681.2 ms (100.5)	8.7 % (7.3) 666.7 ms (100.4)	11.5 % (7.7) 732.0 ms (120.0)	7.9 % (7.3) 693.7 ms (102.0)
Mean	7.6 % (6.3) 739.2 ms (116.2)	8.6 % (8.0) 726.6 ms (110.3)	9.2 % (6.6) 728.3 ms (119.1)	14.6 % (7.2) 777.4 ms (123.2)	

Table IV. Mean ERs (%) and RTs (ms) for each condition of the attentional probe task in the dyslexic group. Standard deviations are indicated in parentheses.

SOA	Letter position				Mean
	1	2	3	4	
0 ms	15.1 % (10.2) 819.4 ms (144.3)	12.7 % (8.9) 790.3 ms (115.5)	13.7 % (10.1) 805.7 ms (102.6)	21.9 % (11.4) 863.9 ms (138.4)	15.6 % (10.4) 819.8 ms (126.4)
50 ms	11.4 % (9.0) 708.8 ms (105.1)	12.7 % (9.7) 710.9 ms (127.3)	12.2 % (9.0) 697.3 ms (102.5)	16.5 % (10.5) 744.7 ms (134.8)	13.2 % (9.5) 715.4 ms (116.8)
100 ms	12.3 % (9.6) 697.7 ms (103.5)	10.8 % (9.0) 674.8 ms (101.4)	10.3 % (7.5) 686.7 ms (97.2)	13.6 % (11.4) 715.8 ms (107.0)	11.7 % (9.3) 689.2 ms (101.1)
150 ms	11.7 % (11.9) 668.2 ms (91.2)	8.3 % (8.4) 671.8 ms (106.1)	10.2 % (7.8) 665.3 ms (106.3)	13.2 % (9.3) 697.0 ms (128.5)	10.9 % (9.4) 675.8 ms (107.0)
Mean	12.6 % (10.1) 719.0 ms (125.5)	11.1 % (9.0) 711.9 ms (120.3)	11.6 % (8.6) 713.7 ms (113.8)	16.1 % (10.9) 755.5 ms (140.7)	

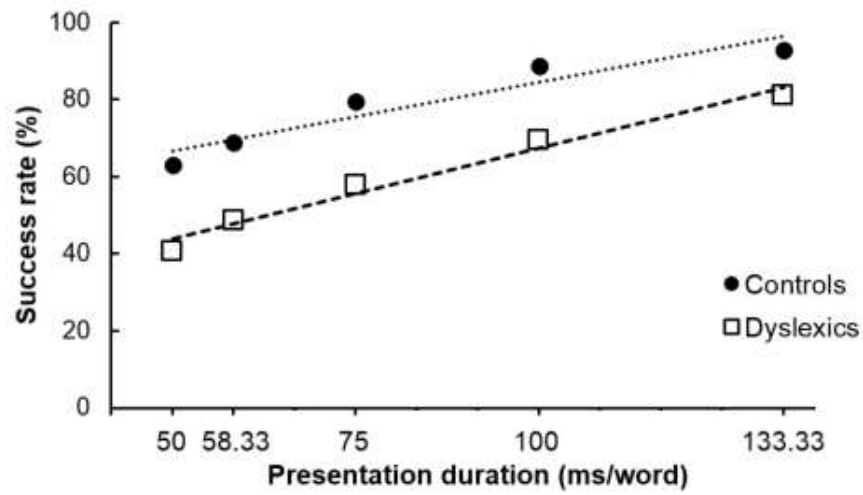


Figure 1. Mean success rate in both groups as a function of presentation duration the reading-speed task. The dotted lines illustrate the outcome of the linear regression analyses.

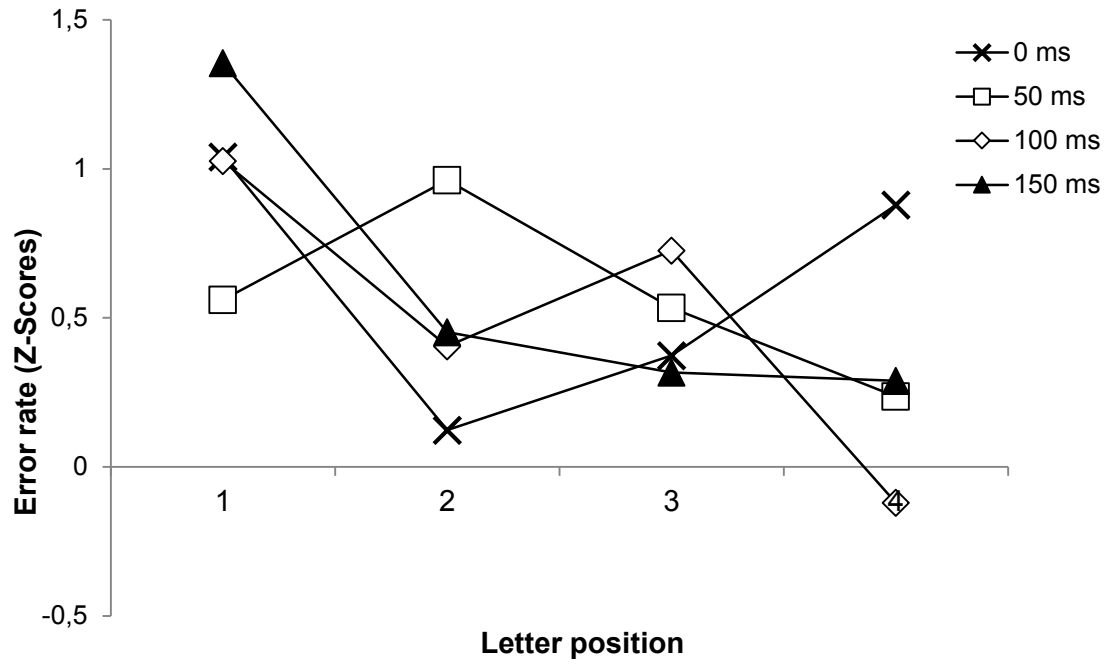


Figure 2. Z-score error rates in the dyslexic group to detect the orientation of the probe as a function of letter position for each SOA. Error bars indicate standard errors.

Chapitre 3 – Article 2

Attentional training improves phonological and reading performance in adults with
developmental dyslexia

Simon Fortier-St-Pierre¹, Jocelyn Faubert² & Martin Arguin¹

¹Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Département de psychologie,
Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

²École d'optométrie, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

Funding. The present study was supported by a grant from the Fonds de recherche du Québec – Nature et Technologies (FRQNT) attributed to Martin Arguin (MA) and Jocelyn Faubert (JF) and by a FRQNT scholarship to Simon Fortier-St-Pierre (SFSTP).

Competing interests. JF is director of the Faubert Laboratory at the University of Montreal and he is the Chief Science Officer of CogniSens Athletics Inc. who produces the commercial version of the *NeuroTracker* used in this study. In this capacity, he holds shares in the company. MA and SFSTP declare that no competing interest exists.

État du manuscrit. Manuscrit soumis pour publication au *Journal of Research in Reading* (JRIR-2020-02-0013)

Contributions.

Conception et programmation: Simon Fortier-St-Pierre, Jocelyn Faubert, Martin Arguin

Cueillette et analyses des données : Simon Fortier-St-Pierre

Rédaction de la première version du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre

Révision du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre, Jocelyn Faubert, Martin Arguin

3.1 Abstract

Recent studies show that training with action video games improves text and pseudoword reading skills in people with dyslexia. Such training also seems to improve phonological working memory. An important aspect that remains to be established is whether the speed and accuracy of certain phonological manipulations benefit from such training. It also remains to be determined whether shorter training with functional requirements similar to those of action video games allows for a similar improvement in those reading skills. We balanced the effects of a short attentional training (*NeuroTracker*) and placebo training in two groups of French-speaking dyslexic adults to observe their effects on reading and phonological processing skills. A practice effect on the performance assessment was observed in both groups after the initial training. After the second training, gains in reading speed and phonological processing only appeared in participants who had undergone attentional training.

Keywords: dyslexia; attention; training; reading speed; phonological awareness

3.2 Introduction

Developmental dyslexia is a specific learning disability occurring in 6-8% of French speakers (Barrouillet et al., 2007). The behavioral consequences of dyslexia particularly concern reading speed and accuracy (American Psychiatric Association, 2013). However, deficits in phonemic manipulation (i.e. phonological awareness) are often associated with the disorder (Pennington, Orden, Smith, Green, & Haith, 1990). Dyslexia has a negative impact on academic success and the appreciation of reading as an activity (Baker & Wigfield, 1999). It is estimated that each year, a child with average reading skills (50th percentile) will read 75 times more written material than one who is dyslexic (2nd percentile) (Anderson, Wilson, & Fielding, 1988). Considering that vocabulary develops greatly through reading (Jenkins, Stein, & Wysocki, 1984), the long-term consequences of limited exposure to written material can be significant (Stanovich, 2009). For these reasons, dyslexia currently is the most studied neurodevelopmental disorder (Peterson & Pennington, 2012).

Despite the vast number of studies from several disciplines, the cause of dyslexia remains undetermined (Bishop, 2015). It is often thought that it follows from a phonological deficit disorder (Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004) but this causal relationship has yet to be demonstrated (Blomert & Willems, 2010; Castles & Coltheart, 2004). The nature of the functional impairment causing dyslexia is therefore still open to debate and many alternative theories have been proposed. A review of the literature on the topic indicates that no less than a dozen has been proposed of them since the 1990s (Ramus & Ahissar, 2012). Among these, several focus around the hypothesis of a visuo-attentional deficit as the cause of dyslexia (Vidyasagar, 2012).

It has been proposed that the attention mechanism affected in dyslexics may be the visual process ensuring the spatiotemporal attentional deployment efficacy on a sequence of elements that are horizontally aligned (Vidyasagar & Pammer, 2010). Indeed, the way in which attention is deployed in space (spatial attention) and time (temporal attention) on such horizontal alignments of multiple elements, of which words are a subset, would be less effective in dyslexics than in normal readers. This deficit could thus greatly affect reading accuracy and speed, particularly by affecting the conversion of graphemes (written sound unit) into phonemes (oral sound units), as demonstrated in pseudoword reading tests. It has been proposed that phonological skills in themselves, including phonological awareness, may also be affected as a secondary consequence of this attentional deficit (Vidyasagar, 2012).

Furthermore, if the effectiveness of this deployment seems so important in reading, it is because a word cannot be intentionally recognized without sufficient attentional resources (Lien, Ruthruff, Kouchi, & Lachter, 2010). However, most reading models do not take into account the attentional factors involved in the stage of visual information extraction (Boden & Giaschi, 2007; Perry, Ziegler, & Zorzi, 2007). Since high-level processing could be based on the outcome of this initial step, greater efficiency at this stage should facilitate the identification of letters and their respective positions (Pammer, Hansen, Holliday, & Cornelissen, 2006) as well as phonological and semantic processes (Waechter, Besner, & Stolz, 2011).

Both spatial and temporal attention seem to be involved in reading and phonological skills (Ruffino, Gori, Boccardi, Molteni, & Facoetti, 2014). Furthermore, differences in this regard have already been documented between normal readers and dyslexics. With respect to spatial attention, markers obtained from performances in a serial search and a spatial cuing tasks in pre-readers accurately predict their ability to read texts, isolated words and pseudowords measured

two years after the initiation of reading instruction (Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli, & Facoetti, 2012). Another attention deficit that is well documented in dyslexics concerns the visuo-attentional span (Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007), which refers to the number of elements that can be processed simultaneously in a horizontal character sequence (Valdois et al., 2003). Dyslexics, with and without phonological difficulties, perform less well than normal readers in a task requiring the full report of five consonants presented simultaneously (Bosse et al., 2007; Lassus-Sangosse, N'guyen-Morel, & Valdois, 2008). Thus, dyslexics have a systematically smaller visuo-attentional span than normal readers. This span is an index of spatial attention since the higher the span, the greater is the extent of the visual field from which visual information can be integrated (Bosse, Kandel, Prado, & Valdois, 2014).

As for temporal attention, tasks requiring the identification of character sequences displayed briefly reveal a slower attentional deployment in dyslexics. In a partial report task using sequences of consonants or numbers, the time required to identify one element was greater in dyslexics than in normal readers (Hawelka, Huber, & Wimmer, 2006). This deficit was observed with sequences of four or more items (Hawelka & Wimmer, 2005). In a forced-choice task, dyslexics are less effective than normal readers at recognizing a sequence of pseudo-letters presented for 100 ms (Pammer, Lavis, Hansen, & Cornelissen, 2004). In another type of task requiring the identification of individual symbols displayed for 100 ms which were both forward and backward masked, dyslexics with phonological deficits were less accurate than age- and IQ-matched normal readers (Ruffino et al., 2014). Finally, the attentional blink is systematically longer in dyslexics compared to normal readers (Hari, Valta, & Uutela, 1999; Laasonen et al., 2012). Such results reflect a slower engagement and disengagement of attention in dyslexics (Hari & Renvall, 2001).

In short, several attention mechanisms appear to be disrupted in dyslexics. The spatial and temporal deployment of attention in text-reading may be less effective and thus contribute to their reading difficulties. These demonstrations are supported by the results of studies using various forms of visuo-attentional training which have had a positive impact on reading skills, particularly in dyslexics. Training studies are of particular importance in the study of dyslexia since performance gains can be directly attributable to the cognitive function being trained and thus indicate their importance in the normal reading process (Goswami, 2015).

In this respect, Franceschini et al. (2013) significantly improved reading skills, in terms of accuracy and speed in reading text and pseudowords, in young Italian-speaking dyslexics only with a relatively short training (12 hours over nine sessions) using an action video game (AVG). In contrast, the control group, which was playing a video game without action (non-AVG), did not show any improvement. Recently, using the same training protocol as Franceschini et al. (2013), these demonstrations have been replicated with a sample of English-speaking dyslexic children (Franceschini et al., 2017). Using training based on requirements similar to those of an AVG, speed and accuracy in text reading have also been improved in Italian-speaking dyslexic adults after 7.5 hours of training (Gori, Seitz, Ronconi, Franceschini, & Facoetti, 2015). These results indicate that the benefits of playing AVG are true for different languages and are independent of the age of the participants.

AVG have four functional requirements that distinguish them from so-called non-AVG (Green, Li, & Bavelier, 2010). These involve the high speed sequence of events (visual and auditory) which follow one another, and movements to be made (1), a considerable perceptual, cognitive and motor load (2), a spatial and temporal unpredictability (3) as well as a particular stress on peripheral visual processes (4). Measures of attentional function have been taken to

compare AVG players with non-AVG players, as well as within training paradigms comparing an active group playing AVG with another playing a video game that does not meet these functional requirements. AVG players are able to simultaneously process a larger number of visual elements and also have a shorter attentional blink in comparison to non-AVG players (Green & Bavelier, 2003). The attention gains associated with AVG in terms of spatial attention are valid for tasks using stimuli presented in the center of the visual field as well as in the periphery (Green & Bavelier, 2006). It has been suggested that the combined presence of the four functional requirements associated with AVG may result in benefits even for attention and cognitive functions that are not directly required by these games (Gori & Facoetti, 2014; Green & Bavelier, 2006). More closely related to reading skills in normal readers, it has been shown that phonological working memory benefits from this type of training (Oei & Patterson, 2013). In addition, regular AVG players have a larger attentional span and better pseudoword reading accuracy than non-AVG players (Antzaka et al., 2017). It is important to note, however, that the functional requirements of an AVG are not exclusive to it and can be solicited through other activities, including the attentional pursuit of multiple objects.

The multiple object tracking task requires participants to keep track of a number of objects moving independently of each other among distractors (Pylyshyn & Storm, 1988). As a training method, one application of this paradigm is the *NeuroTracker*. Our interest in the *NeuroTracker* is based on the fact that it implements the four features that characterize AVG (Green et al., 2010): high speed (in the case of the *NeuroTracker*, the speed of the moving elements is adapted on an individual basis), optimal loading, independence of stimuli and the solicitation of peripheral visual processes (Faubert & Sidebottom, 2012). In addition, a practical advantage of the *NeuroTracker* in the context of short-term training is that the beneficial effects

of training for working memory tasks and information processing speed are greater than those of other types of training, including AVG (Pakdaman Lahiji, 2016). A *NeuroTracker* session lasts about 8 minutes and significant improvements in attention span have been observed after 30 *NeuroTracker* sessions (over 10 training meetings) in university students (Parsons et al., 2014), and after 15 sessions in children with neurodevelopmental disorders (Tullo, Guy, Faubert, & Bertone, 2018). In the elderly, the perception of biological motion is improved after 15 sessions (Legault & Faubert, 2012). Finally, a short period of training (10 sessions) in adult military personnel resulted in improved verbal working memory performance (Vartanian, Coady, & Blackler, 2016). In this regard, it is relevant to note that verbal working memory is an important factor in reading skills (Hansen & Bowey, 1994) and that its measurement is positively correlated with that of phonological awareness (Alloway et al., 2005). In summary, the *NeuroTracker* engages the four requirements of an AVG and this type of training seems to have the potential to improve reading and phonological awareness skills in dyslexics more quickly than AVG.

3.2.1 Goals and hypotheses.

The study reported here uses the *NeuroTracker* as a training method to examine whether its use results in an improvement in reading and phonological operations in a sample of French-speaking dyslexic adults. We also wish to examine whether it is possible to achieve this goal while using a shorter training period than that used previously with AVG. To do this, dyslexic adults attending university were recruited and two types of training were used: an active (with the *NeuroTracker*) and a placebo (using the 2048 set). The participants were randomly divided into two groups to counterbalance the order of the training types. Thus, the NT-2048 group did the active training first, then the placebo and vice versa for the 2048-NT group. The main hypothesis

is that active training will significantly improve text reading and phonological awareness, while these benefits should not occur following the placebo training.

3.3 Methods

3.3.1 Participants.

Twenty French-speaking university students took part in the experiment. They were all between 18 and 40 years of age and their visual acuity was normal or corrected. They all had normal stereoscopic vision. All had already been diagnosed with developmental dyslexia by a qualified professional and were not regular AVG players. Participants freely agreed to participate in this experiment and received financial compensation of \$120 for their participation. This project received the required ethics approvals before recruitment began.

3.3.2 Materials, Task Descriptions and Stimuli.

3.3.2.1 WASI-2. A measure of intellectual functioning (IQ) with a French translation of the Weschler Abbreviated Scale of Intelligence Second Edition (WASI-2), a rapid cognitive assessment tool based on two subtests of the Weschler Intelligence Scale: Vocabulary and Matrices. The WASI-2 was administered under standard conditions.

3.3.2.2 ECLA-16+. The *Évaluation des Compétences de Lecture chez l'Adulte de plus de 16 ans* (ECLA-16+, in English: assessment of reading skills in adults over 16 years of age; Gola-Asmussen, Lequette, Pouget, Rouyer, & Zorman, 2010) battery is a reading skills screening tool for French-speaking adults. Three tests from this battery were selected to evaluate text reading (*Alouette-R*) and phonological skills (Initial Phoneme Deletion test and Spoonerism test). Each of these tests measures performance in terms of speed and accuracy. Using the existing norms, the

raw performances were transformed into Z-scores, which served as dependent variable for these tests.

3.3.2.2.1 *Alouette-R*. The *Alouette-R* (Lefavrais, 2005) is a tool for the assessing of reading speed and accuracy that is widely used in both clinic and research. A meaningless text of 265 words must be read by the participant as quickly and correctly as possible in a maximum of three minutes. Two measures were obtained from this task: the number of words read correctly per minute and the number of errors made. The index of words read correctly per minute refers to the reading speed and a positive Z-score in this test indicates an above-average reading speed. The calculation of this index was done as follows: $WRC \times 60 / T$; where WRC = the number of words read correctly and T = the time taken to complete the reading of the text. The number of errors made reflects the accuracy of reading performance. For this index, we have reversed the Z-scores scale proposed in the standards so that a positive Z-scores reflect better accuracy, i.e. a lower number of errors than the average.

3.3.2.2.2 *Initial Phoneme Deletion Test*. In this phonemic segmentation task, the experimenter gives a word to the participant who must repeat it while omitting its first phoneme. The participant must respond as quickly as possible while avoiding errors and the following trial is presented only after the participant's response. This test is made of 10 trials and the measures obtained are: the time required to complete the test and the precision score (over 10). A positive Z-score on the time index indicates an above-average speed and a positive Z-score for accuracy index indicates above-average accuracy, i.e. a lower than average number of errors.

3.3.2.2.3 *Spoonerisms Test*. In this phonemic inversion task, the experimenter gives two words to the participant who must repeat them while interchanging their first phonemes. The participant must respond as quickly as possible while avoiding errors. The experimenter waits for

the participant's response before presenting the next word pair. The list includes 10 spoonerisms, thus 20 words. The data obtained in this test are: the time required to complete the test and the precision score (over 20). A positive Z-score for time indicates an above-average speed and a positive Z-score for accuracy indicates above-average accuracy, i.e. a lower than average number of errors.

3.3.2.3 MNRead in RSVP. This task was administered on an HP Z230 computer and was programmed in Matlab using functions from the Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997). It was presented on an Asus VG248 display (1920 x 1080) with a refresh rate of 120 Hz. The position of the participant's head was maintained at a distance of 57 cm from the screen with a chinrest. The words were printed in black over a white background. The stimuli were printed in *Courier New* 20 points. In this experiment, the lower-case letter "x" occupied a visual angle of $0.4^\circ \times 0.4^\circ$.

The 38 sentences from the French adaptation of the MNRead (Senécal, 2001) were used. All sentences are 60 characters long (including spaces and the period at the end) and ranged from nine to thirteen words ($\bar{x} = 11.11$ words/sentence; $\sigma = 1.04$). These sentences were displayed using the Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) method. The words making up a sentence were presented in order, one at a time at the center of the screen for a duration that varied across sentences. Five display durations were used: 50 ms, 58.33 ms, 75 ms, 100 ms and 133.33 ms. The duration of word presentation on a given trial was determined randomly with the constraint of an equal number of trials for each duration. Thus, for each participant, seven of the 38 sentences were randomly assigned to each of these five presentation durations and the remaining three sentences were not used.

The progress of a trial was as follows: A fixation cross appeared in the center of the screen for 500 ms and then, after a 250 ms blank screen, the words making up the target sentence

were presented one at a time for the exposure duration associated with this sentence, with a 0 ms inter-stimulus interval. A blank screen followed. On each trial, participants had to read aloud the sentence presented. Participants could begin to read immediately when the first word appeared. They were instructed to report as many words as possible from the sentence presented. Once the participant finished reading the sentence, the experimenter pressed the space bar to launch the next trial. A tape recorder was used to record the participants' responses. The examiner then listened to the recording to determine the success rate for each sentence. More specifically, the measure used here is the percentage of words that the participant was able to report correctly (regardless of the order). The percentage of words recognized at the different presentation durations was then used to obtain reading speed measurement based on a threshold interpolated from the linear regression of accuracy as a function of presentation duration. This threshold is normally set at an 80 % success rate (Legge, Mansfield, & Chung, 2001). This threshold is then transformed to obtain a reading speed in number of words per minute.

3.3.2.4 *NeuroTracker*. The *NeuroTracker* is produced and distributed by CogniSens, Inc. The Asus VG248 24" (1920 x 1080) screen used for the MNRead also served for this task and participants wore anaglyphic glasses to produce a stereoscopic effect. Again, the position of the participant's head was kept at an observation distance of 57 cm from the screen with the help of a chinrest.

A *NeuroTracker* session consists of twenty trials and lasts about eight minutes. Each trial is divided in five phases. The first is the presentation phase, where eight yellow static spheres are displayed for two seconds at random locations. In the tagging step, which follows, four spheres are marked as targets by turning red for a second to then returning back to yellow. Then, in the tracking stage, the participant must perform the attentional tracking of the targets. All spheres

move independently and randomly, intersect with each other, bounce off each other or off virtual (invisible) walls for a duration of eight seconds. Then, the spheres stop and a number from 1 to 8 appears on each. At this identification phase, the participant must give the numbers associated with each target. A correct response requires the report of all four target spheres. Therefore, if one of the reported spheres is not a target, the trial is deemed to have failed. In the fifth and final phase of a trial, feedback is provided to the participants. Thus, the four target spheres again turn red for two seconds and then regain their initial color. The program then adjusts the velocity of the spheres for the next trial. If the response obtained is correct, the speed is increased. If, on the other hand, the response is incorrect, the speed is reduced. This adjustment is made according to an adaptive staircase procedure, with a decrease in the size of the change each time its direction is reversed. Specifically, a reversal occurs when a successful trial is followed by an error or vice versa. The average speed of the spheres on the last four inversions is the measure of the performance threshold for the session. This indicates a speed at which the user would succeed a trial 50 % of the time. The measurement scale used to represent this threshold is expressed in log (cm/s). We will call this threshold the upper speed of pursuit.

3.3.2.5 2048. The placebo task is called *2048*. It is a game that is freely accessible online (<https://gabrielecirulli.github.io/2048>). The game is played on a 4 x 4 grid and the player must combine adjacent tiles with the same number. All numbers on the grid are powers of 2, and their combination results in the next higher power tile (e.g., the new tile resulting from the merging of two 8 (2^3) will have a value of 16 (2^4)). The participant's task is to combine enough tiles to obtain one bearing the value 2048 (2^{11}). The arrows on the keyboard are used to move the tiles on the grid. With each movement, a new tile with a 2 or 4 appears in a box that just became blank, which is selected randomly among those available. The game ends when no new movement is

possible. The total score is then displayed on the screen, which represents the sum of the powers of 2 obtained during the game.

3.3.3 Procedure.

For all participants, the study was conducted as follows: first evaluation (T1), training 1, second evaluation (T2), training 2, and third evaluation (T3).

On the first evaluation session (T1), socio-demographic information (age, gender) and manual dominance of the participant were collected. The WASI-2 was then administered along with the selected tests of the ECLA-16+ and finally MNRead in RSVP task. For the latter, a three-sentence practice phase was first conducted to familiarize the participant with the RSVP presentation. These sentences were not part of the experimental list and they were presented in random order at presentation duration of 50 ms, 75 ms and 133.33 ms per word.

For Training 1, one half of the participants (randomly selected) received the active training (*NeuroTracker*) while the other half received the placebo training (*2048*). Training consisted of six 25-minute training meetings, at the rate of two meetings per week. On each training meeting with the *NeuroTracker*, the participant completed three sessions (procedure described above). The three thresholds obtained were then averaged to obtain one threshold per meeting. Training with the *2048* consisted in playing the game continuously until the participant had done so for 25 minutes. The scores for all the games played during the encounter were then averaged to obtain the score for that training meeting.

After Training 1, the second evaluation (T2) involved the administration of the selected tests of the ECLA-16+ and MNRead in RSVP (with the training phase). This evaluation took place, at the latest, five days following the last meeting of Training 1.

For Training 2, participants who had completed the active training in Training 1 then received the placebo training, and vice versa. The rate at which sessions were carried out as well as their progress were the same as in Training 1.

The third evaluation (T3) was conducted after Training 2 was completed. This included the administration of the selected ECLA-16+ tests and of the MNRead in RSVP (again including its practice phase). This final evaluation took place no later than five days after the last meeting of Training 2.

3.4 Results

3.4.1 Sociodemographic data, IQ and assessment of basic language skills (T1).

As shown in Table V, the two groups of participants were matched for age, manual dominance, gender and IQ.

=====
Insert Table V near here
=====

Table VI presents the data for the selected tests of the ECLA-16+. For each of the indexes collected before Training 1, no significant difference was observed between the groups.

=====
Insert Table VI near here
=====

For the MNRead task in RSVP at T1, an ANOVA was applied with the five presentation durations as a within-subject variable and the groups (NT-2048, 2048-NT) as a between-subject

variable. The main effect of presentation duration is significant ($F(4,72) = 79.56; p < 0.001$). This effect is manifested by a linear increase in the rate of correct responses as a function of the presentation duration. The main group effect ($F(1,18) < 1$) and group interaction x presentation duration ($F(4,72) = 1.51; n.s.$) are not significant, confirming that the two groups were completely similar in their performance on this task before training. However, *Figure 3*, which illustrates the results of this test, shows that there is significant inter-individual variability in performance. Thus, standard deviations have, on average, a value corresponding to 31.6 % of their associated performance level, which is very high. This high inter-individual variability is not particularly surprising because the severity of dyslexia can vary from person to person. However, this variability is problematic with regard to the objective of summarizing the reading performance of dyslexics in the MNRead in RSVP test as a measure of reading speed. Indeed, this requires interpolating the exposure time offering a specific correct response rate (typically, 80 %) which must be the same across all participants. In this case, it is impossible to establish a relevant correct response rate within the data range for all participants. Thus, if we apply a relatively high threshold (e.g., 80 %), we find several participants who cannot achieve such a high rate of correct responses. In contrast, if the threshold applied is low enough to include the latter, several other participants present results in which the minimum rate of correct responses is higher. For this reason, the performance indicator we will retain from the MNRead in RSVP test for the evaluation of training effects will be the average rate of correct responses from participants regardless of exposure duration.

=====
Insert *Figure 3* near here
=====

3.4.2 Training Sessions.

Figure 4 shows the progression of the average *NeuroTracker* thresholds through the six training meetings. The thresholds are the average for all participants, regardless of whether the training was the first (between T1 and T2) or the second (between T2 and T3). Over the course of the training meetings, there was a significant increase in the upper speed of pursuit thresholds ($F(5,95) = 24.37; p < 0.001$) which followed an inverted logarithmic function. This pattern of increased performance with practice is similar to that observed previously in other studies using the *NeuroTracker* (Faubert & Sidebottom, 2012; Parsons et al., 2014; Tullo et al., 2018).

=====
Insert *Figure 4* near here
=====

Figure 5 illustrates the progression of the participants' performance on the *2048* through the six training meetings. The scores are the average for all participants, regardless of whether the training was the first (between T1 and T2) or the second (between T2 and T3). Over the course of the sessions, there was a significant increase in the scores obtained ($F(5,95) = 2.88; p < 0.05$) which followed a linear function.

=====
Insert *Figure 5* near here
=====

3.4.3 Post-Evaluation Training.

To directly assess our hypothesis, post-hoc LSD tests will be used to compare the indexes measured between consecutive evaluations for each group to specify the significant effects found. To limit the risk of a type I error, we will use a more stringent significance criterion for post-hoc

comparisons. A difference will be considered significant if $p < 0.01$ and we will indicate trends when $p < 0.025$.

3.4.3.1 ECLA-16+. A MANOVA was applied to the six dependent variables measured from the ECLA-16+ at three evaluation times (T1, T2, T3) as a within-subject variable, and the two groups (NT-2048, 2048-NT) as a between-subject variable. The multivariate analysis reveals a main effect of the evaluation (Wilks' Lambda = 0.14; $F(12,64) = 4.86$; $p < 0.001$), indicating that Z-scores increase through evaluation times. Also, the interaction between evaluation time and group is significant (Wilks' Lambda = 0.50; $F(12,64) = 2.18$; $p < 0.05$). This indicates that the increase in Z-scores across the evaluation times varies across groups.

3 X 2 ANOVAs were then applied on each of the six dependent variables to clarify these effects. The results of each test are shown in *Figure 6*. On the *Alouette-R*, for the index of the number of words read correctly per minute, there is a main effect of evaluation time ($F(2,36) = 58.05$; $p < 0.001$) and a significant interaction between evaluation time and group ($F(2,36) = 3.90$; $p < 0.05$). Post-hoc comparisons indicate that for the NT-2048 group, an increase in Z-scores in this test occurs between T1 and T2 ($p < 0.001$) while the difference is not significant between T2 and T3 (*n.s.*). For the 2048-NT group, an increase in Z-scores was found between T1 and T2 ($p < 0.001$) and between T2 and T3 ($p < 0.005$). Analyses of the index of the number of errors made do not reveal a main effect of evaluation time ($F(2,36) = 1.78$; *n.s.*) or interaction with group ($F(2,36) < 1$).

=====
Insert *Figure 6* near here
=====

In the Initial Phoneme Deletion test, for the index of time required to complete the task, there was a main effect of evaluation time ($F(2,36) = 43.01; p < 0.001$) but the interaction between evaluation time and group is not significant ($F(2,36) = 1.29; n.s.$). Post-hoc comparisons for this test indicate that for the NT-2048 group, a significant increase in Z-scores occurs between T1 and T2 ($p < 0.001$) while these scores do not differ significantly between T2 and T3 ($n.s.$). For the 2048-NT group, an increase in Z-scores was found between T1 and T2 ($p < 0.001$) and between T2 and T3 ($p < 0.01$). Analyses of the response accuracy index do not reveal any main effect of evaluation time ($F(2,36) < 1$) or interaction with group ($F(2,36) = 2.82; n.s.$).

In the Spoonerism test, for the index of time required to complete the task, the main effect of evaluation time is significant ($F(2,36) = 13.47; p < 0.001$) while the interaction of this factor with group is not significant ($F(2,36) < 1$). Post-hoc comparisons do not reveal any significant difference in this test between T1 and T2 ($n.s.$) or between T2 and T3 ($n.s.$) for the NT-2048 group. For the 2048-NT group, Z-scores are not statistically different between T1 and T2 ($n.s.$) but there is a significant increase between T2 and T3 ($p < 0.01$). Analyses of the accuracy of responses do not reveal a main effect of evaluation time ($F(2,36) = 1.81; n.s.$) but the interaction between the evaluation time and group is significant ($F(2,36) = 5.26; p < 0.01$). Post-hoc comparisons between T1 and T2 indicate a trend towards an increase in Z-scores in the NT-2048 group ($p < 0.025$) but not in the 2048-NT group ($n.s.$). Between T2 and T3, Z-scores are not statistically different across evaluation times for either the NT-2048 ($n.s.$) or 2048-NT ($n.s.$) group.

3.4.3.2 MNRead in RSVP. A repeated-measures ANOVA with the three evaluation moments (T1, T2, T3) and both groups (NT-2048, 2048-NT) was applied to the overall averages of the correct response rates to the MNRead task. The results of this test are shown in *Figure 7*.

The main effect of evaluation time is significant ($F(2,36) = 31.39; p < 0.001$) but the interaction between evaluation time and group is not significant ($F(2,36) < 1$). For the NT-2048 group, an increase in performance occurs between T1 and T2 ($p < 0.001$) while the difference is not significant between T2 and T3 (*n.s.*). For the 2048-NT group, a significant increase in performance occurs between T1 and T2 ($p < 0.005$) and between T2 and T3 ($p < 0.005$).

=====
Insert *Figure 7* near here
=====

3.4.3.3 Inter-Rater Reliability. Since the administration and correction of the evaluations were done by the first author of this article, a validation of half of this correction (30 of the 60 randomly selected protocols) was done by an evaluator blind to the group to which the participant belonged for all dependent variables. Inter-rater reliability is largely satisfactory for each of these indices ($r_s(29) > 0.94, p < 0.001$).

3.5 Discussion

The effectiveness of visuo-attentional training on reading skills in French-speaking dyslexic adults was tested using a protocol contrasting the effects of active visuo-attentional training (*NeuroTracker*) with placebo training (2048). Participants were randomly assigned to the two groups and each received both training sessions in a counterbalanced order. Initially, prior to training, groups were matched on age, IQ, gender, manual dominance, speed and accuracy of text reading and phonological skills. Participants improved their performance over time for both *NeuroTracker* and 2048 training.

An improvement in performance on the selected tests of the ECLA-16+ and the MNRead in RSVP task is apparent after the first training phase for both groups of participants. At this point in time, it is therefore impossible to distinguish the effect of visuo-attentional training on reading skills from that resulting from training on *2048*. It appears that these performance improvements are most likely due to a practice effect resulting from the repeated use of the same tasks. The only notable exception is a trend towards improved accuracy in the phoneme inversion task, which occurs exclusively with the *NeuroTracker*.

The effectiveness of the active training (*NeuroTracker*) is more evident after the second training period. Indeed, between the second and third evaluations, the reading speed indexes (*Alouette-R* and MNRead in RSVP) and the phonological operation completion speed indexes (phoneme suppression and inversion) increase in the active training group, while they remain at the same level in the placebo training group.

These results add to those obtained with other forms of visuo-attentional training, mainly AVG, which have had beneficial effects on the speed and accuracy of text and pseudoword reading in English-speaking (Franceschini et al., 2017) and Italian-speaking (Franceschini et al., 2013; Gori et al., 2015) dyslexics. The *NeuroTracker* has functional requirements that overlap with those attributed to the benefits observed with the use of AVG; i.e. high speed, optimal load, independence of stimuli and stimulation of peripheral visual processing. These results support the notion that it is these functional requirements that are actually responsible for the beneficial effect on reading performance, rather than another component that is specific to AVG (i.e., that would not be shared with *NeuroTracker*). It is noteworthy that in a short-term training, the *NeuroTracker* provides more benefits than AVG (Pakdaman Lahiji, 2016). In particular, the

training applied here lasted 1/5 the duration of the shortest training regimen using AVG to improve reading skills.

The active functional requirements shared between AVG and the *NeuroTracker* may allow other attention and cognitive functions to benefit from training even if they are not directly solicited by the training activities (Gori & Facoetti, 2014; Green & Bavelier, 2006). This proposal is coherent with the observation of a beneficial effect of practice on an AVG on phonological working memory and pseudoword reading in neuro-typical participants (Antzaka et al., 2017; Oei & Patterson, 2013; Vartanian et al., 2016). In this article, we demonstrate that phonological manipulations (the removal and inversion of phonemes) are performed more quickly following visuo-attentional training with the *NeuroTracker*. These operations, globally attributed to phonological awareness, seem particularly important in learning to read, especially for graphophonemic conversion (Blomert & Willems, 2010; Castles & Coltheart, 2004). These results, observed in conjunction with an increase in reading speed following *NeuroTracker* training, provide considerable support for the hypothesis of an impaired spatiotemporal deployment of attention in dyslexics (Vidyasagar & Pammer, 2010). Attentional training thus appears as a potential treatment for this learning disability (Gori & Facoetti, 2014).

A limitation of this study is the repeated use of the same ECLA-16+ tests and MNRead test sentences in RSVP over a short period of time. An effect of practice and/or familiarity with the evaluation material is evident between the first and second evaluations. To the best of our knowledge, there is currently no tool that would have allowed us to use new and comparable materials for each evaluation. For future studies designed to evaluate the effectiveness of some intervention in French-speaking dyslexics, it would be advisable to develop a reading assessment tool with two or more matched parallel versions.

In sum, visuo-attentional training improves reading skills in dyslexic adults compared to placebo training. The contribution of such training is not limited to text reading skills, but also extends to operations that arise from phonological awareness. In conclusion, the *NeuroTracker* has the particularity of being flexible as a training method. The motion speed of the balls is adjusted to the user's performance and the number of balls to be tracked can also be modified, allowing both young children and elderly people to benefit from it (Legault & Faubert, 2012; Tullo et al., 2018). It could thus be used as a prevention tool in pre-readers who have been identified as being at risk of developing reading difficulties based on relevant indicators of a deficit of visual attention deficit (Franceschini et al., 2012).

3.6 References

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, *23*, 417-426. doi:10.1348/026151005X26804
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th ed.* Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Anderson, R. C., Wilson, P. T., & Fielding, L. G. (1988). Growth in reading and how children spend their time outside of school. *Reading Research Quarterly*, *23*, 285-303. doi:10.1598/RRQ.23.3.2
- Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., & Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: the role of visual attention span. *Scientific Reports*, *7*, 1-10. doi:10.1038/s41598-017-15119-9
- Baker, L., & Wigfield, A. (1999). Dimensions of children's motivation for reading and their relations to reading activity and reading achievement. *Reading Research Quarterly*, *34*, 452-477. doi:10.1598/RRQ.34.4.4

- Barrouillet, P., Billard, C., de Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., . . . Valdois, S. (2007). *Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie: Bilan des Données Scientifiques*. Paris: Inserm.
- Bishop, D. V. M. (2015). The interface between genetics and psychology: lessons from developmental dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282, 20143139. doi:10.1098/rspb.2014.3139
- Blomert, L., & Willems, G. (2010). Is there a causal link from a phonological awareness deficit to reading failure in children at familial risk for dyslexia? *Dyslexia*, 16, 300-317. doi:10.1002/dys.405
- Boden, C., & Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133, 346-366. doi:10.1037/0033-2909.133.2.346
- Bosse, M.-L., Kandel, S., Prado, C., & Valdois, S. (2014). Does visual attention span relate to eye movements during reading and copying? *International Journal of Behavioral Development*, 38, 81-85. doi:10.1177/0165025413509046
- Bosse, M.-L., Tainturier, M., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104, 198-230. doi:10.1016/j.cognition.2006.05.009
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433-436. doi:10.1163/156856897X00357
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition*, 91, 77-111. doi:10.1016/S0010-0277(03)00164-1
- Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 6, 85-102. doi:10.1123/jcsp.6.1.85
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current Biology*, 22, 814-819. doi:10.1016/j.cub.2012.03.013
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, 23, 462-466. doi:10.1016/j.cub.2013.01.044
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., . . . Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional

- shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, 7, 1-12.
doi:10.1038/s41598-017-05826-8
- Gola-Asmussen, C., Lequette, C., Pouget, G., Rouyer, C., & Zorman, M. (2010). *ÉCLA-16+ : Évaluation des Compétences de Lecture chez l'Adulte de plus de 16 ans*: CogniSciences.
- Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Research*, 99, 78-87.
doi:10.1016/j.visres.2013.11.011
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2015). Multiple causal links between magnocellular–dorsal pathway deficit and developmental dyslexia. *Cerebral Cortex*, 26, 1-14. doi:10.1093/cercor/bhv206
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 43-54. doi:10.1038/nrn3836
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423, 534-537. doi:10.1038/nature01647
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 1465-1478. doi:10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Green, C. S., Li, R., & Bavelier, D. (2010). Perceptual learning during action video game playing. *Topics in Cognitive Science*, 2, 202-216. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01054.x
- Hansen, J., & Bowey, J. A. (1994). Phonological analysis skills, verbal working memory, and reading ability in second-grade children. *Child Development*, 65, 938-950.
doi:10.2307/1131429
- Hari, R., & Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 525-532. doi:doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01801-5
- Hari, R., Valta, M., & Uutela, K. (1999). Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*, 271, 202-204. doi:doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00547-9
- Hawelka, S., Huber, C., & Wimmer, H. (2006). Impaired visual processing of letter and digit strings in adult dyslexic readers. *Vision Research*, 46, 718-723.
doi:10.1016/j.visres.2005.09.017

- Hawelka, S., & Wimmer, H. (2005). Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research, 45*, 855-863. doi:10.1016/j.visres.2004.10.007
- Jenkins, J. R., Stein, M. L., & Wysocki, K. (1984). Learning vocabulary through reading. *American Educational Research Journal, 21*, 767-787. doi:10.3102/00028312021004767
- Laasonen, M., Salomaa, J., Cousineau, D., Leppämäki, S., Tani, P., Hokkanen, L., & Dye, M. (2012). Project DyAdd: visual attention in adult dyslexia and ADHD. *Brain and Cognition, 80*, 311-327. doi:10.1016/j.bandc.2012.08.002
- Lassus-Sangosse, D., N'guyen-Morel, M.-A., & Valdois, S. (2008). Sequential or simultaneous visual processing deficit in developmental dyslexia? *Vision Research, 48*, 979-988. doi:10.1016/j.visres.2008.01.025
- Lefavrais, P. (2005). *Alouette-R, Test d'analyse de la lecture et de la dyslexie*. Paris: Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Legault, I., & Faubert, J. (2012). Perceptual-cognitive training improves biological motion perception: evidence for transferability of training in healthy aging. *Neuroreport, 23*, 469-473. doi:10.1097/WNR.0b013e328353e48a
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. (2001). Psychophysics of reading: XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research, 41*, 725-743. doi:10.1016/S0042-6989(00)00295-9
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., Kouchi, S., & Lachter, J. (2010). Even frequent and expected words are not identified without spatial attention. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*, 973-988. doi:10.3758/APP.72.4.973
- Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2013). Enhancing cognition with video games: a multiple game training study. *PLoS One, 8*, e58546. doi:10.1371/journal.pone.0058546
- Pakdaman Lahiji, R. (2016). *Assessing the transfer of video game play versus attention training using 3D-Multiple Object Tracking*. (Maîtrise), Université de Montréal, Faculté des études supérieures.
- Pammer, K., Hansen, P., Holliday, I., & Cornelissen, P. (2006). Attentional shifting and the role of the dorsal pathway in visual word recognition. *Neuropsychologia, 44*, 2926-2936. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.028

- Pammer, K., Lavis, R., Hansen, P., & Cornelissen, P. L. (2004). Symbol-string sensitivity and children's reading. *Brain and Language*, *89*, 601-610. doi:10.1016/j.bandl.2004.01.009
- Parsons, B., Magill, T., Boucher, A., Zhang, M., Zogbo, K., Bérubé, S., . . . Faubert, J. (2014). Enhancing cognitive function using perceptual-cognitive training. *Clinical EEG and Neuroscience*, *47*, 1-11. doi:10.1177/1550059414563746
- Pennington, B. F., Orden, G. C., Smith, S. D., Green, P. A., & Haith, M. M. (1990). Phonological processing skills and deficits in adult dyslexics. *Child Development*, *61*, 1753-1778. doi:10.1111/j.1467-8624.1990.tb03564.x
- Perry, C., Ziegler, J. C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review*, *114*, 273-315. doi:10.1037/0033-295X.114.2.273
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, *379*, 1997-2007. doi:10.1016/s0140-6736(12)60198-6
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, *3*, 179-197. doi:10.1163/156856888X00122
- Ramus, F., & Ahissar, M. (2012). Developmental dyslexia: The difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance. *Cognitive Neuropsychology*, *29*, 104-122. doi:10.1080/02643294.2012.677420
- Ruffino, M., Gori, S., Boccardi, D., Molteni, M., & Facoetti, A. (2014). Spatial and temporal attention in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1-13. doi:10.3389/fnhum.2014.00331
- Senécal, M.-J. (2001). *Version française du Minnesota Low Vision Reading Test*. (Maîtrise), Université de Montréal, Faculté des études supérieures.
- Stanovich, K. E. (2009). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Journal of Education*, *189*, 23-55. doi:10.1177/0022057409189001-204
- Tullo, D., Guy, J., Faubert, J., & Bertone, A. (2018). Training with a three-dimensional multiple object-tracking (3D-MOT) paradigm improves attention in students with a neurodevelopmental condition: a randomized controlled trial. *Developmental Science*, *21*, e12670, 1-11. doi:doi.org/10.1111/desc.12670

- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing, 16*, 541-572. doi:10.1023/A:1025501406971
- Vartanian, O., Coady, L., & Blackler, K. (2016). 3D multiple object tracking boosts working memory span: Implications for cognitive training in military populations. *Military Psychology, 28*, 353-360. doi:10.1037/mil0000125
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*, 2-40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x
- Vidyasagar, T. R. (2012). Aetiology of Dyslexia: A Visual Perspective on a Phonological Marker. In J. Stein & Z. Kapoula (Eds.), *Visual Aspects of Dyslexia* (pp. 151-170): Oxford University Press.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(2), 57-63. doi:10.1016/j.tics.2009.12.003
- Waechter, S., Besner, D., & Stolz, J. A. (2011). Basic processes in reading: Spatial attention as a necessary preliminary to orthographic and semantic processing. *Visual Cognition, 19*, 171-202. doi:10.1080/13506285.2010.517228

TABLES

Table V. Group means for age, IQ, gender, and manual dominance. For age and IQ, groups were compared using a t-test whereas a chi-square test was used for gender and manual dominance.

		NT-2048 (n = 10)	2048-NT (n = 10)	<i>t</i> (18); <i>p</i>
Years	Mean	24.6	24.3	0.12; <i>ns</i>
	SD	5.1	6.0	
IQ	Mean	114.2	111.1	0.82; <i>ns</i>
	SD	6.4	10.1	
				<hr/> $\chi^2(1); p$ <hr/>
Gender	Male	5	5	0.00; <i>ns</i>
Manual dominance	Right	7	9	1.25; <i>ns</i>

Table VI. Group means for each index of the selected ECLA-16+ tests converted in Z-score (compared using a t-test) prior to any training (T1).

Tests		NT-2048 (n = 10)	2048-NT (n = 10)	<i>t</i> (18); <i>p</i>
<i>Alouette-R</i>				
WRCM	Z-Score	-1.88	-1.91	1.00; <i>ns</i>
	SD	0.99	0.55	
Error	Z-Score	-1.58	-0.97	0.77; <i>ns</i>
	SD	0.98	1.66	
Initial Phoneme Deletion				
Time	Z-Score	-1.76	-2.15	0.53; <i>ns</i>
	SD	0.96	2.09	
Score	Z-Score	-0.14	0.46	1.58; <i>ns</i>
	SD	1.18	0.32	
Spoonerism				
Time	Z-Score	-0.80	-1.49	1.85; <i>ns</i>
	SD	0.63	0.99	
Score	Z-Score	-0.36	-0.01	1.53; <i>ns</i>
	SD	0.57	0.46	

Note. WRCM = Words Read Correctly per Minute.

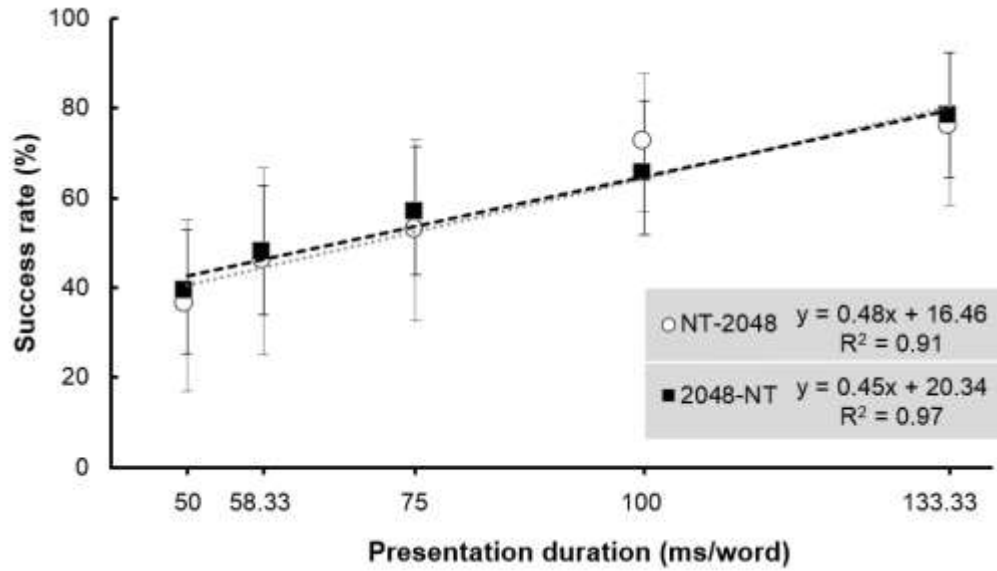


Figure 3. Mean success rate in both groups as a function of presentation duration in the MNRead in RSVP task at T1. The dotted lines illustrate the outcome of the linear regression analyses. Error bars indicate standard deviations.

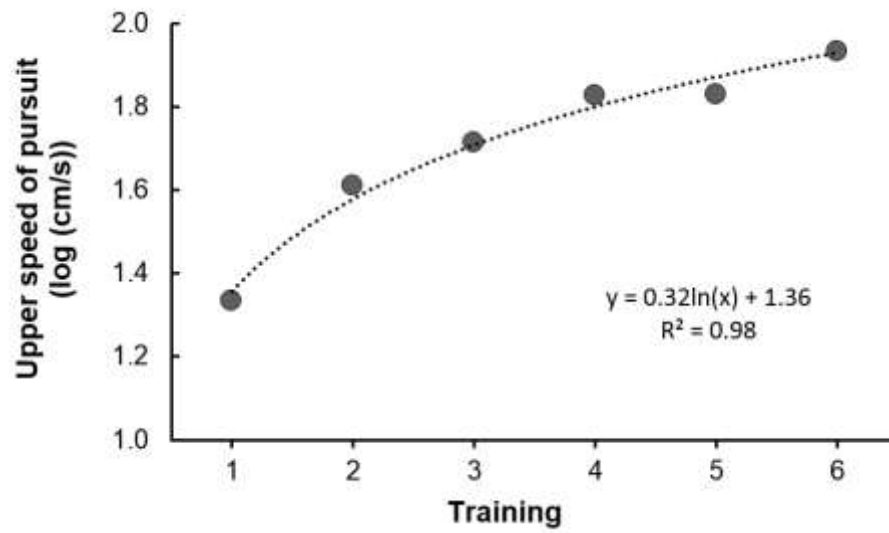


Figure 4. Mean threshold of upper speed of pursuit in *NeuroTracker* training as a function of training session across all participants. The dotted line illustrates the outcome of a reverse logarithmic regression of these thresholds across training sessions.

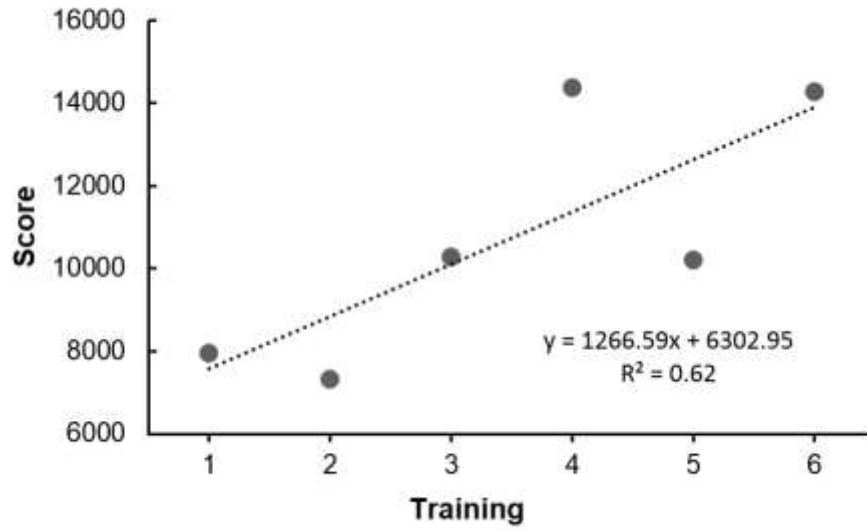


Figure 5. Mean 2048 scores as a function of training session across all participants. The dotted line illustrates the outcome of a linear regression of these scores across training sessions.

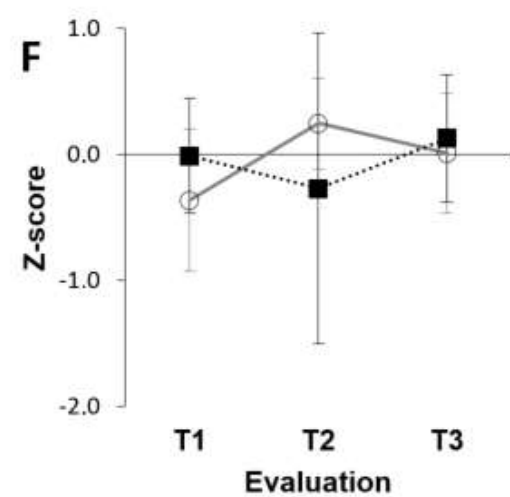
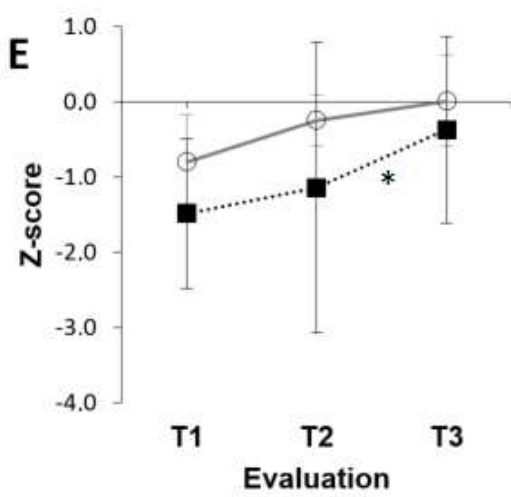
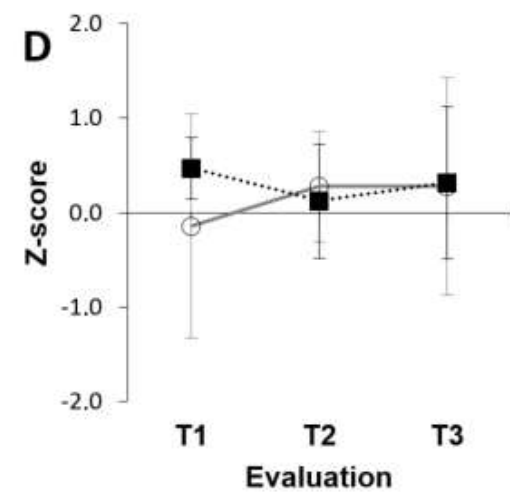
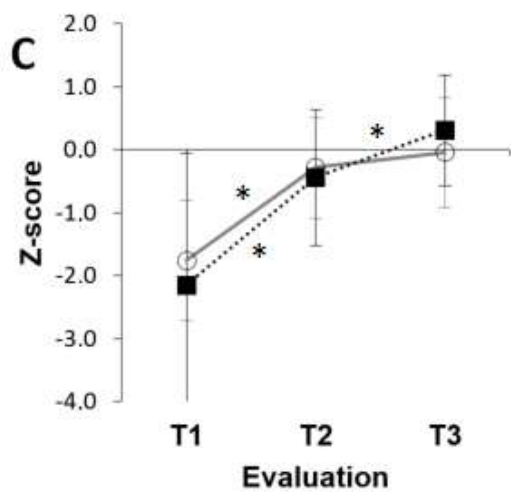
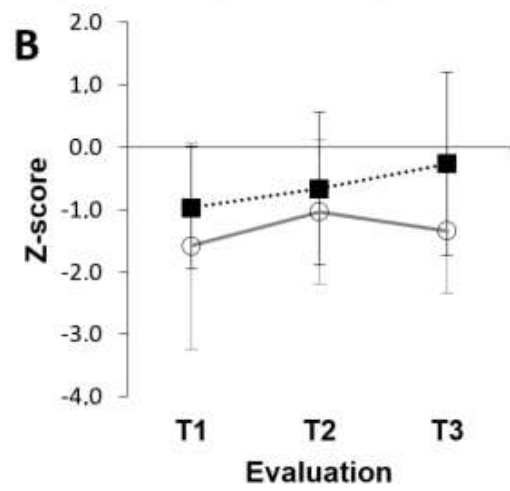
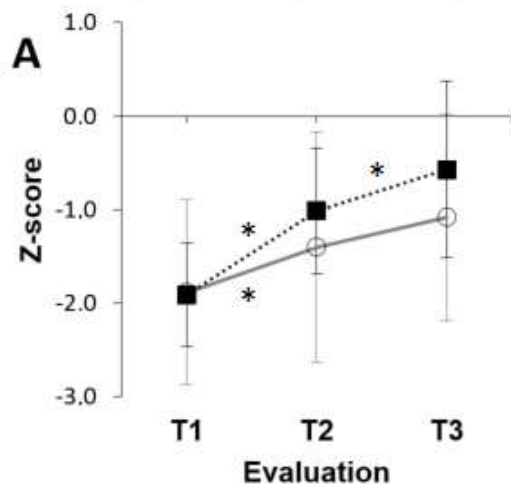


Figure 6. Average Z-scores for each group and each index of the selected ECLA-16+ tests at T1, T2 and T3 (○ : NT-2048 group; ■ : 2048-NT group). The letters in the upper left corner of each panel indicate the illustrated index: A) *Alouette-R*; words read correctly per minute, B) *Alouette-R*; Error, C) Initial Phoneme Deletion; Time, D) Initial Phoneme Deletion; Score, E) Spoonerism; Time, F) Spoonerism; Score. Significant post-hoc comparisons are indicated by an *. Error bars indicate standard deviations. Please note that the vertical axis varies across panels.

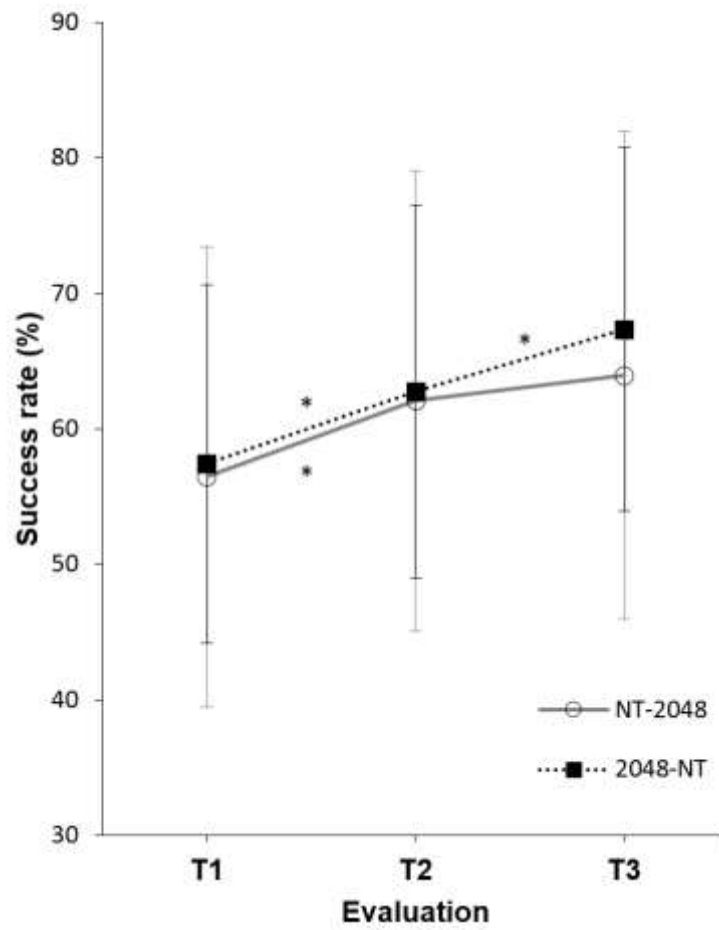


Figure 7. Mean success rates in both groups in the MNRead in RSVP task at T1, T2 and T3. Significant post-hoc comparisons are indicated by an *. Error bars indicate standard deviations

Chapitre 4 – Article 3

Normalisation et validation d'une épreuve de vitesse de lecture en présentation visuelle
sérielle rapide

Simon Fortier-St-Pierre & Martin Arguin

Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Département de Psychologie,
Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada

Financement. Cette étude a été financée par une subvention à Martin Arguin et une bourse
d'étude à Simon Fortier-St-Pierre des Fonds de recherche du Québec – Nature et
Technologies. (FRQNT).

Conflit d'intérêt. Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

État du manuscrit. Le manuscrit est sous presse à la *Canadian Journal of Behavioural Science*
/ Revue canadienne des sciences du comportement. © 2019, Canadian Psychological
**Association. This paper is not the copy of record and may not exactly replicate the
final, authoritative version of the article. Please do not copy or cite without authors'
permission. The final article will be available, upon publication, via its DOI:
10.1037/cbs0000157**

Contributions.

Conception et programmation: Simon Fortier-St-Pierre, Martin Arguin

Cueillette et analyses des données : Simon Fortier-St-Pierre

Rédaction de la première version du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre

Révision du manuscrit : Simon Fortier-St-Pierre, Martin Arguin

4.1 Résumé

Une épreuve en français visant l'évaluation de la vitesse de lecture utilisant une technique de présentation séquentielle rapide de mots a été développée. Quatre versions équivalentes du test ont été constituées avec des phrases sélectionnées sur la base des critères du MNRead. Des normes reposant sur les performances de 45 adultes normo-lecteurs sont rapportées. La capacité de l'épreuve à distinguer les normo-lecteurs vs dyslexiques s'avère satisfaisante. Les indices psychométriques obtenus appuient la validité du test. Celui-ci répond à un besoin marqué pour l'évaluation de la vitesse de la lecture et la disponibilité de quatre versions permet des mesures répétées.

Mots-clé; Vitesse de lecture; Présentation visuelle sérielle rapide; Dyslexie

4.2 Introduction

Les épreuves d'évaluation du langage pour les adultes francophones du Canada sont peu nombreux (Monetta et al., 2016) et la majorité ne répond pas aux standards psychométriques (Bouchard, Fitzpatrick, & Olds, 2009). Ces problèmes s'avèrent particulièrement aigus en ce qui concerne les épreuves d'évaluation de la vitesse de lecture, dont aucune ne dispose d'une version parallèle ou d'informations quant à la fidélité test-retest. Ceci est critique dans le contexte d'études visant à déterminer l'efficacité d'interventions ciblant les performances de lecture. Par ailleurs, la disponibilité d'une épreuve valide d'évaluation de la vitesse de lecture peut être utile pour le diagnostic de la dyslexie développementale chez les adultes (Cavalli et al., 2018).

L'épreuve MNRead, développée par Legge, Ross, Luebker, et Lamay (1989) a été adaptée pour la clinique par Mansfield, Ahn, Legge, et Luebker (1993). Une version française présentant des qualités psychométriques satisfaisantes a été produite par Senécal (2001). Celle-ci est constituée de phrases construites selon des critères quantitatifs spécifiques (60 caractères incluant le point final) et présentant une grammaire et une syntaxe simples. L'épreuve demande simplement au participant de lire à voix haute des phrases imprimées dans différentes grosseur de caractères.

Une application du MNRead utilise la méthode de présentation visuelle sérielle rapide (Kwon, Legge, & Dubbels, 2007) connue sous son acronyme anglais RSVP (c.-à-d. « *Rapid Serial Visual Presentation* »). Les phrases sont ici présentées un mot à la fois, tous à la même localisation, et leur durée d'exposition varie d'une phrase à l'autre. La vitesse de lecture est déterminée à partir de la durée d'exposition requise pour l'atteinte d'un certain seuil de performance (habituellement, 80 % correct; Legge, Mansfield, & Chung, 2001). Celle-ci est

plus élevée avec la méthode RSVP qu'avec un texte continu puisqu'elle exclut les mouvements oculaires (Legge et al., 2001). Toutefois, cette adaptation française du MNRead ne compte que 38 phrases, ce qui est insuffisant dans les cas où des évaluations répétées faisant usage de phrases différentes sont nécessaires.

4.2.1 Objectifs.

Un objectif de la présente étude est d'établir des normes de vitesse de lecture pour des universitaires francophones normo-lecteurs avec une épreuve en RSVP utilisant les phrases du MNRead ainsi que de nouvelles listes de phrases. L'Expérience 1 vise à obtenir des normes pour quatre listes de 75 phrases respectant les critères du MNRead. L'Expérience 2 a comme objectif de valider l'épreuve ainsi obtenue en comparant les performances d'universitaires dyslexiques à celle de normo-lecteurs. Dans cette expérience, nous nous attendons à ce que la vitesse de lecture des participants dyslexiques soit inférieure à celle des normo-lecteurs (Lefly & Pennington, 1991). Sur la base des intervalles de confiance obtenus à l'Expérience 1, les indices de sensibilité et de spécificité de l'épreuve seront rapportés. Pour ces deux expériences, l'obtention des approbations éthiques ont précédé tout recrutement.

Notre épreuve présente une différence notable avec celle précédemment utilisée avec une application RSVP. Une phase d'adaptation est habituellement utilisée afin d'ajuster l'étendue des durées de présentation des mots pour chaque participant et ainsi assurer que le seuil obtenu se situe à l'intérieur de cette étendue. En raison du bassin limité de phrases-test en français (l'épreuve originale en anglais compte 187 phrases), la présente épreuve n'inclut pas de phase d'adaptation. Les durées de présentation étaient les mêmes pour tous les participants.

4.3 Expérience 1

4.3.1 Méthode.

4.3.1.1 Participants. L'échantillon compte 45 francophones, dont 28 femmes, âgés entre 18 et 27 ans ($Me = 21$). Ces participants étaient tous universitaires, comptant entre une et dix années d'études entamées à ce niveau ($Me = 3$). Ceux-ci ne rapportaient aucune difficulté en lecture.

4.3.1.2 Matériel. Les tâches ont été administrées avec un ordinateur HP Z230 et un écran Asus VG248 (1920 x 1080) à 120 Hz. Une mentonnière maintenait les participants à une distance de 57 cm de l'écran. Le fond d'écran était blanc et les mots étaient écrits en noir en *Courier New* 20 points. La lettre « x » minuscule sous-tendait $0,40^\circ \times 0,40^\circ$ d'angle visuel.

4.3.1.2.1 MNRead. Les phrases constituant l'adaptation française du MNRead de Senécal (2001) comptaient entre neuf et treize mots ($M = 11,11$ mots/phrased; $ET = 1,04$). Pour cette liste, l'indice de confusion de Gunning est de 6,80 (Gunning, 1952). Cet indice représente la complexité des phrases utilisées. Plus la valeur est élevée, plus les phrases sont longues et les mots utilisés sont complexes.

4.3.1.2.2 Nouveaux stimuli. Les nouvelles listes ont été construites à partir des phrases de 60 caractères du cahier A du quotidien *La Presse* (disponible sur le site de la Bibliothèque et Archives nationales du Québec) des éditions de mai et octobre 1983 à 2013 et de février 1991 à 2013. Un ensemble de 300 phrases comprenant de neuf à douze mots a été constituée ($M = 10,29$ mots/phrased; $ET = 0,95$), dont l'indice de confusion de Gunning (1952) est de 8,10. Une étude pilote a permis de diviser cet ensemble en quatre listes équivalentes de 75 phrases. Cinq participants ont lu cette liste présentée en mode RSVP dans un ordre aléatoire

avec une durée d'exposition de 75 ms par mot. La performance lors de cette étude pilote a permis d'assigner les phrases à quatre listes (LP1, LP2, LP3 et LP4) en équilibrant chaque liste sur le taux de réussite ($M = 64,30\%$; $ET = 11,95\%$). Les phrases-test se trouvent dans le Matériel Supplémentaire et le Tableau Supplémentaire 1 (TS1) présente la répartition des mots de chaque liste selon leur classe grammaticale. Cette répartition est équivalente parmi toutes les listes, $\chi^2(21) = 11,41$; $p > 0,05$; $v = 0,06$.

4.3.1.3 Procédure. Une phase de familiarisation utilisant trois phrases n'appartenant à aucune autre liste a d'abord été administrée. Ces phrases ont été présentées à un rythme de 50, 75 ou 133,33 ms/mot. Pour les listes expérimentales (MNRead, LP1, LP2, LP3, LP4), cinq durées de présentation étaient utilisées (50, 58,33, 75, 100 et 133,33 ms/mot) et la durée était déterminée aléatoirement avec la contrainte d'un nombre égal d'essais à chaque durée (MNRead : sept phrases; LP1-4 : 15 phrases). L'ordre de présentation des cinq listes était contrebalancé entre les participants.

Un essai se déroulait ainsi : une croix de fixation apparaissait au centre de l'écran pendant 500 ms suivie d'un écran vide pendant 250 ms, les mots s'enchaînaient ensuite un à un à la durée de présentation associée à cette phrase (sans intervalle inter-stimulus), le tout suivi d'un écran vide jusqu'au début de l'essai suivant. Dès le début de la présentation de la phrase, le participant pouvait commencer à lire. Il avait pour consigne de rapporter le plus de mots possible de la phrase présentée. L'essai suivant était lancé par le participant. Un magnétophone enregistrait les réponses afin de déterminer le pourcentage des mots rapportés correctement (peu importe l'ordre), qui constitue la variable dépendante.

Deux juges indépendants ont corrigé un sous-ensemble des enregistrements (MNRead, LP1-4). Les corrélations sont élevées et toutes significatives, *tous les* $r(28) > 0,98$; $p < 0,001$. Ces fortes corrélations suggèrent une excellente fidélité inter-juges.

4.3.2 Résultats.

Une ANOVA à mesures répétées a été appliquée sur les taux de réussite en fonction des cinq durées de présentation et des cinq liste de phrases (Figure Supplémentaire 1; FS1). L'effet principal de la durée de présentation est significatif, $F(4, 176) = 304,03$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,87$, et des régressions indiquent que les taux de succès augmentent de façon linéaire avec la durée, TS2; tous les $r^2 > 0,93$. L'effet principal de liste est également significatif, $F(4, 176) = 18,31$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,29$. Des comparaisons post-hoc (Bonferroni) indiquent que le taux de succès avec le MNRead est supérieur à celui avec les listes LP, tous les $p < 0,001$, qui ne se distinguent pas entre elles, tous les $p > 0,05$. L'interaction durée x liste est non significative, $F(16, 704) = 1,17$; $p > 0,05$; $\eta_p^2 = 0,03$.

La fidélité test-retest pour les performances à chacune des listes LP a été mesurée en calculant la corrélation des performances individuelles pour chaque durée de présentation. Les corrélations sont élevées, tous les $r(43) > 0,72$; tous les $p < 0,001$ (TS3), indiquant une fidélité test-retest satisfaisante.

Le Tableau VII présente les estimations des taux de réponses correctes moyens et la limite inférieure de l'étendue normale des performances pour chaque durée de présentation. Les estimations ont été calculées à partir des paramètres des régressions linéaires (TS2). Les seuils cliniques reposent sur la limite inférieure des intervalles de confiance à 95 % des lignes de régression, calculée avec la méthode des moindres carrés. Pour les listes LP, les normes reposent sur les performances moyennes aux quatre listes.

Insérer le Tableau VII près d'ici

La vitesse de lecture de chaque participant a été mesurée pour le MNRead et les performances moyennes aux listes LP. Notre application estime cette vitesse différemment de celle de Legge et al. (2001). Ainsi, le seuil de 80 % correct était estimé à une durée inférieure à la durée la plus courte utilisée pour certains participants et au-delà de la durée maximale utilisée pour d'autres. Puisque la pente de régression était positive pour tous les participants, un taux de succès de 100 % (D_{100}) sur cette régression a été extrapolé, servant ici de seuil pour estimer la vitesse de lecture avec l'équation suivante :

$$\text{Vitesse de lecture} = 60000 / D_{100}$$

La vitesse de lecture obtenue pour le MNRead est de 408,5 mots/minute ($ET = 66,1$) est supérieure à celle de 372,0 mots/minute ($ET = 61,9$) pour les listes LP, $t(44) = 3,98$; $p < 0,001$.

4.3.3 Discussion.

L'Expérience 1 établit des normes de vitesse de lecture pour des universitaires normo-lecteurs avec une application RSVP utilisant les phrases-test du MNRead (Senécal, 2001) et de nouvelles listes de phrases respectant les mêmes critères. Les performances augmentent linéairement avec la durée de présentation, permettant ainsi un calcul valide de la vitesse de lecture. La similarité des performances entre les listes LP permet d'utiliser un seul ensemble de normes et la fidélité test-retest pour ces listes est satisfaisante.

La vitesse de lecture est supérieure avec le MNRead qu'avec les listes LP. Cette disparité semble attribuable à trois facteurs. L'indice de confusion de Gunning (1952) est plus élevé pour les listes LP que pour le MNRead. La longueur des phrases étant la même dans les deux cas, cette différence signifie que le vocabulaire utilisé est plus complexe dans les listes LP. La répartition des classes grammaticales entre les listes MNRead et LP est également différente, $\chi^2(7) = 51,19$; $p < 0,001$; $v = 0,12$. La quantité de phrases-test est plus élevée dans les listes LP que pour le MNRead. La durée d'administration est donc plus longue, ce qui peut entraîner une certaine fatigue chez les participants.

4.4 Expérience 2

L'Expérience 2 vise à vérifier la validité discriminante du test pour la classification de lecteurs normaux vs dyslexiques et sa validité de construit à partir des corrélations avec l'Alouette-R. Celui-ci est considéré comme un standard et peut servir pour valider d'autres épreuves de lecture (Bertrand, Fluss, Billard, & Ziegler, 2010).

4.4.1 Méthode.

4.4.1.1 Participants. Quarante-cinq universitaires francophones ont participé. Un groupe est constitué de 23 normo-lecteurs sans difficultés en lecture (âge moyen : 22,5 ans ($ET = 2,3$); 15 femmes) et un autre est composé de participants ayant reçu un diagnostic de dyslexie développementale (âge moyen : 24,5 ans ($ET = 5,2$); 12 femmes).

4.4.1.2 Matériel.

4.4.1.2.1 WASI-2. Le quotient intellectuel (QI) a été mesuré avec une traduction française de la deuxième édition de l'Échelle Abrégé de Quotient Intellectuel de Wechsler (WASI-2; Wechsler, 2011) à deux facteurs.

4.4.1.2.2 Alouette-R. Un texte de 265 mots devait être lu le plus rapidement et correctement possible en 180 secondes ou moins. La batterie d'Évaluation des Compétences de Lecture chez l'Adulte de plus de 16 ans (Gola-Asmussen, Lequette, Pouget, Rouyer, & Zorman, 2010) permet de situer la performance d'un adulte quant au nombre de mots lus correctement par minute (MLCM).

4.4.1.2.3 Tâches de lecture en RSVP. Les listes MNRead et LP1 ont été administrées comme à l'Expérience 1.

4.4.1.3 Protocole. L'ordre d'administration des épreuves était : WASI-2, Alouette-R, phase de familiarisation, MNRead, et LP1.

4.4.2 Résultats.

4.4.2.1 Données sociodémographiques et QI. Les groupes étaient appariés pour l'âge, $t(43) = 1,66; p > 0,05$ et le genre, $\chi^2(1) = 0,53; p > 0,05$. Le QI moyen des normo-lecteurs ($M = 115,1; ET = 8,5$) et dyslexiques ($M = 112,4; ET = 8,0$) est semblable, $t(43) = 1,09; p > 0,05$.

4.4.2.2 Épreuves de lecture. À l'Alouette-R, le score-Z pour l'indice MLCM est plus bas pour les dyslexiques que les normo-lecteurs, $t(43) = 5,31; p < 0,001$ (voir TS4).

Les taux de succès aux tâches de lecture en RSVP (FS2) ont été analysés avec une ANOVA incluant les listes de phrases et la durée de présentation comme variables intra-sujet et les groupes comme variable inter-sujet. Les taux de succès augmentent avec la durée, $F(4, 172) = 295,74; p < 0,001; \eta_p^2 = 0,87$ sont plus élevés avec le MNRead qu'avec la liste LP1, $F(1, 43) = 130,25; p < 0,001; \eta_p^2 = 0,75$ et plus élevés pour les normo-lecteurs que les dyslexiques, $F(1, 43) = 16,98; p < 0,001; \eta_p^2 = 0,28$. Aucune interaction n'est significative, *tous les* $F(4, 172) < 2,00$; *tous les* $p > 0,05$; *tous les* $\eta_p^2 < 0,04$.

La vitesse de lecture a été déterminée avec la même méthode qu'à l'Expérience 1 (TS5).

Les normo-lecteurs présentent une vitesse de lecture supérieure à celle des dyslexiques pour chacune des listes, *tous les $t(43) = 2,91$; tous les $p < 0,01$.*

Les corrélations entre l'indice MLCM de l'Alouette-R et les vitesses de lecture obtenues avec les listes MNRead, $r(43) > 0,51$; $p < 0,001$, et LP1, $r(43) > 0,58$; $p < 0,001$ sont significatives et modérées, appuyant la validité de construit de cette mesure en RSVP.

Le Tableau VIII présente la sensibilité et la spécificité des normes du Tableau 1 pour discriminer les lecteurs normaux et dyslexiques. La sensibilité indique la proportion de participants dyslexiques obtenant une valeur inférieure au seuil tandis que la spécificité indique la proportion de normo-lecteurs obtenant une valeur supérieure au seuil d'une durée de présentation donnée. Le MNRead est plus spécifique que la liste LP1, qui elle, est plus sensible. En considérant comme dyslexique un participant se retrouvant sous le seuil clinique à au moins deux durées de présentation, les taux de classification des listes MNRead, sensibilité = 68,2 %; spécificité = 87,0 %, et LP1, sensibilité = 86,4 %; spécificité = 60,9 %, augmentent. Les taux de classification pour la vitesse de lecture mesurée à l'Alouette-R avec un seuil de -1,5 scores-Z sont similaires à ceux du MNRead, sensibilité = 54,6 %; spécificité = 87,0 %.

=====
Insérer le Tableau VIII près d'ici
=====

4.4.3 Discussion.

L'Expérience 2 a comparé la vitesse de lecture en RSVP chez des groupes de normo-lecteurs et dyslexiques. Comme à l'Alouette-R, la vitesse de lecture est plus élevée chez les normo-lecteurs que les dyslexiques. Les corrélations entre ces indices appuient la validité de construit de l'épreuve RSVP. Celui-ci discrimine bien les lecteurs normaux vs dyslexiques, au

même titre que l'Alouette-R, avec un taux de classification de 70% pour chacun des critères. Il est possible d'augmenter ce taux à environ 75 % avec un critère d'au moins deux durées sous le seuil.

4.5 Discussion générale

L'objectif de la présente étude était de normaliser et valider une épreuve de vitesse de lecture pour les universitaires francophones du Canada. Cette épreuve utilisait une application RSVP avec les phrases du MNRead ainsi que de nouvelles listes de phrases. L'Expérience 1 établit des normes de performance avec un échantillon d'universitaires normo-lecteurs. À partir de ces normes, l'Expérience 2 a évalué la validité de l'épreuve auprès de groupes normo-lecteurs et dyslexiques.

La vitesse de lecture obtenue est plus élevée avec le MNRead qu'avec les listes LP. Cette différence semble attribuable à la différence de complexité des phrases, à la différente répartition des classes grammaticales ainsi qu'à la durée d'administration des épreuves.

Les données psychométriques suggèrent que l'épreuve RSVP est adéquat du point de vue de la validité de construit et de discrimination et de la fidélité interjuges et test-retest. Les nouvelles listes (LP1-4) sont pratiquement identiques quant à l'évolution du taux de succès avec la durée de présentation et la mesure de vitesse de lecture qu'elles offrent, permettant l'utilisation du même ensemble de normes.

Cet épreuve répond à un besoin important pour l'évaluation des habiletés de lecture auprès d'adultes francophones du Canada (Monetta et al., 2016), plus particulièrement chez une population universitaire. L'épreuve est également sensible à l'identification des difficultés de lecture chez les dyslexiques. Il est recommandé d'utiliser les phrases du MNRead lors

d'une évaluation ponctuelle de la lecture, et d'utiliser les listes LP pour une évaluation répétée des habiletés de lecture.

4.6 Références

- Bertrand, D., Fluss, J., Billard, C., & Ziegler, J. C. (2010). Efficacité, sensibilité, spécificité: comparaison de différents tests de lecture. *L'Année psychologique*, *110*, 299-320. doi:10.4074/S000350331000206X
- Bouchard, M.-E. G., Fitzpatrick, E. M., & Olds, J. (2009). Analyse psychométrique d'outils d'évaluation utilisés auprès des enfants francophones. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology*, *33*(3), 129-139.
- Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students: An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of Learning Disabilities*, *51*, 268-282. doi:10.1177/0022219417704637
- Gola-Asmussen, C., Lequette, C., Pouget, G., Rouyer, C., & Zorman, M. (2010). *ÉCLA-16+ : Évaluation des Compétences de Lecture chez l'Adulte de plus de 16 ans*: CogniSciences.
- Gunning, R. (1952). *The Technique of Clear Writing*: McGraw-Hill.
- Kwon, M., Legge, G. E., & Dubbels, B. R. (2007). Developmental changes in the visual span for reading. *Vision Research*, *47*, 2889-2900. doi:10.1016/j.visres.2007.08.002
- Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (1991). Spelling errors and reading fluency in compensated adult dyslexics. *Annals of Dyslexia*, *41*, 141-162. doi:10.1007/BF02648083
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. (2001). Psychophysics of reading: XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research*, *41*, 725-743. doi:10.1016/S0042-6989(00)00295-9
- Legge, G. E., Ross, J. A., Luebker, A., & Lamay, J. M. (1989). Psychophysics of reading: VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optometry & Vision Science*, *66*, 843-853. doi:10.1097/00006324-198912000-00008

- Mansfield, J., Ahn, S., Legge, G. E., & Luebker, A. (1993). A new reading-acuity chart for normal and low vision. *Ophthalmic and Visual Optics/Noninvasive Assessment of the Visual System Technical Digest*, 3, 232-235.
- Monetta, L., Desmarais, C., MacLeod, A. A., St-Pierre, M.-C., Bourgeois-Marcotte, J., & Perron, M. (2016). Recension des outils franco-québécois pour l'évaluation des troubles du langage et de la parole. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology*, 40(2), 165-175.
- Senécal, M.-J. (2001). *Version française du Minnesota Low Vision Reading Test*. Thèse de maîtrise, Université de Montréal, Faculté des études supérieures. Retrouvé à partir de https://atrium.umontreal.ca/primo-explore/fulldisplay?docid=UM-ALEPH000326536&context=L&vid=UM&search_scope=Tout_sauf_articles&isFrbr=true&tab=default_tab&lang=fr_FR
- Wechsler, D. (2011). *Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence-2nd ed. (WASI-II)*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.

TABLEAUX

Tableau VII. Estimation des taux moyens de performance et seuils cliniques (en %) pour les listes MNRead et LP1-4 en fonction de la durée de présentation (ms/mot).

Durée de présentation	MNRead		LP1-4	
	Moyenne	Seuil clinique	Moyenne	Seuil clinique
50	61,2	51,9	55,0	47,8
58	64,5	56,4	58,3	52,0
75	71,1	64,6	64,8	59,8
100	81,0	73,9	74,5	69,0
133	94,3	82,2	87,5	78,2

Tableau VIII. Sensibilité et spécificité (en %) de l'outil à l'Expérience 2 sur la base des seuils cliniques de l'Expérience 1. Étant donné la taille des groupes une différence de 4% représente une différence d'un participant.

Durée de présentation	MNRead		LP1	
	Sensibilité	Spécificité	Sensibilité	Spécificité
50	81,2	52,2	100	43,5
58,33	72,7	65,2	81,8	52,2
75	68,2	78,3	77,3	56,5
100	59,1	69,6	72,7	65,2
133,33	54,5	82,6	68,2	69,6

Chapitre 5 - Conclusion

5.1. Retour sur chaque expérience

5.1.1. Article 1.

Le déploiement de l'attention à travers l'étendue occupée par un mot immédiatement après sa présentation demeure un aspect largement sous-spécifié de la reconnaissance de mots écrits, bien qu'il apparaisse comme une composante importante de l'expertise observée chez les normo-lecteurs. Ce déploiement, s'il était sous-optimal, pourrait contribuer aux difficultés d'individus dyslexiques dans un tel contexte (Vidyasagar & Pammer, 2010). L'utilisation de la technique de sonde attentionnelle visait ainsi à illustrer les divergences attentionnelles d'un groupe d'adultes dyslexiques sur la base du profil considéré optimal d'un groupe de normo-lecteurs appariés notamment en termes d'âge et de fonctionnement intellectuel pendant la reconnaissance d'un mot. La performance de discrimination de l'orientation de la sonde attentionnelle, pouvant apparaître à différents moments et endroits sur un mot de quatre lettres à reconnaître, servait d'index du déploiement attentionnel pendant cette opération.

Chez les normo-lecteurs, l'observation du profil obtenu suggère que ce dernier est optimal puisque davantage de ressources attentionnelles sont dirigées vers les premières lettres d'un mot, où l'information la plus discriminante sur son identité se trouve (Aschenbrenner et al., 2017; Blais et al., 2009; Farid & Grainger, 1996; Scaltritti & Balota, 2013).

Afin de contrôler l'impact potentiel des facteurs visuels concurrents au déploiement attentionnel pendant la reconnaissance de mots, le profil des taux d'erreurs et des temps de réaction à chaque moment et à chaque endroit où pouvait apparaître la sonde des dyslexiques a

été transformé en scores *Z* en référence aux performances moyennes et de l'écart-type du groupe de normo-lecteurs. Les scores *Z* indiquent que le déploiement attentionnel des dyslexiques tend à favoriser la fin d'un mot. Ces divergences attentionnelles ne peuvent être attribuables à une sensibilité accrue des dyslexiques à l'effet d'encombrement (Moore et al., 2011; Zorzi et al., 2012). L'impact possible de cet effet dans notre paradigme aurait été de favoriser la première et la dernière lettre du mot aux dépens des lettres centrales (deuxième et troisième lettre) puisque ces dernières sont entourées de part et d'autre d'information visuelle. Les scores *Z* obtenus avec les temps de réaction, qui ne divergent pas entre normo-lecteurs et dyslexiques, et ceux des taux d'erreurs ne peuvent être attribuables à un tel effet. Plutôt, ces derniers semblent plutôt attribuables à un déploiement sous-optimal de l'attention en contexte de reconnaissance de mots. Par ailleurs, ces résultats sont cohérents avec d'autres observations suggérant un biais attentionnel en faveur du champ visuel droit chez les dyslexiques (Facoetti et al., 2001).

Les présents résultats appuient l'hypothèse selon laquelle les dyslexiques présentent un déploiement irrégulier de l'attention dans le traitement de chaînes de stimuli multiples, dont les mots font partie (Vidyasagar, 2012). Des observations en ce sens ont déjà été effectuées (p. ex., Hawelka et al. (2006): lettres ou chiffres), mais il s'agit d'une première démonstration utilisant comme stimuli cibles des mots familiers. Puisqu'il s'agit d'une étape cruciale à la reconnaissance d'un mot et qu'elle a lieu dès les premiers moments où le mot est traité, l'extraction d'information lexicale de plus haut niveau (Waechter et al., 2011) peut ainsi en être fortement altérée. Le biais observé chez les normo-lecteurs vers la première lettre d'un mot facilite son traitement puisque l'information la plus diagnostique concernant son identité se retrouve à cet endroit, peu importe la longueur du mot (Blais et al., 2009). Nous suggérons

que le déploiement sous-optimal observé chez les dyslexiques ne peut que contribuer à leurs difficultés persistantes en reconnaissance de mots écrits.

5.1.2. Article 2.

L'importance de la contribution visuo-attentionnelle en lecture dans un contexte plus large que la reconnaissance de mots a été démontrée dans cette thèse à l'aide d'un entraînement visuo-attentionnel présentant des bénéfices sur les habiletés en lecture de texte et le traitement phonologique chez des dyslexiques adultes. Deux groupes de dyslexiques ont pris part à notre paradigme d'entraînement. Au départ, ces groupes étaient appariés sur l'âge, le fonctionnement intellectuel, le genre, la dominance manuelle, la vitesse et la précision de lecture de texte et leurs habiletés phonologiques. Un groupe débutait par un entraînement actif de l'attention visuelle (*NeuroTracker*) et poursuivait ensuite avec un entraînement placebo (2048) tandis que l'autre groupe débutait avec l'entraînement placebo avant d'entreprendre l'entraînement actif. Chaque entraînement comptait six rencontres d'environ vingt-cinq minutes, totalisant un entraînement d'une durée de cent cinquante minutes. L'évaluation des habiletés de lecture de texte et de traitement phonologique a eu lieu dans un premier temps avant tout entraînement, dans un deuxième temps entre le premier et le deuxième entraînement, et finalement, à la suite du deuxième entraînement.

Après la première phase d'entraînement, il s'est avéré impossible de distinguer l'effet de l'entraînement actif sur les habiletés de lecture de celui résultant de l'entraînement placebo puisqu'une amélioration des performances à certaines épreuves sélectionnées de l'ÉCLA-16+ et à la tâche du MNRead en RSVP est présente chez les deux groupes de participants. Il semble que ces améliorations de performance soient attribuables à un effet de pratique résultant de l'utilisation répétée des mêmes tâches. Une seule exception est notable, soit une

tendance à une amélioration de la précision dans la tâche d'inversion de phonèmes, qui se manifeste exclusivement avec l'entraînement visuo-attentionnel.

L'efficacité de l'entraînement actif se révèle de manière plus évidente à la suite du deuxième entraînement par rapport à l'entraînement placebo. En effet, entre la deuxième et la troisième évaluation, la lecture de texte et les opérations phonologiques deviennent plus efficaces, comme le démontrent les performances améliorées en vitesse de lecture et en vitesse de complétion d'opérations phonologiques (suppression et inversion de phonèmes) chez le groupe ayant fait l'entraînement actif, contrairement au groupe ayant fait l'entraînement placebo pour qui les performances demeurent similaires.

De façon générale, les bénéfices associés à un entraînement avec JVA ou *NeuroTracker* semblent avoir la capacité de se généraliser à des épreuves faisant appel à des fonctions attentionnelles et cognitives qui ne sont pas directement sollicitées par ces entraînements (Bediou et al., 2018; Gori & Facoetti, 2014). Notamment, en lecture, un effet bénéfique de la pratique de JVA s'observe sur la mémoire de travail phonologique et la lecture de pseudo-mots chez des participants neuro-typiques (Antzaka et al., 2017; Oei & Patterson, 2013; Vartanian et al., 2016).

Concernant les bénéfices d'un tel entraînement avec des dyslexiques, les résultats obtenus dans cette étude répondent à trois grandes critiques formulées par Bavelier et al. (2013) en réponse à l'étude originale de Franceschini et al. (2013). D'abord, les effets s'observent chez des dyslexiques d'âges et de langages différents. Puisque des bénéfices semblables ont été obtenus avec des dyslexiques anglophones (Franceschini et al., 2017) et ici des francophones, ceux-ci ne sont pas attribuables spécifiquement à différents facteurs uniques à un langage, notamment, la transparence orthographique. La transparence orthographique

constitue un indice de correspondance entre les phonèmes et les graphèmes d'une langue. L'Italien est une langue dite transparente, où le degré de correspondance est très élevé. Le Français et l'Anglais sont considérés comme des langues opaques, où ce degré est plus faible. Parmi ces protocoles également, des dyslexiques d'âges très variés ont aussi pu tirer profit de ces entraînements puisque les différentes études menées jusqu'ici incluent des jeunes de 8 à 14 ans, mais aussi des adultes (Franceschini et al., 2013; Franceschini et al., 2017; Gori et al., 2015).

Ensuite, un second enjeu relevé concerne la spécificité des exigences fonctionnelles d'un JVA dans les gains observés. Ici, nous utilisons un programme d'entraînement qui n'est pas un JVA, mais qui recoupe les exigences fonctionnelles tenues pour responsables des bénéfices observés suite à leur utilisation (Green & Bavelier, 2006); vitesse élevée, charge optimale, indépendance des stimuli et sollicitation des processus visuels périphériques. Ceci vient donc appuyer la notion voulant que ce soit la présence de ces exigences à l'intérieur d'un entraînement qui est responsable des effets bénéfiques subséquent en lecture. Un questionnement additionnel peut alors être soulevé ici : est-ce qu'un de ces deux entraînements, les JVA ou le *NeuroTracker*, est préférable à l'autre?

Un avantage du *NeuroTracker* sur les JVA est qu'il présente la particularité d'être un entraînement flexible. La vitesse de déplacement des balles s'adapte aux performances de l'utilisateur et le nombre de balles à poursuivre est lui aussi modifiable, ce qui permet d'adapter la charge optimale de la tâche à un niveau individuel et permettre ainsi à tous de s'améliorer rapidement (Faubert & Sidebottom, 2012). Dans un contexte où les bénéfices associés à un entraînement avec JVA ne s'observent que chez ceux s'étant améliorés au fil des rencontres (Franceschini & Bertoni, in press), le *NeuroTracker* apparaît ainsi plus approprié

pour la prise en charge d'une population de tous âges, mais aussi grandement hétérogène à d'autres égards. Un autre avantage que présente le *NeuroTracker* sur les JVA est qu'il apporte plus de bénéfices attentionnels et cognitifs que les JVA dans le cadre d'un entraînement court (Pakdaman Lahiji, 2016). Notamment, l'entraînement appliqué ici durait cinq fois moins longtemps que l'entraînement le plus court utilisé jusqu'à maintenant avec des JVA pour améliorer les habiletés en lecture chez des dyslexiques.

Un dernier enjeu concernant l'étude originale de Franceschini et al. (2013) d'entraînement visait l'interprétation des résultats démontrant des bénéfices en lecture de pseudo-mots. Selon ceux-ci, ce gain serait attribuable à la conscience phonologique, qui bénéficierait également de l'entraînement. Toutefois, comme Bavelier et al. (2013) l'indiquent, il est difficile d'isoler l'apport de la conscience phonologique dans une tâche de lecture de pseudo-mots, puisque ces stimuli sont visuels. La question de la généralisation des effets d'un tel entraînement à la conscience phonologique même demeurerait ainsi à déterminer plus clairement. Ici, nous démontrons que des manipulations phonologiques n'impliquant aucun matériel écrit, et donc, visuel, sont effectuées plus rapidement par les dyslexiques suite à l'entraînement visuo-attentionnel avec le *NeuroTracker*.

En somme, ces résultats, observés conjointement à une augmentation de la vitesse de lecture avec un entraînement utilisant le *NeuroTracker*, constituent un appui considérable à l'hypothèse d'un déploiement spatio-temporel de l'attention altéré chez les dyslexiques (Vidyasagar & Pammer, 2010).

5.1.3. Article 3.

Une épreuve d'évaluation de la vitesse de lecture a été développée, normée, et validée avec une méthode RSVP, où un participant doit lire à voix haute une phrase présentée mot-à-

mot au centre d'un écran d'ordinateur à certaines durées de présentation. Les phrases-test utilisées dans toutes les listes de phrases constituant cette épreuve devaient respecter les critères de l'outil d'évaluation MNRead dont, notamment, que chaque phrase comporte 60 caractères (incluant le point final).

Une expérience de normalisation a permis d'établir des normes de performance chez des adultes universitaires franco-québécois pour les phrases du MNRead et quatre nouvelles listes de phrases appariées tirées du journal La Presse présentées en mode RSVP. Dans cette expérience, le groupe normatif était constitué d'adultes universitaires sans plaintes de lecture.

Pour toutes les listes de phrases, les performances augmentent de façon linéaire avec la durée de présentation, ce qui permet le calcul d'une estimation valide de la vitesse de lecture. Les nouveaux ensembles de phrases (LP1-4) sont pratiquement identiques quant à l'évolution du taux de succès en fonction de la durée de présentation et de la mesure de vitesse de lecture qu'ils permettent d'établir. Quel que soit le critère appliqué, la performance de lecture est supérieure pour les phrases MNRead que LP. Cette différence semble attribuable à la différence de complexité des phrases, à la différente répartition des classes grammaticales ainsi qu'à la durée d'administration des épreuves.

Une seconde expérience visait à évaluer la pertinence clinique de cet outil auprès de groupes de normo-lecteurs et de dyslexiques adultes universitaires appariés en termes d'âge, de fonctionnement intellectuel, de genre et de dominance manuelle. Celui-ci s'avère sensible à la lenteur de la lecture chez les dyslexiques. Cette différence peut s'expliquer en partie puisque la vitesse de lecture mesurée en RSVP est corrélée à l'étendue de l'empan visuel (Pelli et al., 2007). Cet empan représente la quantité d'informations visuelles traitables sans

effet d'encombrement (Legge et al., 2001) et les dyslexiques sont plus sensibles à cet effet que les normo-lecteurs (Moore et al., 2011).

Les données psychométriques obtenues dans les deux expériences suggèrent que l'épreuve de lecture en RSVP est adéquate, tant au niveau de la validité que de la fidélité. La validité de construit et de discrimination ont été mesurées. La mesure de la vitesse de lecture qu'offre l'épreuve corrèle bien avec les résultats au test de l'Alouette-R, qui est une épreuve standard de lecture (Bertrand, Fluss, Billard, & Ziegler, 2010). De plus, l'outil discrimine bien les normo-lecteurs des dyslexiques sur la base des seuils cliniques obtenus pour chacune des durées de présentation. En effet, environ trois participants sur quatre sont catégorisés adéquatement sur la base de leur performance à cette tâche. La fidélité inter-juge et test-retest ont également mesurées. La fidélité inter-juges s'avère également excellente puisque les évaluations des taux de réussite par deux juges indépendants s'avèrent très similaires. Concernant la fidélité test-retest entre les nouvelles listes créées, la performance d'un même individu aux différents échantillons s'avère sensiblement similaire. Ceci nous permet notamment d'utiliser les mêmes normes pour ces quatre listes.

L'outil créé répond à deux grands besoins dans le domaine de l'évaluation de la vitesse de lecture. D'abord, il existe très peu d'outils pour une telle évaluation chez les adultes francophones du Québec (Monetta et al., 2016). Ensuite, l'évaluation des qualités psychométriques dans ce domaine semble rare. Une revue récente indique que la presque totalité des outils d'évaluation du français écrit pour les francophones ne rapporte pas suffisamment d'indices psychométriques (Bouchard et al., 2009). Aucun ne présente d'indice test-retest ou ne possède de version parallèle.

Finalement, la contribution de cet article est davantage méthodologique que théorique. Il n'en sera donc que très peu question dans la section suivante. Somme toute, cet outil présente l'avantage de pouvoir être utilisé dans différents contextes d'évaluation. Il apparaît recommandable d'utiliser les phrases du MNRead dans le cadre d'une évaluation courte et unique des habiletés de lecture. Les listes LP peuvent quant à elles être utilisées dans le contexte d'évaluations répétées des habiletés de lecture dans un court laps de temps, par exemple, dans le cadre d'un entraînement sans nécessité d'utiliser un entraînement placebo.

5.2. Intégration théorique générale

Dans cette thèse, nous nous sommes principalement intéressés à l'implication de l'attention dans différentes opérations associées à la lecture, allant de la reconnaissance de mots jusqu'à la conscience phonologique, afin de mieux cerner de possibles facteurs visuo-attentionnels nous permettant de mieux comprendre les difficultés observées chez les dyslexiques. Ce but général a été scindé selon deux protocoles expérimentaux bien différents. Chacun de ces protocoles nous permet de mettre à l'épreuve deux propositions découlant de l'hypothèse qu'un mécanisme attentionnel impliqué dans le traitement efficace d'une séquence d'éléments alignés à l'horizontale serait touché chez les dyslexiques (Vidyasagar & Pammer, 1999).

La proposition principale de Vidyasagar et Pammer (2010) est que la façon dont l'attention se déploie dans l'espace (attention spatiale) et dans le temps (attention temporelle) sur des alignements horizontaux d'éléments multiples, dont les mots constituent un sous-ensemble, serait moins efficace chez les dyslexiques que les normo-lecteurs. Nous avons mesuré l'efficacité de ce déploiement attentionnel pendant le processus de reconnaissance de

mot chez les dyslexiques en référence à un profil normatif observé chez des lecteurs experts, celui-ci étant considéré comme optimal. Le profil contrasté observé chez les dyslexiques révèle que l'information la plus importante à l'intérieur d'un mot, c.-à-d., sa première lettre, bénéficie de moins de ressources attentionnelles en comparaison aux autres lettres à certains moments suite à la présentation d'un mot. Le détail des conséquences d'un tel déploiement demeure à déterminer, mais celui-ci pourrait jouer un rôle déterminant dans la difficulté qu'ont les dyslexiques à développer une expertise en reconnaissance de mots puisqu'il s'agit d'un préalable à leur reconnaissance (Lien et al., 2010). Subséquemment, l'accès à des représentations de plus haut niveau des mots, notamment orthographiques (Waechter et al., 2011), en serait ralenti. Ce déficit pourrait ainsi nuire grandement à la précision et la vitesse de lecture des dyslexiques, notamment en affectant la conversion des graphèmes (unité de sons à l'écrit) en phonèmes (unité de sons à l'oral). Cette proposition est cohérente avec le fait que les représentations orthographiques des mots se développant dès l'apprentissage de la lecture influencent la façon de traiter l'information phonologique (Castles et al., 2003).

Découlant de ces précédentes implications, une seconde proposition est que les habiletés phonologiques en elles-mêmes, particulièrement la conscience phonologique, seraient également atteintes, en conséquence secondaire du déficit attentionnel (Vidyaagar, 2012). La contribution de processus visuo-attentionnels dans les habiletés de lecture de texte et de certaines opérations phonologiques fut validée à l'aide d'un entraînement court partageant des exigences fonctionnelles similaires aux JVA. Nous démontrons que des manipulations phonologiques sont effectuées plus rapidement à la suite de l'entraînement visuo-attentionnel avec le *NeuroTracker*, dont la tâche n'inclut aucun aspect langagier. Ces manipulations, associées à la conscience phonologique, semblent particulièrement importantes dans

l'apprentissage et la maîtrise de la lecture, notamment pour la conversion graphophonémique (Blomert & Willems, 2010; Castles & Coltheart, 2004). La généralisation des effets contribue également d'améliorer la vitesse de lecture chez des adultes dyslexiques éprouvant des difficultés persistantes en lecture. Un tel type d'entraînement visuo-attentionnel pourrait ainsi s'avérer une avenue potentielle pour l'intervention avec ce trouble d'apprentissage (Gori & Facoetti, 2014).

Ensemble, les résultats de ces deux études constituent un appui à l'hypothèse d'un déploiement anormal de l'attention spatio-temporelle pendant la reconnaissance de mots et aux deux propositions formulées précédemment et qui en découlent (Vidyasagar & Pammer, 2010). Un déploiement attentionnel optimal permettrait de former des représentations orthographiques adéquates et rapidement accessibles des mots et ainsi faciliter également les opérations graphophonémiques, tandis qu'un déploiement sous-optimal ralentirait ce processus. Il s'agirait ultimement d'un facteur important pour assurer une bonne vitesse de lecture. Ce déploiement semble sous-optimal chez les dyslexiques, puisque moins de ressources attentionnelles sont dirigées vers la première lettre d'où mot, qui est pourtant celle ayant la valeur diagnostique la plus élevée pour l'identité du mot, peu importe le nombre de lettres qu'il comporte (Blais et al., 2009). Les répercussions d'une telle anomalie pourraient s'étendre à des composantes de plus haut niveau dans la lecture, notamment, des aspects langagiers tels que la conscience phonologique. De manière congruente, un entraînement strictement visuo-attentionnel a entraîné des effets bénéfiques en conscience phonologique chez les dyslexiques ainsi qu'en vitesse de lecture. Il est intéressant de constater la généralisation des bénéfices associés à un tel entraînement. Rappelons qu'en comparaison, un entraînement strictement langagier chez des prélecteurs améliore la conscience phonologique

sans toutefois entraîner des gains en vitesse de lecture par rapport à un groupe n'ayant reçu aucun entraînement (Fricke et al., 2017).

Un autre élément intéressant se révélant à l'intérieur des deux études est que nous avons intégré tous les dyslexiques y participant à l'intérieur d'un même groupe, sans distinction en fonction des sous-types de déficits. L'hétérogénéité de la population des dyslexiques n'est plus à démontrer (McArthur et al., 2013), et les déficits s'avèrent multifactoriels (Menghini et al., 2010). Toutefois, comme le proposent Vidyasagar et Pammer (2010), les irrégularités du déploiement attentionnel pourraient, dans une certaine mesure, être communes à tous les dyslexiques. De plus, la présence d'adultes ayant une dyslexie dans les deux projets met aussi en lumière le fait que les irrégularités observées semblent présentes depuis longtemps, mais qu'il est tout de même possible d'améliorer les habiletés de lecture de façon tardive.

Un lien direct entre nos études rapportées dans les Articles 1 et 2 semble toutefois impossible à faire. En particulier, nous n'avons pas mesuré l'efficacité du déploiement attentionnel impliqué en reconnaissance de mots écrits avant et après l'entraînement visuo-attentionnel. Toutefois, il est intéressant de souligner qu'à l'intérieur des tâches de conscience phonologique utilisées dans le projet d'entraînement, les opérations langagières demandées impliquaient toutes le premier phonème d'un mot, donc sa première ou ses deux premières lettres. Ces tâches étant sans support visuel, il demeure intéressant de constater que c'est précisément cette région d'un mot qui bénéficierait de moins de ressources attentionnelles chez les dyslexiques n'ayant pas fait d'entraînement à l'article 1. Ces deux articles sont complémentaires au sens où ils touchent à des contextes différents de lecture, soit celle de mot

isolé ou de texte, et à différentes habiletés sous-jacentes à son efficacité, soit la distribution de l'attention dans un cas, et la conscience phonologique dans l'autre.

Les observations présentées dans cette thèse ouvrent ainsi la porte à de nouvelles questions. Par exemple, est-ce que la mesure du déploiement attentionnel pourrait être faite dans un contexte de lecture plus écologique, comme lors de la lecture de phrases? Cette question soulève un enjeu méthodologique particulier. Toutefois, ceci apparaît comme une avenue à considérer sérieusement puisque le stimulus d'intérêt est le texte lui-même, ce qui permettrait d'aborder encore mieux certaines critiques qui ont été formulées à l'égard des théories visuelles de la dyslexie. Si le lien entre un déficit visuo-attentionnel et la dyslexie existe, il faut alors démontrer directement comment celui-ci affecte le processus même de la lecture. Également, est-ce que les bénéfiques entraînés par l'entraînement visuo-attentionnel s'appliquent lorsque le matériel d'évaluation est nouveau? La création du nouvel outil d'évaluation de la vitesse de lecture vise particulièrement la réponse à une telle question. Il serait aussi possible d'utiliser un nouvel ensemble de phrases pour évaluer la consolidation de ces bénéfiques suite à un délai considérable après la fin de l'entraînement. Ultimement, est-ce que les JVA ou le *NeuroTracker* auraient le potentiel d'être utilisés comme outil d'intervention pédagogique, à l'école même? Nous reviendrons sur cette question à la fin de ce chapitre.

5.3. Limites

La présente thèse n'est pas sans limites, cette section en présentera une ou deux par article. Dans le projet de caractérisation du déploiement des ressources attentionnelles en reconnaissance de mots à partir de la tâche de sonde attentionnelle, la comparaison directe des

profils bruts de nos deux groupes de participants est impossible. Le profil obtenu à partir des données brutes (temps de réaction et taux d'erreur) est susceptible d'être affecté par plusieurs facteurs visuels. Ainsi, il n'est pas possible d'illustrer directement comment le profil des normo-lecteurs est optimal, mais simplement de l'utiliser pour illustrer comment les dyslexiques s'en distinguent. Ensuite, dans le projet d'entraînement, la principale lacune constitue la faiblesse des effets révélés, malgré leur significativité. Cette faiblesse s'explique par deux points majeurs. En premier lieu, une vingtaine de participants seulement ont bien voulu s'impliquer dans un tel projet. Le temps disponible et la quantité de rencontres dans un court délai ont rendu le recrutement particulièrement difficile, d'autant plus que le nombre d'étudiants dyslexiques à l'université est de toute évidence assez restreint. En deuxième lieu, cette faiblesse s'explique aussi par la nécessité d'utiliser un protocole contrebalancé en raison de l'absence d'épreuves de lecture pouvant être utilisées à plusieurs reprises de manière valide auprès d'un échantillon d'adultes francophones. Une autre limite de ce projet est que le maintien des acquis n'a pas été vérifié. Finalement, la limite principale de la normalisation et de la validation de notre outil de lecture consiste en une extrapolation des données obtenues afin d'obtenir une mesure de la vitesse de lecture. Contrairement à d'autres paradigmes auparavant développés, où l'utilisation de durées de présentation était ajustée spécifiquement pour chaque participant de manière à placer un seuil (normalement, 80 %) à l'intérieur de l'intervalle utilisé. Au contraire, dans la présente étude, les durées de présentation étaient fixes. Ceci présente cependant un avantage sur le plan de la faisabilité (d'où le choix que nous avons fait) en réduisant le temps d'administration et les manipulations nécessaires pendant l'épreuve.

5.4. Conclusions

En somme, la dyslexie est un trouble persistant de l'apprentissage et de la maîtrise du langage écrit. De nombreux déficits sont observés chez les individus qui en sont atteints, sans qu'un de ceux-ci, qu'il soit langagier, visuel ou attentionnel, ne puisse jusqu'ici être identifié comme le déficit primaire duquel ce trouble découle. La contribution de l'attention à la lecture semble nécessaire et survient à un moment précoce dans l'acquisition d'information visuelle, quoique ces processus demeurent sous-spécifiés. De plus, puisque la contribution attentionnelle survient à un moment précoce, celle-ci pourrait également avoir un impact dans différents aspects de plus haut niveau associés à la lecture, notamment les opérations phonologiques. Il appert que certains processus visuo-attentionnel sous-tendent l'expertise en lecture et que ceux-ci pourraient présenter des anomalies chez les dyslexiques. Un déploiement attentionnel sous-optimal en reconnaissance de mots familiers pourrait expliquer certaines difficultés persistantes dans ce processus, tel que démontré avec un échantillon d'adultes dyslexiques. Chez cette même population, un entraînement visuo-attentionnel court entraîne des bénéfices en vitesse de lecture et en traitement phonologique, ce qui révèle en partie la contribution importante de l'attention dans différents aspects liés à la lecture. Ceci constitue un appui intéressant à l'hypothèse d'un déficit visuo-attentionnel impliqué dans la dyslexie, et que les répercussions de ce déficit peuvent s'étendre aux habiletés associées à la conscience phonologique.

En conclusion, la question de la lecture et de son apprentissage constitue un enjeu qui déborde sa simple compréhension théorique. Dans une société où l'éducation se veut accessible à tous, la réussite académique, professionnelle et personnelle sera teintée de manière significative par nos habiletés dans ce domaine. À cette fin, une perspective

responsable vis-à-vis cet enjeu est de chercher à offrir à tous les moyens de maximiser cet apprentissage le plus tôt possible et de soutenir tout au long de leur parcours académique ceux qui présenteraient des difficultés persistantes. Le monde de la pédagogie et de l'orthopédagogie est présentement bousculé par les avancées technologiques. Celles-ci sont aujourd'hui au cœur des réformes du cursus scolaire et leur intégration est devenue inévitable. Certains de ces outils pourraient avoir pour objectif de faciliter l'apprentissage de la lecture pour tous, mais aussi pour l'intervention auprès des élèves en difficulté, dont les dyslexiques. De manière pertinente, un logiciel éducatif visant à entraîner les aspects visuo-attentionnels impliqués en lecture a récemment été développé (Meyer, 2019). Toutefois, il serait également envisageable qu'une plateforme d'entraînement comme le *NeuroTracker* puisse devenir un outil accessible pour les orthopédagogues. En effet, aux bénéfices observés en lecture chez les dyslexiques dans cette thèse, s'ajoutent aussi des bénéfices attentionnels chez des enfants ayant différents troubles neurodéveloppementaux (Tullo et al., 2018). Lorsque la sévérité des difficultés présentes chez un élève exige une prise en charge hors de la classe par un orthopédagogue (MELS, 2012b), un tel entraînement pourrait facilement être inclus dans un protocole d'intervention plus complet. L'adaptabilité de ce programme rend possible une application avec les jeunes de tout âge et présente aussi le potentiel de garder un niveau de difficulté optimal à très long terme tout en maintenant des séances d'entraînement ne durant que quelques minutes. Une telle prise en charge de courte durée permettrait ainsi d'éviter des absences prolongées en classe ou de rallonger les journées avant ou après les heures de classe. Ainsi, bien que les résultats de cette thèse découlent d'adultes dyslexiques, leurs implications pourraient servir le domaine de la pédagogie en général et celui plus récent des outils d'intervention technologiques, et ce, pour tous les niveaux scolaires et académiques.

Bibliographie générale

- Académie de Sport de Montréal (2018). Concentration compétitive sport électronique.
Consulté le 2 mai 2019, depuis <https://www.mtlesportsacademy.com/ccse-ecole-secondaire-edouard-montpetit/>
- Ahmed, Y., Wagner, R. K., & Kantor, P. T. (2012). How visual word recognition is affected by developmental dyslexia. In J. S. Adelman (Ed.), *Visual Word Recognition Volume 2: Meaning and Context, Individuals and Development*. 196-215: Psychology Press.
- Alexander-Passe, N. (2015). The dyslexia experience: Difference, disclosure, labelling, discrimination and stigma. *Asia Pacific Journal of Developmental Differences*, 2, 202-233. doi:10.3850/S2345734115000290
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A. M., Willis, C., Eaglen, R., & Lamont, E. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23, 417-426. doi:10.1348/026151005X26804
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th ed.). Washington, DC: Auteur.
- Anderson, C. A., & Bushman, B. J. (2001). Effects of violent video games on aggressive behavior, aggressive cognition, aggressive affect, physiological arousal, and prosocial behavior: A meta-analytic review of the scientific literature. *Psychological Science*, 12, 353-359. doi:10.1111/1467-9280.00366
- Anderson, L. W. (2005). The No Child Left Behind Act and the legacy of federal aid to education. *Education Policy Analysis Archives*, 13, 1-23.
doi:10.14507/epaa.v13n24.2005
- Anderson, P. L., & Meier-Hedde, R. (2001). Early case reports of dyslexia in the United States and Europe. *Journal of Learning Disabilities*, 34, 9-21.
doi:10.1177/002221940103400102
- Anderson, R. C., Wilson, P. T., & Fielding, L. G. (1988). Growth in reading and how children spend their time outside of school. *Reading Research Quarterly*, 23, 285-303.
doi:10.1598/RRQ.23.3.2

- Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., & Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: the role of visual attention span. *Scientific Reports*, 7, 1-10. doi:10.1038/s41598-017-15119-9
- Aschenbrenner, A. J., Balota, D. A., Weigand, A. J., Scaltritti, M., & Besner, D. (2017). The first letter position effect in visual word recognition: The role of spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43, 700-718. doi:10.1037/xhp0000342
- Association des Orthopédagogues du Québec (2013). *Définition de l'orthopédagogie*. Consulté le 30 avril 2019, depuis <https://www.ladoq.ca/orthopedagogue/>
- Baker, L., & Wigfield, A. (1999). Dimensions of children's motivation for reading and their relations to reading activity and reading achievement. *Reading Research Quarterly*, 34, 452-477. doi:10.1598/RRQ.34.4.4
- Barrouillet, P., Billard, C., de Agostini, M., Démonet, J.-F., Fayol, M., Gombert, J.-E., . . . Valdois, S. (2007). *Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie: Bilan des Données Scientifiques*. Paris: Inserm.
- Bavelier, D., Green, C. S., & Seidenberg, M. S. (2013). Cognitive development: gaming your way out of dyslexia? *Current Biology*, 23, R282-283. doi:10.1016/j.cub.2013.02.051
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*, 144, 77-110. doi:10.1037/bul0000130
- Benedetto, S., Carbone, A., Pedrotti, M., Le Fevre, K., Bey, L. A. Y., & Baccino, T. (2015). Rapid serial visual presentation in reading: The case of Spritz. *Computers in Human Behavior*, 45, 352-358. doi:10.1016/j.chb.2014.12.043
- Bertrand, D., Fluss, J., Billard, C., & Ziegler, J. C. (2010). Efficacité, sensibilité, spécificité: comparaison de différents tests de lecture. *L'Année psychologique*, 110, 299-320. doi:10.4074/S000350331000206X
- Besner, D., Risko, E. F., Stolz, J. A., White, D., Reynolds, M., O'Malley, S., & Robidoux, S. (2016). Varieties of attention: Their roles in visual word identification. *Current Directions in Psychological Science*, 25, 162-168. doi:10.1177/0963721416639351

- Bishop, D. V. M. (2015). The interface between genetics and psychology: lessons from developmental dyslexia. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282: 20143139. doi:10.1098/rspb.2014.3139
- Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2003). Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention. *Science*, 299, 81-86. doi:10.1126/science.1077395
- Blais, C., Fiset, D., Arguin, M., Jolicoeur, P., Bub, D., & Gosselin, F. (2009). Reading between eye saccades. *PLoS One*, 4, e6448. doi:10.1371/journal.pone.0006448
- Blomert, L., & Willems, G. (2010). Is there a causal link from a phonological awareness deficit to reading failure in children at familial risk for dyslexia? *Dyslexia*, 16, 300-317. doi:10.1002/dys.405
- Boden, C., & Giaschi, D. (2007). M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychological Bulletin*, 133, 346-366. doi:10.1037/0033-2909.133.2.346
- Bosse, M.-L., Kandel, S., Prado, C., & Valdois, S. (2014). Does visual attention span relate to eye movements during reading and copying? *International Journal of Behavioral Development*, 38, 81-85. doi:10.1177/0165025413509046
- Bosse, M.-L., Tainturier, M., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104, 198-230. doi:10.1016/j.cognition.2006.05.009
- Bouchard, M.-E. G., Fitzpatrick, E. M., & Olds, J. (2009). Analyse psychométrique d'outils d'évaluation utilisés auprès des enfants francophones. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology*, 33(3), 129-139.
- Brown, T. L., Gore, C. L., & Carr, T. H. (2002). Visual attention and word recognition in Stroop color naming: Is word recognition "automatic?". *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 220-240. doi:10.1037/0096-3445.131.2.220
- Buchholz, J., & McKone, E. (2004). Adults with dyslexia show deficits on spatial frequency doubling and visual attention tasks. *Dyslexia*, 10, 24-43. doi:10.1002/dys.263
- Bus, A. G., & Van IJzendoorn, M. H. (1999). Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology*, 91, 403-414. doi:10.1037//0022-0663.91.3.403

- Carnagey, N. L., & Anderson, C. A. (2005). The effects of reward and punishment in violent video games on aggressive affect, cognition, and behavior. *Psychological Science, 16*, 882-889. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01632.x
- Carroll, J. M., & Iles, J. E. (2006). An assessment of anxiety levels in dyslexic students in higher education. *British Journal of Educational Psychology, 76*, 651-662. doi:10.1348/000709905X66233
- Carroll, J. M., Maughan, B., Goodman, R., & Meltzer, H. (2005). Literacy difficulties and psychiatric disorders: Evidence for comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*, 524-532. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00366.x
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition, 47*, 149-180. doi:10.1016/0010-0277(93)90003-E
- Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition, 91*, 77-111. doi:10.1016/S0010-0277(03)00164-1
- Castles, A., & Friedmann, N. (2014). Developmental dyslexia and the phonological deficit hypothesis. *Mind & Language, 29*, 270-285. doi:10.1111/mila.12050
- Castles, A., Holmes, V., Neath, J., & Kinoshita, S. (2003). How does orthographic knowledge influence performance on phonological awareness tasks? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A, 56*, 445-467. doi:10.1080/02724980244000486
- Castles, A., Wilson, K., & Coltheart, M. (2011). Early orthographic influences on phonemic awareness tasks: Evidence from a preschool training study. *Journal of Experimental Child Psychology, 108*, 203-210. doi:10.1016/j.jecp.2010.07.006
- Chang, C. H., Pallier, C., Wu, D. H., Nakamura, K., Jobert, A., Kuo, W.-J., & Dehaene, S. (2015). Adaptation of the human visual system to the statistics of letters and line configurations. *Neuroimage, 120*, 428-440. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.07.028
- Clark, J. J., & O'Regan, J. K. (1999). Word ambiguity and the optimal viewing position in reading. *Vision Research, 39*, 843-857. doi:10.1016/S0042-6989(98)00203-X
- Cohen, J. E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Training visual attention with video games: Not all games are created equal. In H. O'Neil & P. R. (Eds.), *Computer Games and Team and Individual Learning* (pp. 205-227). Amsterdam: Elsevier.

- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage*, *22*, 466-476.
doi:10.1016/j.neuroimage.2003.12.049
- Cohen, L., Dehaene, S., Vinckier, F., Jobert, A., & Montavont, A. (2008). Reading normal and degraded words: contribution of the dorsal and ventral visual pathways. *Neuroimage*, *40*, 353-366. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.11.036
- Cole, G. G., Gellatly, A., & Blurton, A. (2001). Effect of object onset on the distribution of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 1356-1368. doi:10.1037//0096-1523.27.6.1356
- Cole, G. G., Skarratt, P. A., & Gellatly, A. R. H. (2007). Object and spatial representations in the corner enhancement effect. *Perception & Psychophysics*, *69*, 400-412.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*, 204-256. doi:10.1037//0033-295X.108.1.204
- Conseil des statistiques canadiennes de l'éducation (2009). *Facteurs clés de réussite en littératie parmi les population d'âge scolaire. Une recension de la documentation*. Toronto: Conseil des ministres de l'éducation (Canada).
- Daniel, S. S., Walsh, A. K., Goldston, D. B., Arnold, E. M., Reboussin, B. A., & Wood, F. B. (2006). Suicidality, school dropout, and reading problems among adolescents. *Journal of Learning Disabilities*, *39*, 507-514. doi:10.1177/00222194060390060301
- Dehaene-Lambertz, G. (1998). Comment la langue devient-elle maternelle? Nouveaux aperçus sur les premières étapes de l'acquisition du langage. *Médecine Thérapeutique/Pédiatrie*, *1*, 73-78.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, *56*, 384-398.
doi:10.1016/j.neuron.2007.10.004
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Nunes Filho, G., Jobert, A., . . . Cohen, L. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, *330*, 1359-1364. doi:10.1126/science.1194140
- Ducrot, S., Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte, J., & Billard, C. (2003). The optimal viewing position effect in beginning and dyslexic readers. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, *1*, 1-10.

- Elbro, C., & Jensen, M. N. (2005). Quality of phonological representations, verbal learning, and phoneme awareness in dyslexic and normal readers. *Scandinavian Journal of Psychology, 46*, 375-384. doi:10.1111/j.1467-9450.2005.00468.x
- Facoetti, A., Turatto, M., Lorusso, M. L., & Mascetti, G. G. (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Experimental Brain Research, 138*, 46-53. doi:10.1007/s002210100700
- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P., . . . Mascetti, G. G. (2006). The relationship between visuo-spatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology, 23*, 841-855. doi:10.1080/02643290500483090
- Farid, M., & Grainger, J. (1996). How initial fixation position influences visual word recognition: A comparison of French and Arabic. *Brain and Language, 53*, 351-368. doi:10.1006/brln.1996.0053
- Faubert, J., & Sidebottom, L. (2012). Perceptual-cognitive training of athletes. *Journal of Clinical Sport Psychology, 6*, 85-102. doi:10.1123/jcsp.6.1.85
- Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1999). Performance of dyslexic children on cerebellar and cognitive tests. *Journal of Motor Behavior, 31*, 68-78. doi:10.1080/00222899909601892
- Ferguson, C. J. (2007). Evidence for publication bias in video game violence effects literature: A meta-analytic review. *Aggression and Violent Behavior, 12*, 470-482. doi:10.1016/j.avb.2007.01.001
- Fine, E. M., & Peli, E. (1998). Benefits of rapid serial visual presentation (RSVP) over scrolled text vary with letter size. *Optometry and Vision Science, 75*(3), 191-196.
- Franceschini, S., & Bertoni, S. (in press). Improving Action Video Games Abilities Increases the Phonological Decoding Speed and Phonological Short-Term Memory in Children with Developmental Dyslexia. *Neuropsychologia*. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.10.023
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current Biology, 22*, 814-819. doi:10.1016/j.cub.2012.03.013

- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, *23*, 462-466. doi:10.1016/j.cub.2013.01.044
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., . . . Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, *7*, 1-12. doi:10.1038/s41598-017-05826-8
- Fricke, S., Burgoyne, K., Bowyer-Crane, C., Kyriacou, M., Zosimidou, A., Maxwell, L., . . . Hulme, C. (2017). The efficacy of early language intervention in mainstream school settings: a randomized controlled trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *58*, 1141-1151.
- Gannon, E., He, J., Gao, X., & Chaparro, B. (2016). *RSVP Reading on a Smart Watch*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Geisler, W. S. (2011). Contributions of ideal observer theory to vision research. *Vision Research*, *51*, 771-781. doi:10.1016/j.visres.2010.09.027
- Geisler, W., & Murray, R. (2003). Cognitive neuroscience: Practice doesn't make perfect. *Nature*, *423*, 696-697. doi:10.1038/423696a
- Gerber, P. J., Ginsberg, R., & Reiff, H. B. (1992). Identifying alterable patterns in employment success for highly successful adults with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *25*, 475-487. doi:10.1177/002221949202500802
- Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Research*, *99*, 78-87. doi:10.1016/j.visres.2013.11.011
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2015). Multiple causal links between magnocellular–dorsal pathway deficit and developmental dyslexia. *Cerebral Cortex*, *26*, 1-14. doi:10.1093/cercor/bhv206
- Goswami, U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*, 3-10. doi:doi:10.1016/j.tics.2010.10.001
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*, 43-54. doi:10.1038/nrn3836

- Grainger, J., Dufau, S., & Ziegler, J. C. (2016). A vision of reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20, 171-179. doi:10.1016/j.tics.2015.12.008
- Granic, I., Lobel, A., & Engels, R. C. (2014). The benefits of playing video games. *American Psychologist*, 69, 66-78. doi:10.1037/a0034857
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423, 534-537. doi:10.1038/nature01647
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 1465-1478. doi:10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Green, C. S., Li, R., & Bavelier, D. (2010). Perceptual learning during action video game playing. *Topics in Cognitive Science*, 2, 202-216. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01054.x
- Grezes, J., Fonlupt, P., Bertenthal, B., Delon-Martin, C., Segebarth, C., & Decety, J. (2001). Does perception of biological motion rely on specific brain regions? *Neuroimage*, 13, 775-785. doi:10.1006/nimg.2000.0740
- Hallahan, D. P., & Mercer, C. D. (2001). *Learning Disabilities: Historical Perspectives*. Paper presented at the OSEP's LD Summit conference, Washington, DC.
- Hansen, J., & Bowey, J. A. (1994). Phonological analysis skills, verbal working memory, and reading ability in second-grade children. *Child Development*, 65, 938-950. doi:10.2307/1131429
- Hari, R., & Renvall, H. (2001). Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 525-532. doi:10.1016/S1364-6613(00)01801-5
- Hari, R., Valta, M., & Uutela, K. (1999). Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*, 271, 202-204. doi:10.1016/S0304-3940(99)00547-9
- Harland, S., Legge, G. E., & Luebker, A. (1998). Psychophysics of reading: XVII. Low-vision performance with four types of electronically magnified text. *Optometry & Vision Science*, 75, 183-190. doi:10.1097/00006324-199803000-00023
- Hawelka, S., Huber, C., & Wimmer, H. (2006). Impaired visual processing of letter and digit strings in adult dyslexic readers. *Vision Research*, 46, 718-723. doi:10.1016/j.visres.2005.09.017

- Hawelka, S., & Wimmer, H. (2005). Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Research, 45*, 855-863. doi:10.1016/j.visres.2004.10.007
- He, Y., & Legge, G. E. (2017). Linking crowding, visual span, and reading. *Journal of Vision, 17*, 1-15. doi:10.1167/17.11.11
- Herdman, C. M. (1992). Attentional resource demands of visual word recognition in naming and lexical decisions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18*, 460-470. doi:10.1037/0096-1523.18.2.460
- Huntington, D. D., & Bender, W. N. (1993). Adolescents with learning disabilities at risk? Emotional well-being, depression, suicide. *Journal of Learning Disabilities, 26*, 159-166. doi:10.1177/002221949302600303
- Jenkins, J. R., Stein, M. L., & Wysocki, K. (1984). Learning vocabulary through reading. *American Educational Research Journal, 21*, 767-787. doi:10.3102/00028312021004767
- Kelly, D. (1981). Nonlinear visual responses to flickering sinusoidal gratings. *Journal of the Optical Society of America, 71*, 1051-1055. doi:10.1364/JOSA.71.001051
- Kwon, M., Legge, G. E., & Dubbels, B. R. (2007). Developmental changes in the visual span for reading. *Vision Research, 47*, 2889-2900. doi:10.1016/j.visres.2007.08.002
- Laasonen, M., Salomaa, J., Cousineau, D., Leppämäki, S., Tani, P., Hokkanen, L., & Dye, M. (2012). Project DyAdd: visual attention in adult dyslexia and ADHD. *Brain and Cognition, 80*, 311-327. doi:10.1016/j.bandc.2012.08.002
- Lalkhen, A. G., & McCluskey, A. (2008). Clinical tests: sensitivity and specificity. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain, 8*, 221-223. doi:10.1093/bjaceaccp/mkn041
- Lallier, M., Tainturier, M. J., Dering, B., Donnadieu, S., Valdois, S., & Thierry, G. (2010). Behavioral and ERP evidence for amodal sluggish attentional shifting in developmental dyslexia. *Neuropsychologia, 48*, 4125-4135. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.027
- Lassus-Sangosse, D., N'guyen-Morel, M.-A., & Valdois, S. (2008). Sequential or simultaneous visual processing deficit in developmental dyslexia? *Vision Research, 48*, 979-988. doi:10.1016/j.visres.2008.01.025

- Laycock, R., & Crewther, S. G. (2008). Towards an understanding of the role of the 'magnocellular advantage' in fluent reading. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32, 1494-1506. doi:10.1016/j.neubiorev.2008.06.002
- Legault, I., & Faubert, J. (2012). Perceptual-cognitive training improves biological motion perception: evidence for transferability of training in healthy aging. *Neuroreport*, 23, 469-473. doi:10.1097/WNR.0b013e328353e48a
- Legge, G. E., Cheung, S.-H., Yu, D., Chung, S. T., Lee, H.-W., & Owens, D. P. (2007). The case for the visual span as a sensory bottleneck in reading. *Journal of Vision*, 7, 1-15. doi:10.1167/7.2.9
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. (2001). Psychophysics of reading: XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research*, 41, 725-743. doi:10.1016/S0042-6989(00)00295-9
- Legge, G. E., Ross, J. A., Luebker, A., & Lamay, J. M. (1989). Psychophysics of reading: VIII. The Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optometry & Vision Science*, 66, 843-853. doi:10.1097/00006324-198912000-00008
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., Kouchi, S., & Lachter, J. (2010). Even frequent and expected words are not identified without spatial attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 973-988. doi:10.3758/APP.72.4.973
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468.
- Lobier, M., Zoubrinetzky, R., & Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in dyslexia is visual and not verbal. *Cortex*, 48, 768-773. doi:10.1016/j.cortex.2011.09.003
- Lorusso, M., Facoetti, A., Pesenti, S., Cattaneo, C., Molteni, M., & Geiger, G. (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research*, 44, 2413-2424. doi:10.1016/j.visres.2004.05.001
- Łuniewska, M., Chyl, K., Dębska, A., Kacprzak, A., Plewko, J., Szczerbiński, M., . . . Jednoróg, K. (2018). Neither action nor phonological video games make dyslexic children read better. *Scientific Reports*, 8, 1-11. doi:10.1038/s41598-017-18878-7

- Manis, F. R., Seidenberg, M. S., Doi, L. M., McBride-Chang, C., & Petersen, A. (1996). On the bases of two subtypes of development dyslexia. *Cognition*, *58*, 157-195.
doi:10.1016/0010-0277(95)00679-6
- Mansfield, J., Ahn, S., Legge, G. E., & Luebker, A. (1993). A new reading-acuity chart for normal and low vision. *Ophthalmic and Visual Optics/Noninvasive Assessment of the Visual System Technical Digest*, *3*, 232-235.
- Maughan, B., Rowe, R., Loeber, R., & Stouthamer-Loeber, M. (2003). Reading problems and depressed mood. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *31*, 219-229.
doi:10.1023/A:1022534527021
- McArthur, G., Kohonen, S., Larsen, L., Jones, K., Anandakumar, T., Banales, E., & Castles, A. (2013). Getting to grips with the heterogeneity of developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, *30*, 1-24. doi:10.1080/02643294.2013.784192
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 293-299.
doi:10.1016/S1364-6613(03)00134-7
- Melby-Lervåg, M., Lyster, S.-A. H., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: a meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, *138*, 322.
doi:10.1037/a0026744
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., . . . Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia*, *48*, 863-872.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.003
- Meyer, S. (2019). *Conception et évaluation d'Evasion, un logiciel éducatif d'entraînement des capacités d'attention visuelle impliquées en lecture*. (Doctorat), Université Grenoble Alpes, Ingénierie pour la santé la Cognition et l'Environnement. tel-02089447.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2005). *Apprendre à lire, Action concertée pour le soutien à la recherche en lecture*. Consulté le 2 mai 2019, depuis http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/PSG/recherche_evaluation/ApprendreALire_f.pdf.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2012a). *Référentiel d'intervention en lecture pour les élèves de 10 à 15 ans (Section 1), Soutien aux élèves pour le développement*

de la compétence à lire. Consulté le 2 mai 2019, depuis

http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/adaptation-scolaire-services-comp/Referentiel-Lecture_section1.pdf.

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2012b). *Référentiel d'intervention en lecture pour les élèves de 10 à 15 ans (Section 2), Accompagnement des intervenants scolaires et des gestionnaires*. Consulté le 2 mai 2019, depuis

http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/dpse/adaptation_serv_compl/Referentiel-Lecture_section2.pdf.

Monetta, L., Desmarais, C., MacLeod, A. A., St-Pierre, M.-C., Bourgeois-Marcotte, J., & Perron, M. (2016). Recension des outils franco-québécois pour l'évaluation des troubles du langage et de la parole. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology & Audiology, 40*(2), 165-175.

Moore, E., Cassim, R., & Talcott, J. B. (2011). Adults with dyslexia exhibit large effects of crowding, increased dependence on cues, and detrimental effects of distractors in visual search tasks. *Neuropsychologia, 49*, 3881-3890.

doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.10.005

Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition, 7*, 323-331. doi:10.1016/0010-0277(79)90020-9

Mugnaini, D., Lassi, S., La Malfa, G., & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics, 5*, 255-264. doi:10.1007/s12519-009-0049-7

Nandakumar, K., & Leat, S. J. (2008). Dyslexia: a review of two theories. *Clinical & Experimental Optometry, 91*, 333-340. doi:10.1111/j.1444-0938.2008.00277.x

New, B., Ferrand, L., Pallier, C., & Brysbaert, M. (2006). Reexamining the word length effect in visual word recognition: New evidence from the English Lexicon Project.

Psychonomic Bulletin & Review, 13, 45-52. doi:10.3758/BF03193811

Newby, R. F., Recht, D. R., & Caldwell, J. (1993). Validation of a clinical method for the diagnosis of two subtypes of dyslexia. *Journal of Psychoeducational Assessment, 11*, 72-83. doi:10.1177/073428299301100109

Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2013). Enhancing cognition with video games: a multiple game training study. *PLoS One, 8*, e58546. doi:10.1371/journal.pone.0058546

- Olofsson, Å., Taube, K., & Ahl, A. (2015). Academic achievement of university students with dyslexia. *Dyslexia, 21*, 338-349. doi:10.1002/dys.1517
- Orton, S. T. (1925). Word-blindness in school children. *Archives of Neurology & Psychiatry, 14*, 581-615.
- Pakdaman Lahiji, R. (2016). *Assessing the transfer of video game play versus attention training using 3D-Multiple Object Tracking*. (Maîtrise), Université de Montréal, Faculté des études supérieures.
- Pammer, K., Hansen, P., Holliday, I., & Cornelissen, P. (2006). Attentional shifting and the role of the dorsal pathway in visual word recognition. *Neuropsychologia, 44*, 2926-2936. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.028
- Pammer, K., Lavis, R., Cooper, C., Hansen, P. C., & Cornelissen, P. L. (2005). Symbol-string sensitivity and adult performance in lexical decision. *Brain and Language, 94*, 278-296. doi:10.1016/j.bandl.2005.01.004
- Pammer, K., Lavis, R., Hansen, P., & Cornelissen, P. L. (2004). Symbol-string sensitivity and children's reading. *Brain and Language, 89*, 601-610. doi:10.1016/j.bandl.2004.01.009
- Pammer, K., & Wheatley, C. (2001). Isolating the M (y)-cell response in dyslexia using the spatial frequency doubling illusion. *Vision Research, 41*, 2139-2147. doi:10.1016/S0042-6989(01)00092-X
- Parsons, B., Magill, T., Boucher, A., Zhang, M., Zogbo, K., Bérubé, S., . . . Faubert, J. (2014). Enhancing cognitive function using perceptual-cognitive training. *Clinical EEG and Neuroscience, 47*, 1-11. doi:10.1177/1550059414563746
- Paulesu, E., Démonet, J.-F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., . . . Frith, C. D. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science, 291*, 2165-2167. doi:10.1126/science.1057179
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B., & Moore-Page, D. C. (2006). Feature detection and letter identification. *Vision Research, 46*, 4646-4674. doi:10.1016/j.visres.2006.04.023
- Pelli, D. G., & Tillman, K. A. (2008). The uncrowded window of object recognition. *Nature Neuroscience, 11*, 1129-1135. doi:10.1038/nn.2187
- Pelli, D. G., Tillman, K. A., Freeman, J., Su, M., Berger, T. D., & Majaj, N. J. (2007). Crowding and eccentricity determine reading rate. *Journal of Vision, 7*, 1-36. doi:10.1167/7.2.20

- Perfetti, C. A., & Zhang, S. (1995). The universal word identification reflex. In D. L. Medin (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 33, pp. 159-189). San Diego, CA, US: Academic Press.
- Perry, C., Ziegler, J. C., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: the CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review*, *114*, 273-315. doi:10.1037/0033-295X.114.2.273
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, *379*, 1997-2007. doi:10.1016/s0140-6736(12)60198-6
- Peterson, R. L., Pennington, B. F., & Olson, R. K. (2013). Subtypes of developmental dyslexia: Testing the predictions of the dual-route and connectionist frameworks. *Cognition*, *126*, 20-38. doi:10.1016/j.cognition.2012.08.007
- Piasta, S. B., & Wagner, R. K. (2008). Dyslexia: Identification and Classification. In E. L. Grigorenko & A. J. Naples (Eds.), *Single-word Reading: Behavioral and Biological Perspectives* (pp. 309-326): Taylor & Francis.
- Primativo, S., Spinelli, D., Zoccolotti, P., De Luca, M., & Martelli, M. (2016). Perceptual and cognitive factors imposing “speed limits” on reading rate: a study with the rapid serial visual presentation. *PLoS One*, *11*, e0153786. doi:10.1371/journal.pone.0153786
- Pullen, P. C. (2016). Historical and current perspectives on learning disabilities in the United States. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, *14*, 25-37.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, *3*, 179-197. doi:10.1163/156856888X00122
- Qian, Y., & Bi, H.-Y. (2014). The visual magnocellular deficit in Chinese-speaking children with developmental dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1-7. doi:10.3389/fpsyg.2014.00692
- Ram, S. (2018). “Word Blindness”(Dyslexia): A Bibliometric Analysis of Global Research in Last Fifty Years. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, *38*, 286-294. doi:10.14429/djlit.38.4.12791
- Ramus, F., & Ahissar, M. (2012). Developmental dyslexia: The difficulties of interpreting poor performance, and the importance of normal performance. *Cognitive Neuropsychology*, *29*, 104-122. doi:10.1080/02643294.2012.677420

- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, *126*, 841-865. doi:10.1093/brain/awg076
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 849-860. doi:10.1037//0096-1523.18.3.849
- Robidoux, S., & Besner, D. (2015). Conflict resolved: On the role of spatial attention in reading and color naming tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*, 1709-1716. doi:10.3758/s13423-015-0830-7
- Rosazza, C., Cai, Q., Minati, L., Paulignan, Y., & Nazir, T. A. (2009). Early involvement of dorsal and ventral pathways in visual word recognition: an ERP study. *Brain Research*, *1272*, 32-44. doi:10.1016/j.brainres.2009.03.033
- Roser, M., & Ortiz-Ospina, E. (2018). *Literacy*. Consulté le 12 décembre 2018, depuis <http://www.OurWorldInData.org/literacy>
- Ruffino, M., Gori, S., Boccardi, D., Molteni, M., & Facoetti, A. (2014). Spatial and temporal attention in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 1-13. doi:10.3389/fnhum.2014.00331
- Rutter, M., Caspi, A., Fergusson, D., Horwood, L. J., Goodman, R., Maughan, B., . . . Carroll, J. (2004). Sex differences in developmental reading disability: new findings from 4 epidemiological studies. *Journal of American Medicine Association*, *291*, 2007-2012. doi:10.1001/jama.291.16.2007
- Saalmann, Y. B., Pigarev, I. N., & Vidyasagar, T. R. (2007). Neural mechanisms of visual attention: how top-down feedback highlights relevant locations. *Science*, *316*, 1612-1615. doi:10.1126/science.1139140
- Scaltritti, M., & Balota, D. A. (2013). Are all letters really processed equally and in parallel? Further evidence of a robust first letter advantage. *Acta Psychologica*, *144*, 397-410. doi:10.1016/j.actpsy.2013.07.018
- Scaltritti, M., Dufau, S., & Grainger, J. (2018). Stimulus orientation and the first-letter advantage. *Acta Psychologica*, *183*, 37-42. doi:10.1016/j.actpsy.2017.12.009

- Schatschneider, C., Francis, D. J., Foorman, B. R., Fletcher, J. M., & Mehta, P. (1999). The dimensionality of phonological awareness: an application of item response theory. *Journal of Educational Psychology, 91*, 439-449. doi:10.1037/0022-0663.91.3.439
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review, 96*, 523-568. doi:10.1037/0033-295X.96.4.523
- Senécal, M.-J. (2001). *Version française du Minnesota Low Vision Reading Test*. (Maîtrise), Université de Montréal, Faculté des études supérieures.
- Sherry, J. L. (2001). The effects of violent video games on aggression: A meta-analysis. *Human Communication Research, 27*, 409-431. doi:10.1093/hcr/27.3.409
- Shih, S.-I., & Sperling, G. (2002). Measuring and modeling the trajectory of visual spatial attention. *Psychological Review, 109*, 260-305. doi:10.1037//0033-295X.109.2.260
- Simpson, G. B., Kellas, G., & Ferraro, F. R. (1999). Age and the allocation of attention across the time course of word recognition. *The Journal of General Psychology, 126*, 119-133. doi:10.1080/00221309909595356
- Skoyles, J., & Skottun, B. C. (2011). *A few remarks on the relationship between visuo-spatial attention deficits and dyslexia*. Unpublished.
- Sperling, A. J., Lu, Z.-L., Manis, F. R., & Seidenberg, M. S. (2006). Motion-perception deficits and reading impairment: it's the noise, not the motion. *Psychological Science, 17*, 1047-1053. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01825.x
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Lacert, P., & Serniclaes, W. (2000). On subtypes of developmental dyslexia: evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 54*, 87-104. doi:10.1037/h0087332
- Stanovich, K. E. (1988). Explaining the differences between the dyslexic and the garden-variety poor reader: The phonological-core variable-difference model. *Journal of Learning Disabilities, 21*, 590-604. doi:10.1177/002221948802101003
- Stanovich, K. E. (2009). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Journal of Education, 189*, 23-55. doi:10.1177/0022057409189001-204

- Stanovich, K. E., Siegel, L. S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology, 89*, 114-127. doi:10.1037/0022-0663.89.1.114
- Stein, J. (2012). Visual Contributions to Reading Difficulties: The Magnocellular Theory. In J. Stein & Z. Kapoula (Eds.), *Visual Aspects of Dyslexia* (pp. 171-197): Oxford University Press.
- Stein, J. (2014). Dyslexia: the role of vision and visual attention. *Current Developmental Disorders Reports, 1*, 267-280. doi:10.1007/s40474-014-0030-6
- Svetaz, M. V., Ireland, M., & Blum, R. (2000). Adolescents with learning disabilities: Risk and protective factors associated with emotional well-being: Findings from the National Longitudinal Study of Adolescent Health. *Journal of Adolescent Health, 27*, 340-348. doi:10.1016/S1054-139X(00)00170-1
- Swanson, H. L., & Hsieh, C.-J. (2009). Reading Disabilities in Adults: A Selective Meta-Analysis of the Literature. *Review of Educational Research, 79*, 1362-1390. doi:10.3102/0034654309350931
- Tanner, K. (2009). Adult dyslexia and the 'conundrum of failure'. *Disability & Society, 24*, 785-797. doi:10.1080/09687590903160274
- Tullo, D., Guy, J., Faubert, J., & Bertone, A. (2018). Training with a three-dimensional multiple object-tracking (3D-MOT) paradigm improves attention in students with a neurodevelopmental condition: a randomized controlled trial. *Developmental Science, 21*, e12670, 1-11. doi:doi.org/10.1111/desc.12670
- Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing, 16*, 541-572. doi:10.1023/A:1025501406971
- Vartanian, O., Coady, L., & Blackler, K. (2016). 3D multiple object tracking boosts working memory span: Implications for cognitive training in military populations. *Military Psychology, 28*, 353-360. doi:10.1037/mil0000125
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*, 2-40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x

- Vidyasagar, T. R. (1999). A neuronal model of attentional spotlight: parietal guiding the temporal. *Brain Research Reviews*, *30*, 66-76. doi:10.1016/S0165-0173(99)00005-3
- Vidyasagar, T. R. (2012). Aetiology of Dyslexia: A Visual Perspective on a Phonological Marker. In J. Stein & Z. Kapoula (Eds.), *Visual Aspects of Dyslexia* (pp. 151-170): Oxford University Press.
- Vidyasagar, T. R. (2013). Reading into neuronal oscillations in the visual system: implications for developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 1-10. doi:10.3389/fnhum.2013.00811
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (1999). Impaired visual search in dyslexia relates to the role of the magnocellular pathway in attention. *Neuroreport*, *10*, 1283-1287. doi:10.1097/00001756-199904260-00024
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*, 57-63. doi:10.1016/j.tics.2009.12.003
- Waechter, S., Besner, D., & Stolz, J. A. (2011). Basic processes in reading: Spatial attention as a necessary preliminary to orthographic and semantic processing. *Visual Cognition*, *19*, 171-202. doi:10.1080/13506285.2010.517228
- Wagner, R. F. (1973). Rudolf Berlin: Originator of the term dyslexia. *Bulletin of the Orton Society*, *23*(1), 57-63.
- Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *50*, 439-456. doi:10.1080/713755710
- Weinbach, N., & Henik, A. (2012). Temporal orienting and alerting—the same or different? *Frontiers in Psychology*, *3*, 236-238. doi:10.3389/fpsyg.2012.00236
- Ziegler, J. C., & Muneaux, M. (2007). Orthographic facilitation and phonological inhibition in spoken word recognition: A developmental study. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*, 75-80. doi:10.3758/BF03194031
- Ziegler, J. C., Perry, C., Ma-Wyatt, A., Ladner, D., & Schulte-Körne, G. (2003). Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or universal? *Journal of Experimental Child Psychology*, *86*, 169-193. doi:10.1016/S0022-0965(03)00139-5

- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., . . . Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(28), 11455-11459.
- Zoubinetzky, R., Collet, G., Serniclaes, W., Nguyen-Morel, M.-A., & Valdois, S. (2016). Relationships between Categorical Perception of Phonemes, Phoneme Awareness, and Visual Attention Span in Developmental Dyslexia. *PLoS One*, *11*, e0151015.
doi:10.1371/journal.pone.0151015

Annexe I – Matériel supplémentaire du chapitre 4

Phrases-test de chacune des listes

Phrases MNRead.

J'ai bien hâte d'aller dîner chez mon ami dimanche prochain.
Il faut vraiment que je m'occupe de mon appartement ce soir.
La lecture demeure difficile même avec vos petites lunettes.
Ma soeur va bientôt acheter une voiture de couleur argentée.
J'aime lorsque mon enfant joue avec ses cousins et cousines.
Le mariage de mon cousin avait lieu sur un très beau bateau.
Les enfants de mon quartier vont tous à la fête ce dimanche.
Le petit garçon des voisins aime suivre des cours de karaté.
Le jardin botanique aura une collection de papillons jaunes.
Les enfants de mon professeur sont des athlètes très connus.
Mon chat aime bien se promener la nuit près de la boucherie.
Elles ne sont jamais venues chercher les dessins de ma mère.
Les cinq chats de la voisine sont montés dans un gros chêne.
Le fromage blanc et les framboises sont sur le grand meuble.
La nouvelle adresse de la compagnie est sur mon cahier noir.
La neige tombe tout doucement en cette nuit de réjouissance.
Le dessert favori de mon jeune frère est la mousse aux noix.
La nouvelle voisine possède un superbe chien beige et blanc.
Ma mère aime bien écouter le chant des cigales en plein été.
La vieille dame qui me connaissait bien dansait près de moi.
Le garçon a dit que son ours en peluche aime bien le gâteau.
On vous invite tous à la campagne pour ramasser des fraises.
Mon chat aime bien manger mes plantes et renverser leur pot.
Mes parents partent bientôt pour un très long voyage en mer.
Les marins ont peur de se retrouver dans une grosse tempête.
Le petit chat de ma cousine attrape très souvent des mulots.
Un bel oiseau rouge a mangé près de ma fenêtre tôt ce matin.
La belle demoiselle a une nouvelle robe rouge à pois jaunes.
Les enfants de mon professeur de piano aiment la clarinette.
Le film d'animation présenté ce midi est vraiment admirable.
J'aime bien manger dans les restaurants japonais ou chinois.
Ma mère vient tout juste de cueillir une pomme et une poire.
Le plus beau cheval dans une exposition reçoit une médaille.
La robe rose de ma petite soeur est trop pâle selon ma mère.
Nous avons un très grand jardin rempli de belles jonquilles.
Trois de mes amies vont déménager cet été après les classes.
Le jardinier de mon père est un bon ami du premier ministre.
Je suis bien content de déménager dans un très grand studio.

Phrases LP1

C'est vrai qu'elles nous avaient avertis une couple de fois. Nos patrons ont le bouton de panique beaucoup trop sensible. Vous pouvez aussi laisser un message dans leur boîte vocale. Je me cherchais une belle histoire d'amour pour aujourd'hui. Ensemble vous discuterez de vos besoins et de vos objectifs. Chaque cigarette que tu fumes est un clou dans ton cercueil. Ce dernier poursuit cependant sa lutte devant les tribunaux. Il n'a toutefois pas vraiment pu expliquer son comportement. C'est ce que le ministre semble oublier avec ses politiques. Les valeurs unitaires et les revenus de placement fluctuent. Il lui explique ce qui se passe et lui demande d'intervenir. Le dossier des jeunes contrevenants n'est qu'un premier pas. Nous n'avions aucune indication que cela allait se produire. Nous avons ici un budget qui fait saliver les conservateurs. La relocalisation devra se faire sans frais pour le vendeur. Il faut une distance entre l'administration et le politique. Elles permettent de plaire au plus de spectateurs possibles. Il n'acceptera pas de payer plus cher qu'une autre province. Une expression neutre est requise sur votre photo passeport. Je l'appelais tous les matins pour prendre de ses nouvelles. Les plus grandes victimes de la prohibition sont les jeunes. On semble vraiment vouloir payer le plus haut prix possible. Ce chandail rouge mal assorti leur a permis de devenir amis. Chacun se demandait comment faire pour changer la situation. L'enjeu reste la question du nombre de semaines de vacances. On veut avoir tous les arguments en main avant de se lancer. Elle a obtenu la part du lion dans les travaux de trottoirs. On allume pour constater qu'elle a la main couverte de sang. Ni l'un ni l'autre ne poussent l'analyse beaucoup plus loin. Il a fait des pieds et des mains pour retrouver la disparue. Les interactions entre ces deux piliers ne sont pas exclues. Ce qui leur permettra plus tard de revenir comme immigrants. La question est de savoir combien de temps ils le porteront. La marche se veut cependant avant tout un rappel historique. On lui faisait faire des choses pas tellement intelligentes. Il n'y a pas d'esprit de clocher dans les propos recueillis. Tous les bulletins d'information en ont fait leur manchette. Ainsi la politique demeure un service et non une profession. Il existe d'autres solutions pour obtenir une belle pelouse. Il est vrai que tout est dans le comportement ou l'attitude. Le jugement ne touche actuellement que cette jeune personne. Je remplissais l'assiette de mon mari et de mes deux filles. Qu'on n'aille pas croire que je sois une maniaque de l'auto. Un travail que l'on choisit parce qu'on a envie de le faire. L'internet a maintenu tout le monde dans le vif de l'action. La maladie montre cependant encore peu de virulence au pays.

On ne pourra pas sortir ces sommes pour quatre ou cinq pays. Son conjoint insistait en vain pour qu'elle porte un casque. On demande aux gens de laisser leurs sacs de sable en place. Il faut faire preuve de beaucoup de retenue quant aux faits. Son expulsion de la zone euro est de plus en plus plausible. On peut avoir toutes les raisons valables pour les utiliser. Il est plus loquace toutefois pour attaquer le gouvernement. C'est pourquoi je ne qualifie pas cette situation d'injuste. La police devait surveiller le secteur durant toute la nuit. Le prochain colloque nous permettra de faire un pas de plus. Elles ne se sentent pas solidaires de la douleur des autres. Ces nouveaux travailleurs sont aussi de plus en plus jeunes. Venez vite profiter de nos meilleures aubaines de la saison. Elle aime mieux prendre la chance qu'ils prennent le dessus. Les gars en ont assez de travailler sous le salaire minimum. Nous pourrions plus facilement vous attraper avec nos bombes. Il entend utiliser cet argent pour tenter de refaire sa vie. On pourrait la fermer et miser davantage sur le gaz naturel. Je pense que cette statistique doit alerter le gouvernement. Il faudra s'assurer que nous fonctionnons ici par consensus. J'ai des adversaires et ce n'est pas moi qui les ai choisis. L'une d'entre elles touche la fermeture des bureaux de vote. Pour que les inconnus se rapprochent et partagent entre eux. Tout est tellement plus simple quand ta blonde est heureuse. C'est quelque chose que les sondages ne peuvent pas mesurer. Je vais enfin savoir si la conscience demeure sans le corps. Il faut qu'il y ait des gardiens permanents qui surveillent. Le choix de sa cravate est l'accent aigu de sa bonne humeur. Cela ne signifie pas que toutes obtiendraient gain de cause.

Phrases LP2

Elle refuse d'ouvrir et dit qu'il faut s'adresser au patron. La force de notre couple c'est de ne rien laisser accumuler. Le budget comporte peu de mesures touchant les particuliers. Cette consultation aussi doit se tenir d'ici la fin du mois. Une promesse lui aurait fait de nouveau chausser les patins. Il se passe des choses qui peuvent exciter certains esprits. C'est maintenant celle de gauche qui avance plus rapidement. La facture sera beaucoup plus importante qu'on le craignait. Je vais pouvoir me concentrer sur des choses plus positives. On fait des audiences publiques pour des routes en campagne. Il se peut que vous ayez des surprises en abattant des murs. Les deux hommes entrent dans le restaurant et s'y attablent. Ce que l'artiste fait n'est pas totalement sans contraintes. Les parties sont en conciliation depuis le mois de novembre. Il pense qu'ils se sont fait un territoire un peu plus loin. C'est le plus bel encouragement que vous pourrez lui donner. Les forces du gouvernement ont repris la ville aux rebelles. C'est un choix difficile qui en a fait sourciller plus d'un. Le dossier des services de garde a aussi retenu l'attention. Moi qui lis beaucoup n'ai aucun attachement pour les livres. Le document dort sur les tablettes depuis plus de sept mois. Un nuage de pollution enveloppe la ville et voile le soleil. Ce sont des adultes qui ont beaucoup d'argent pour s'amuser. Il se peut que le concessionnaire doive passer une commande. La publication de sa chronique reprendra dans deux semaines. Deux mois en tout au terme desquels il devra faire un choix. Ils promettent de changer encore de style la prochaine fois. On apporte ensuite le canon et tout le reste de l'outillage. Les fusions sont choses courantes dans le secteur financier. Si bien que minou n'urinera en moyenne qu'une fois par jour. Cette offre n'est pas valable pour les achats par catalogue. Ce terme du vocabulaire de la course automobile est anglais. Aucune fermeture n'aura lieu les samedis et dimanches soirs. Il s'agit donc de doubler le niveau actuel des exportations. Faites que votre enseignement soit motivant pour les jeunes. On dirait que le chef n'entend pas ou s'en fiche royalement. C'est ce qu'on fait lorsqu'on veut faire respecter les lois. Les tarifs sont offerts pour les vols du mercredi seulement. La somme de toutes ces petites choses enlaidissent la ville. Il faut bouger les articulations pour les remettre en forme. Tous les justiciables ont le droit aux services d'un avocat. Rien ne justifie qu'il en soit autrement avec les cyclistes. Une solution qui a l'appui d'un plus grand nombre de femmes. Ils ne se doutent pas qu'une longue nuit blanche les attend. Le prolongement d'un chantier peut aussi hausser la facture. Tout simplement parce que l'engagement ne tenait pas debout.

On peut toutefois y faire beaucoup plus que louer des films. Cela devient la cause d'une absence totale de communication. Des gars l'appelaient pour dire qu'ils lui feraient la peau. C'est de la barbarie d'avoir voulu tuer sa femme par le feu. Je suis pas une fille qui aime les vacances plus qu'il faut. Je sais que le public qui a connu cela ne l'oubliera jamais. Notre prochaine annonce proposera des moyens pour y arriver. Profitez de votre visite pour explorer nos sentiers sinueux. Le couple a aussi vu deux ou trois hommes courir vers l'est. C'est ce qu'il faudra examiner au cours des prochains jours. La relation d'aide nous suit ensuite partout dans notre vie. Il faut tenter de donner un coup de barre plus significatif. Il ne s'agit pas d'un autre exemple de chauvinisme masculin. Il avait d'ailleurs perdu une jambe au cours de ces combats. Tu sais que ce sera temporaire et que demain sera plus beau. Ils se font redire que leur fonction ne leur appartient pas. Nous subissons un amalgame de torts sans aucun discernement. Un processus qui pouvait prendre environ une heure et quart. Il n'y a rien qui justifie que nous leur enlevions ce droit. Il est possible que le conducteur se soit endormi au volant. Certains tissent des liens sans pour autant changer de gang. Je ne crois pas que beaucoup de gens se souviennent de cela. Les gens ont perdu confiance en l'exercice du droit de vote. Les policiers ne peuvent pas porter plainte pour les filles. Les nouvelles sur ce front ne sont pas glorieuses chez nous. Ceux qui y figurent sont inadmissibles aux contrats publics. Ce ne sont pas tous les contribuables qui sont responsables. On lui envoie deux ou trois demandes nouvelles chaque jours. C'est important pour nous de faire attention aux ressources.

Phrases LP3

Un clip sur deux leur apparaissait comme sexiste ou violent. Elle a eu deux relations plus ou moins stables par la suite. Ce groupe de travail ne soumettra aucun rapport au ministre. Il n'y a aucune autre hausse de taxe pour les contribuables. On ne peut pas vendre de cigarettes ou d'alcool aux mineurs. Il importe de replacer nos enfants au centre de nos valeurs. Vous savez en plus que vous allez faire travailler du monde. Il est maintenant plus facile de renouveler vos prestations. Elles ne sont cependant plus de mise dans le droit canadien. Le calcul est simple et un escalier l'illustre parfaitement. Celui de jeudi et vendredi portait sur la langue de travail. On souffre mentalement et le corps en subit les contrecoups. La solution ne viendra pas de l'agitation ou de la violence. Le tout se fait cependant sous la surveillance des gardiens. Il n'avait pas de rapports amicaux ni intimes avec les gens. Notez que les fonds communs sont exclus de cette protection. Je pense que le syndicat doit faire un examen de conscience. La banque assure que ce sera fait d'ici les prochains jours. Il me semble que cela fait seulement grimper le prix du vin. Des restrictions quant aux jours et aux heures s'appliquent. Il y a moins de risques d'attentats suicide ou d'embuscades. La plaignante principale dans cette affaire est une mineure. Les cinq autres enfants viennent chacun leur tour me saluer. Les psychologues font de nombreuses recherches sur le sujet. Elle ne veut rien savoir du voile islamique ni de la charia. Les sorties de route se comptaient d'ailleurs par centaines. Ils encerclent le groupe de motards et les tiennent en joue. Ses conseillers se contenteront donc de jauger les opinions. Il nous manquera mais nous sommes chanceux de l'avoir connu. L'escalier se trouvait vraisemblablement le long du mur est. Il faut dire que le couple ne se contente pas de promenades. Tous les intervenants dans le dossier se renvoient la balle. Une photo du nouvel arrivant est prise et jointe au dossier. Nous sommes en faveur et les autres partis sont tous contre. Les situations autour de nous changent et on doit s'adapter. Il s'agissait juste dans les deux cas de mirages de bonheur. J'ai voulu allumer une chaufferette parce que j'avais froid. Certaines villes sont plus restrictives les fins de semaine. Ce qu'on ne ferait pas pour les bonnes relations familiales. Le malaise est grand quand on touche au religieux chez nous. Il nous montrait des petits avions en papier et des dessins. Il faut leur donner les moyens de faire ce qu'elles veulent. Le choix du futur site doit obtenir les deux tiers des voix. Nous devons tourner la page dans un esprit de collaboration. Ils doivent donc obtenir un permis et former leur personnel. Elle ne s'opposerait pourtant pas au concept du bien commun.

Il suffit parfois d'un animal pour nous rendre plus humains. Prenons donc les moyens pour qu'ils ne se reproduisent plus. Je me rends compte que c'est bien plus facile qu'on pensait. Nous croyons aussi que chaque conducteur doit faire sa part. Mon malaise vient surtout du fait que les verts les ont vus. Ils ne parlent pas au cellulaire en conduisant leur voiture. On veut montrer aux parents que la routine est fondamentale. Des tests seront aussi poursuivis chez les animaux de ferme. Nous ne l'avons jamais fait et ne le ferons jamais non plus. Les titres dans ce secteur deviendront donc fort attrayants. Ils n'ont pour toute fortune que leur pension de vieillesse. Ils sont passibles d'une peine d'emprisonnement de deux ans. Un individu aborde une fillette qui rentre de la maternelle. Je ne sais pas quelle sorte de clivage cela risque de faire. Il faut que les deux gouvernements sachent ce qu'ils feront. C'est facile de dire qu'ils administrent mal leurs affaires. Les deux candidats se distinguent aussi par leurs partisans. Le gouvernement mexicain fera tout pour relever le tourisme. Il y aurait plus de trains de banlieue aux heures de pointe. L'art de rendre les enfants heureux et les parents contents. Ils aimeraient bien ajouter une autre adresse cette semaine. Elle sentait la graisse rance et le vieux jus de chaussette. Ce n'est pas avec une hausse des tarifs qu'il va y parvenir. Ils financent un juge qui partage leur philosophie du droit. Cela en dit long sur les ravages de l'information spectacle. L'entreprise a fait savoir hier qu'elle allait la contester. Ils veulent l'argent et le tiennent responsable de sa perte. Le gouvernement est minoritaire et doit faire des compromis. Il y a toujours un risque pour tous les joueurs de football.

Phrases LP4

Elle doit aussi payer un loyer pour le local qu'elle occupe. Alors votons pour le parti qui sera au pouvoir demain matin. Pour le reste il s'accommodait de ce que la vie lui offrait. Ce qui permet par la suite d'infinies acrobaties politiques. Les camionneurs en ont assez de travailler pour une chanson. Il est maintenant temps de pousser cette question plus loin. Nous vivons une situation de crise aberrante et douloureuse. C'est dans ce contexte que nous avons remis les prisonniers. Ce ne sont pas des raisons familiales qui l'ont fait partir. Puis je me suis rendu compte que quelque chose n'allait pas. Les arbres font partie de la montagne et des risques du ski. C'est ce qu'il faut faire pour que nous soyons plus stables. Cela faisait cinq ans qu'elle et son conjoint s'acharnaient. Les causes exactes de l'accident ne sont pas encore connues. Je sais que cela viendra bouleverser mon horaire de travail. Ils utilisent tous les recours pour ne pas payer leur loyer. Il avait besoin de cet argent pour nourrir ses neuf enfants. Les pompiers ont combattu le feu environ une heure et demie. Elle veut signer les papiers pour faire cesser la poursuite. Elle voudrait que tous ces tunnels disparaissent du paysage. Les amateurs de patin risquent de trouver la semaine longue. L'explosion des prix est devenue une manne pour les voleurs. Il n'y a personne qui veut construire quelque chose de laid. C'est parfois impossible quand les patients sont trop vieux. L'alcool et la vitesse ne sont pas en cause dans l'accident. On croit voir dans le fond de ses yeux un instinct guerrier. Les travaux de remise en ordre allaient cependant bon train. Nous avons fait entrer le malade afin de le mettre au chaud. Ce qu'on devait apprendre hier n'est pas une bonne nouvelle. La travailleuse sociale se demande si on me laissera entrer. Il y a le nombre de semaines aussi qu'il faudrait augmenter. Cette chute ne se manifeste alors que chez les vieux hommes. Ils doivent respecter le format de lettres qu'ils utilisent. Le seuil en pierre de taille est saillant dans tous les cas. Les manifestants attendent ces deux jugements de pied ferme. Il s'agit d'un avantage incontestable sur ses futurs rivaux. Il est temps d'investir dans un matelas et un sommier neufs. Les villes francophones ont autant de raison de s'y opposer. Elle est venue vendre un produit culturel auquel elle croit. On tente de faire modifier les plans lorsque c'est possible. Le transport n'est pas inclus dans le prix d'achat comptant. Cet attribut est le propre des plus grands joueurs du monde. Nous voulons faire abaisser les droits sur le bois d'oeuvre. Je pense que c'est pour cela qu'ils continuent de combattre. On se souvient davantage des grandes choses que des petites. Les dirigeants du parc zoologique sont au comble de la joie.

Il a fallu qu'elle choisisse les mots et les dise pour vrai. La revue mise en cause publie ensuite un court rectificatif. L'oiseau de proie aime aussi les rassemblements de moineaux. Cet effet est absent chez les femmes prenant des anovulants. L'image de cette torche humaine faisait la une des journaux. Elle se baignait avec sa cousine dans une piscine gonflable. Il avait quatre pages qui contenaient peu de renseignements. Le lobby des hydrocarbures est bien trop puissant pour cela. Les militaires n'auraient rien fait pour leur venir en aide. La sieste est aussi bonne pour l'humeur et contre le stress. Il n'adopterait pas le projet de loi dans sa forme actuelle. Les raisons de la domestication des animaux sont nombreuses. Tous les projets ne sont toutefois pas exempts de critiques. Chacune de ces trois zones peut devenir un lieu de supplice. Ce n'est pas la panique mais il y a beaucoup de frustration. Ils doivent donc en tenir compte dans leur offre de service. On a fait sauter les verrous de l'horaire de travail diurne. Ce sont les citoyens qui veulent que les maires poursuivent. Y avoir recours ne doit pas servir de punition ou de menace. Le huard est rendu tellement haut qu'il est un bon paiement. Des rassemblements semblables ont eu lieu dans tout le pays. Il s'agira dans ce cas d'un train routier de deux remorques. Je n'avais pas saisi que le lunch aurait lieu sur son patio. Il ne faut pas oublier que cela ne remplace pas un policier. Ce sont des faits crapuleux commis par un tueur psychopathe. Les gaz destructeurs d'ozone sont plus actifs avec le froid. C'est une question de transparence et de rendre des comptes. La police estime qu'il s'agit sans doute d'un avertissement. Il est important de les lire attentivement avant d'investir.

TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES (TS)

TS1. Distribution des mots (en %) en fonction de leur classe grammaticale pour chaque liste de phrases.

Classe de mots	Liste de phrases				
	MNRead	LP1	LP2	LP3	LP4
Nom	25,4	19,9	21,6	21,5	21,9
Verbe	15,6	21,0	20,7	19,3	20,5
Adjectif	10,8	5,9	5,0	5,7	6,2
Déterminant	21,3	15,9	16,3	16,8	15,5
Pronom	4,1	11,6	11,4	10,3	9,7
Adverbe	8,9	10,1	10,0	10,4	9,9
Préposition	12,2	11,7	10,4	10,7	12,7
Conjonction	1,9	3,9	4,7	5,4	3,6

TS2. Résultats des régressions linéaires effectuées sur les performances moyennes pour chaque liste de phrases. L'ordonnée à l'origine et la pente sont exprimés en pourcentage de réponses correctes.

	Liste de phrases				
	MNRead	LP1	LP2	LP3	LP4
Ordonnée à l'origine	41,29	34,09	34,46	36,11	37,24
Pente	0,40	0,40	0,40	0,39	0,38
r^2	0,93	0,97	0,94	0,93	0,96

TS3. Matrice de corrélation entre les taux de performances aux listes de phrases LP de chaque participant selon les différentes durées de présentation (ms/mot).

Durée de présentation Liste de phrase	Liste de phrase			
	LP1	LP2	LP3	LP4
50				
LP1	-			
LP2	0,89	-		
LP3	0,91	0,87	-	
LP4	0,83	0,84	0,85	-
58,33				
LP1	-			
LP2	0,89	-		
LP3	0,91	0,86	-	
LP4	0,93	0,90	0,87	-
75				
LP1	-			
LP2	0,82	-		
LP3	0,89	0,89	-	
LP4	0,84	0,85	0,88	-
100				
LP1	-			
LP2	0,86	-		
LP3	0,87	0,83	-	
LP4	0,80	0,72	0,86	-
133,33				
LP1	-			
LP2	0,87	-		
LP3	0,88	0,83	-	
LP4	0,79	0,74	0,89	-

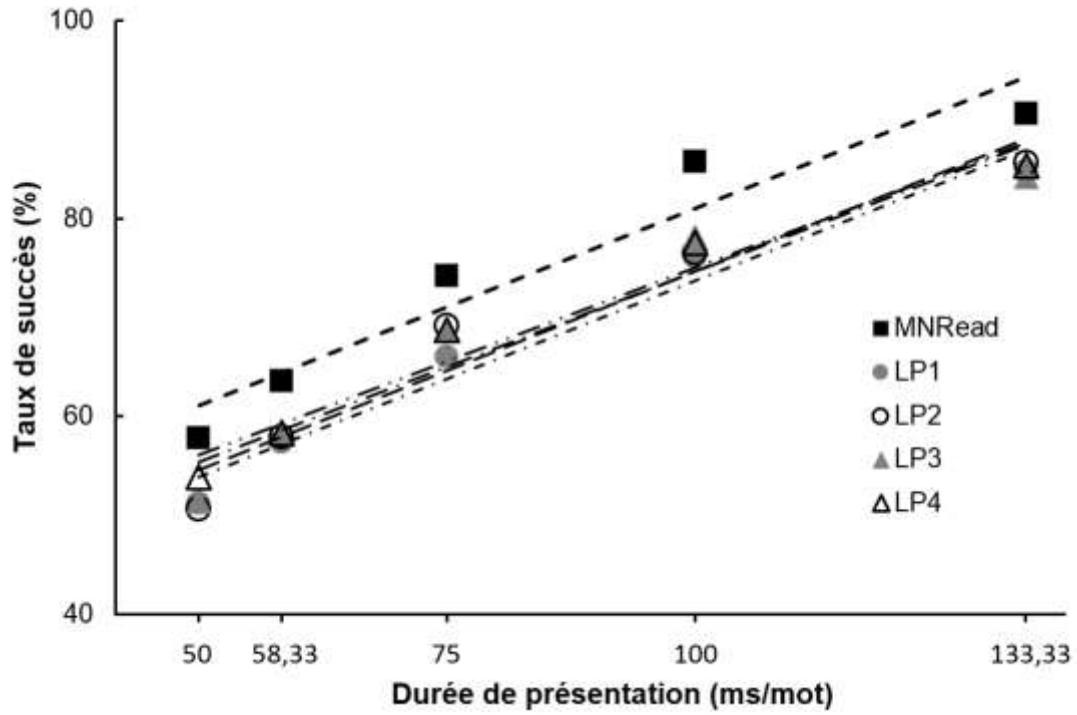
Notes. Toutes les corrélations ont un $p > 0,001$.

TS4. Performances moyennes de groupe à l'Alouette-R pour l'indice de mots lus correctement par minute (MLCM) en scores Z.

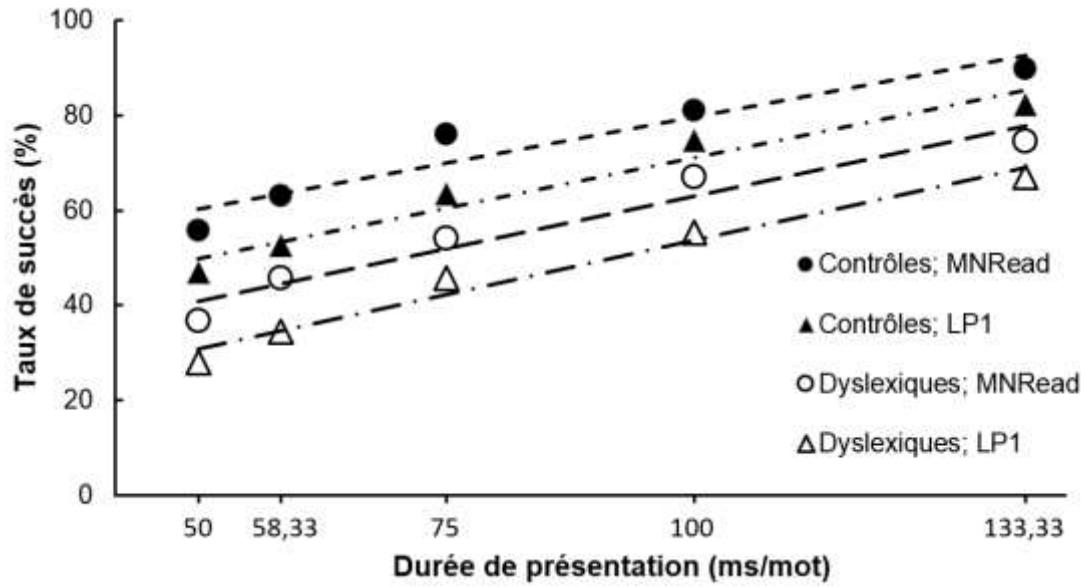
Alouette-R		Contrôle (n = 23)	Dyslexiques (n = 22)	$t(43); p$
MLCM	Score Z	-0,20	-1,89	5,31; < 0,001
	Écart-type	1,22	0,88	

TS5. Vitesse de lecture (en mots/minute) pour chacun des listes de phrases utilisés à l'Expérience 2 et chacun des groupes.

Liste de phrase		Contrôle (n = 23)	Dyslexiques (n = 22)	<i>t</i> (43); <i>p</i>
MNRead	Vitesse de lecture	402,0	329,3	3,14; < 0,01
	Écart-type	71,5	83,7	
LP1	Vitesse de lecture	369,9	302,0	2,91; < 0,01
	Écart-type	69,5	86,4	



FSI. Pourcentage de mots identifiés correctement en fonction de la durée de présentation pour chaque liste de phrases à l'Expérience 1.



FS2. Pourcentage de mots identifiés correctement en fonction de la durée de présentation pour chaque groupe et chaque liste de phrases à l'Expérience 2.