



Étiologie génétique et cognitive de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH)

Thèse

Vickie Plourde

Doctorat en psychologie – recherche et intervention (orientation clinique)
Philosophiae doctor (Ph. D.)

Québec, Canada
© Vickie Plourde, 2016

**Étiologie génétique et cognitive de l'association
entre les habiletés en lecture et les dimensions du
trouble déficitaire de l'attention avec ou sans
hyperactivité (TDAH)**

Thèse

Vickie Plourde

Sous la direction de :

Ginette Dionne, directrice de recherche
Michel Boivin, codirecteur de recherche

Résumé

La présente thèse examine les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture sur les plans phénotypique, génétique et cognitif. En premier lieu, les associations entre les dimensions du TDAH (inattention et hyperactivité/impulsivité) et les habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) chez des enfants au début du primaire (6-8 ans) ont été examinées. Les résultats révèlent des associations similaires. Toutefois, seules celles entre l'inattention et les habiletés en lecture demeurent après que l'hyperactivité/impulsivité, les symptômes de trouble du comportement et les habiletés non verbales aient été contrôlés. De plus, les associations entre l'inattention et les habiletés en lecture s'expliquent en grande partie par des facteurs génétiques. En second lieu, les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture (lecture de mots et exactitude/vitesse lors de la lecture d'un texte) ont été étudiées à 14-15 ans. Seule l'inattention demeure associée aux habiletés en lecture après que l'hyperactivité/impulsivité, les habiletés verbales et les habiletés non verbales aient été contrôlées. L'inattention et les habiletés en lecture sont aussi corrélées sur le plan génétique, mais ces corrélations deviennent non significatives lorsque les habiletés verbales sont contrôlées. En dernier lieu, des habiletés cognitives ont été étudiées comme mécanismes sous-jacents potentiels de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) à l'enfance. Il apparaît que la conscience phonologique, la vitesse de dénomination de chiffres, le traitement temporel bimodal et le vocabulaire sont des médiateurs de l'association entre l'inattention et le décodage alors que la conscience phonologique, la vitesse de dénomination de chiffres et de couleurs et le vocabulaire sont des médiateurs de l'association entre l'inattention et la compréhension en lecture. De plus, des facteurs génétiques communs ont été observés entre certains médiateurs (conscience phonologique, vitesse de dénomination des chiffres et traitement temporel bimodal), l'inattention et le décodage. Somme toute, la présente thèse montre que des facteurs génétiques expliquent en partie ces associations à l'enfance et l'adolescence. Des médiateurs cognitifs sous-tendent ces associations, possiblement par des processus génétiques et environnementaux qui devront être précisés dans le futur.

Abstract

The present thesis investigates the associations between ADHD dimensions and reading abilities on phenotypic, genetic, and cognitive levels. First, the associations between ADHD dimensions (inattention and hyperactivity/impulsivity) and reading abilities (decoding skills and reading comprehension) in early primary school (6-8 years old) have been documented. Results showed that these associations are similar. However, only the associations between inattention and both reading abilities remain after controlling for hyperactivity/impulsivity, behaviour disorder symptoms, and nonverbal abilities. Moreover, these associations are mostly explained by genetic factors. Second, the associations between ADHD dimensions and reading abilities (word reading, accuracy and speed of text reading) have been studied during adolescence (14-15 years old). Only inattention is associated with reading abilities, after controlling for hyperactivity/impulsivity, verbal abilities, and nonverbal abilities. Inattention is genetically correlated with reading abilities, but these genetic correlations become not significant when verbal abilities are controlled. Finally, some cognitive skills have been studied as potential underlying mechanisms of the associations between inattention and reading abilities (decoding and reading comprehension) during childhood. Phonological awareness, rapid automatized naming (RAN) of numbers, bimodal rapid processing, and vocabulary are mediators of the association between inattention and decoding skills while phonological awareness, RAN of numbers and colours, and vocabulary are mediators of the association between inattention and reading comprehension. Moreover, there are common genetic factors between some cognitive skills (phonological awareness, RAN of numbers, bimodal rapid processing), inattention, and decoding skills. In sum, the present thesis shows that genetic factors partially explain these associations during childhood and adolescence. Cognitive mediators underlie these associations, potentially by genetic and environmental factors that will need to be specified in future studies.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures.....	viii
Remerciements	ix
Avant-propos	x
Chapitre 1 : Introduction	1
1.1 La cooccurrence de difficultés ou troubles neurodéveloppementaux à l'enfance/adolescence	2
1.2 Les symptômes du TDAH	3
1.2.1 Dimensions du TDAH et leurs mesures.....	4
1.2.2 Prévalence	5
1.3 La dyslexie et les difficultés d'apprentissage	6
1.3.1 Habiletés en lecture et leurs mesures	7
1.3.2 Prévalence	10
1.4 La cooccurrence TDAH-difficultés en lecture.....	10
1.4.1 L'approche dimensionnelle dans l'étude de l'association entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture	11
1.5 Les modèles explicatifs de la cooccurrence TDAH-difficultés en lecture	13
1.5.1 Hypothèses artéfactuelles ou méthodologiques	13
1.5.2 Premières hypothèses non artéfactuelles.....	14
1.5.3 Modèle à déficits cognitifs multiples « <i>multiple cognitive deficit model</i> ».....	15
1.6 Associations phénotypiques et génétiques entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH	18
1.6.1 Études phénotypiques à l'enfance.....	18
1.6.2 Études phénotypiques à l'adolescence	21
1.6.3 Études de jumeaux	24
1.7 Mécanismes cognitifs et génétiques de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'enfance	33
1.7.1 Construits cognitifs à la base de l'association à l'enfance.....	33
1.7.2 Test du modèle cognitif multiple	37
1.8 Variables de contrôle : le genre, le rendement intellectuel et les problèmes de comportement	39
1.9 Résumé des questions de recherche.....	40

Chapitre 2 : Article 1 - Phenotypic and Genetic Associations Between Reading Comprehension, Decoding Skills, and ADHD Dimensions: Evidence from two population-based studies	43
Chapitre 3 : Article 2 - Phenotypic and Genetic Associations Between Reading and ADHD Dimensions in Adolescence	71
Chapitre 4 : Article 3 - Cognitive and Genetic Mechanisms Underlying the Association between Inattention and Reading Abilities.....	101
Chapitre 5 : Conclusion générale.....	137
5.1 Retour sur les questions de recherche.....	138
5.2 Discussion des résultats et implications pour la recherche.....	140
5.2.1 Distinguer les deux dimensions du TDAH.	140
5.2.2 Associations similaires entre l'inattention et le décodage et entre l'inattention et la compréhension en lecture à l'enfance.	141
5.2.3 Associations entre l'inattention et la lecture à l'adolescence.....	142
5.2.4 Apport de la thèse au modèle à déficits cognitifs multiples « Multiple cognitive deficit model ».....	144
5.3 Implications cliniques.....	147
5.3.1 Évaluation.	148
5.3.2 Intervention.	149
5.3.3 Approche interdisciplinaire.....	151
5.4 Forces et limites.....	151
5.5 Études futures.....	154
5.6 Conclusion.....	157
Références (introduction et conclusion générale)	158

Liste des tableaux

Chapitre 2

Tableau 1. <i>Descriptive statistics for girls, boys, and the total sample on decoding, reading comprehension, inattention, hyperactivity/impulsivity, nonverbal abilities, and behavior disorder in the QNTS and the QLSCD samples.</i>	66
Tableau 2. <i>Correlations (sig. 2-tailed) between reading abilities and ADHD dimensions. Pearson correlation coefficients are above the diagonal for the QNTS (N = 525-1007) and are below the diagonal for the QLSC (N = 691 to 675; Total: N = 1451-1596).</i>	67
Tableau 3. <i>Standard multiple regression models predicting decoding and comprehension, from ADHD dimensions, nonverbal abilities, and behavior disorder symptoms.</i>	68
Tableau 4. <i>MZ and DZ intra-class correlations and estimates of heritability (A), shared environment (C), and non-shared environment (E) for decoding, reading comprehension, and inattention with 95% confidence intervals, from the multivariate model.</i>	69

Chapitre 3

Tableau 1. <i>Descriptive statistics for the total sample, girls, boys, MZ and DZ twins, on word reading, accuracy, reading speed, inattention, hyperactivity/impulsivity, nonverbal abilities and verbal abilities.</i>	95
Tableau 2. <i>Pearson correlations (sig. 2-tailed) between reading abilities and ADHD dimensions (n = 220 to 831). *p < .05, **p < .01</i>	96
Tableau 3. <i>Standard multiple regression models predicting reading abilities from ADHD dimensions, nonverbal and verbal abilities (n = 372 to 583). *p < .05, **p < .01</i>	97
Tableau 4. <i>MZ and DZ intra-class correlations and number of participants.</i>	98

Chapitre 4

Tableau 1. <i>Means (standard deviations), and correlations between inattention, reading, and cognitive skills.</i>	131
Tableau 2. <i>Indirect effects of mediators and direct effects (standardized betas β) of inattention on decoding and reading comprehension in single-step multiple mediation models. Significant effects are highlighted in bold (standard deviations).</i>	132
Tableau 3. <i>Common and specific genetic and environmental factors explaining the covariance and residuals variances of inattention, significant mediators, and reading abilities (decoding or comprehension). Beta values are not standardized.</i>	133

Liste des figures

Chapitre 2

Figure 1. Correlated-Factors multivariate model showing the best-fitting models for the association between decoding and inattention, between reading comprehension and inattention, and between decoding and reading comprehension. Standardized estimates with 95% confidence intervals. Curved double-headed arrows refer to A (section a), C (section b) and E (section c) correlations. Dotted double-headed arrows are non-significant correlations and ($p > .05$). 70

Chapitre 3

Figure 1. Correlated-Factors multivariate model for the association between inattention and accuracy, inattention and speed, inattention and word reading, accuracy and speed, accuracy and word reading, and speed and word reading. All variables are age and sex regressed. A = proportion of variance explained by additive genetic factors; C = proportion of variance explained by shared environmental factors; E = proportion of variance explained by unique environmental factors and error. Standardized estimates with 95% confidence intervals. Curved double-headed arrows refer to A (section a), C (section b) and E (section c) correlations. Dotted double-headed arrows are non-significant correlations ($p > .05$). 99

Chapitre 4

Figure 1. Single-step multiple mediation model 135
Figure 2. Independent pathway model 136

Remerciements

Cette thèse est l'aboutissement d'un parcours doctoral parsemé d'apprentissages et de défis, qui n'aurait pas été possible sans l'aide et le soutien de plusieurs personnes. D'abord, je tiens à remercier ma directrice de thèse, Ginette Dionne. Merci pour votre écoute, votre soutien et vos conseils tout au long de cinq dernières années. Vous avez su m'amener à me surpasser, à améliorer mes faiblesses et à tirer profit des embûches rencontrées. Merci à mon co-directeur, Michel Boivin, pour vos commentaires qui m'ont amenée à pousser mes réflexions encore plus loin. Merci aux membres de mon comité de thèse, Claudette Fortin et Marie-Catherine St-Pierre, pour vos rétroactions constructives et votre aide tout au long de mon cheminement doctoral.

Je remercie mon groupe de recherche (Groupe de recherche en inadaptation psychosociale – GRIP Uvalal). Merci Bei et Hélène, pour votre aide indispensable sur le plan statistique. Merci Nadine, pour ta présence et tes bons conseils qui m'ont aidé tout au long du doctorat. Merci Marie-Noëlle, pour ton aide et ta bonne humeur contagieuse. Merci de votre disponibilité. Et merci à mes collègues étudiants et amis du 1216, Catherine, Gabrielle, Jeffrey, d'avoir été là! Je remercie les co-auteurs de mes articles. Je remercie aussi les familles participantes dans l'Étude longitudinale des enfants du Québec (ELDEQ) et l'Étude des jumeaux nouveau-nés du Québec (EJNQ). Je remercie les organismes m'ayant offert des bourses d'études, qui m'ont permis de me consacrer pleinement à mes études : Instituts de recherche en santé du Canada, fonds de soutien du Québec, Fondation de l'Université Laval et École de Psychologie.

Enfin, je remercie mes amis, Andrée-Anne, Alexe, Danielle, David, Marilyne, Mylène... pour votre compréhension et pour les bons moments passés ensemble. Merci à mes parents, mon frère et Mylène pour votre présence et votre soutien inconditionnel. Je ne vous en remercierai jamais assez. À mes parents, vous êtes mes modèles d'inspiration. Merci de m'avoir transmis la persévérance et le dévouement. Justin, thank you for being there for me during the final stretch of my Ph.D. Je ressors grandie professionnellement et personnellement de cette expérience et à tous ceux qui ont été présents durant ces dernières années, je vous en suis plus que reconnaissante.

Avant-propos

Le chapitre 2 est un article intitulé Phenotypic and Genetic Association Between Reading Abilities and ADHD Symptoms: Evidence from two population-based studies. Il a été publié en février 2015, dans le *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. Les co-auteurs sont Michel Boivin, Nadine Forget-Dubois, Mara Brendgen, Frank Vitaro, Cecilia Marino, Richard E. Tremblay et Ginette Dionne. Michel Boivin, Nadine Forget-Dubois et Ginette Dionne sont affiliés à l'Université Laval. Michel Boivin est aussi affilié à Tomsk State University en Russie. Mara Brendgen est affiliée à l'Université du Québec à Montréal et à l'hôpital Sainte-Justine. Frank Vitaro est affilié à l'Université de Montréal et à l'hôpital Sainte-Justine. Cecilia Marino est affiliée à l'Université Laval, le Centre de Recherche de l'Institut Universitaire en Santé Mentale de Québec et l'Institut scientifique Eugenio Medea en Italie. Richard E. Tremblay est affilié à l'Université de Montréal, l'hôpital Sainte-Justine, à Tomsk State University en Russie et à University College Dublin, en Irlande.

Le chapitre 3 est un article intitulé Phenotypic and Genetic Associations Between Reading and ADHD Dimensions in Adolescence. Il est présentement soumis à la revue *Development and Psychopathology*. Les co-auteurs sont Michel Boivin, Mara Brendgen, Frank Vitaro et Ginette Dionne.

Le chapitre 4 est un article intitulé Cognitive and Genetic Mechanisms Underlying the Association between Inattention and Reading Abilities. Il est présentement soumis à la revue *Journal of Abnormal Child Psychology*. Les co-auteurs sont Michel Boivin, Mara Brendgen, Frank Vitaro, Philippe Robaey, Richard E. Tremblay et Ginette Dionne. Philippe Robaey est affilié à l'hôpital Sainte-Justine, l'Université de Montréal, le Centre hospitalier pour enfants de l'est de l'Ontario et l'Université d'Ottawa.

Je suis l'auteure principale pour chaque article. Mon rôle a été de préparer la base théorique et empirique de chacun des articles, d'effectuer la recension des écrits, de procéder aux analyses à l'aide des statisticiennes et finalement d'effectuer la rédaction, supervisée par ma directrice ma thèse.

Chapitre 1 : Introduction

1.1 La cooccurrence de difficultés ou troubles neurodéveloppementaux à l'enfance/adolescence

La présente thèse porte sur la comorbidité-cooccurrence entre les dimensions du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) et les habiletés en lecture chez des enfants au primaire et au secondaire issus d'une population générale. Le terme « comorbidité » est défini comme étant la présence de plus d'un diagnostic chez un même patient (Feinstein, 1970). Feinstein (1970, p. 456-457 traduction libre) précise que la comorbidité correspond à « tout diagnostic additionnel et distinct qui se présente ou apparait chez un patient ayant déjà un autre diagnostic ». Toutefois, pour les troubles neurodéveloppementaux dont font partie la dyslexie et le TDAH, Kaplan, Crawford, Cantell, Kooistra et Dewey (2006) suggèrent plutôt d'utiliser le terme « cooccurrence ». En effet, plusieurs troubles peuvent être présents en même temps sans qu'on soit en mesure d'en préciser la cause et de préciser s'ils partagent des causes communes ou non. Comme cette thèse est réalisée dans un contexte normatif en privilégiant une approche dimensionnelle (i.e. qui porte sur l'ensemble des variations) plutôt que catégorielle (i.e. par diagnostics) et que les causes de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH sont mal connues, le terme « cooccurrence » sera privilégié.

Les chercheurs ont commencé à s'intéresser à la cooccurrence de troubles mentaux dans les années 1970, mais les premières études auprès d'adultes et d'enfants qui ont souligné l'importance de considérer la cooccurrence des troubles mentaux et neurodéveloppementaux remontent seulement aux années 1980-1990. Entre autres, la première étude épidémiologique à utiliser des entrevues structurées pour diagnostiquer les troubles mentaux auprès d'adultes américains a été baptisée « National Comorbidity Survey » (1990-1992) en raison de l'importante cooccurrence anticipée de troubles mentaux (Kessler et al., 1994; Kessler, 1994). En ce qui a trait à la cooccurrence de troubles mentaux et neurodéveloppementaux à l'enfance et à l'adolescence, c'est en 1987 qu'ont été publiées les premières études empiriques (Anderson, Williams, McGee, & Silva, 1987; Angold, Costello, & Erkanli, 1999). Depuis, elles se sont multipliées et il est de plus en plus reconnu que la cooccurrence de troubles mentaux et neurodéveloppementaux à l'enfance et à l'adolescence représente la norme plutôt que l'exception. Avant d'aborder

spécifiquement la cooccurrence entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture, un portrait de chacune de ces composantes du développement est présenté.

1.2 Les symptômes du TDAH

Les manifestations du TDAH ont été décrites pour la première fois vers la fin du 18^{ième} siècle (voir Lange, Reichl, Lange, Tucha, & Tucha, 2010 pour une revue complète de l'histoire de la problématique du TDAH). Le TDAH se caractérise par des manifestations comportementales sur deux dimensions : l'inattention et l'hyperactivité/impulsivité (American Psychiatric Association - APA, 2013). Le diagnostic de ce trouble peut être donné pendant l'école primaire ou secondaire, ou à l'âge adulte. Il est basé sur l'atteinte d'un seuil clinique à partir duquel la fréquence et la sévérité des manifestations interfèrent avec le fonctionnement ou le développement de l'individu.

Ces manifestations semblent évoluer avec l'âge. Notamment, des études suggèrent que les symptômes, surtout l'hyperactivité, subissent un déclin durant l'adolescence (APA, 2013). Cette diminution pourrait s'expliquer par des changements dans la symptomatologie du TDAH à l'adolescence qui ne sont pas pris en compte dans les critères diagnostiques (Faraone, Biederman, & Mick, 2006; Sibley et al., 2012) ou par l'utilisation durant l'adolescence de stratégies compensatoires (Frazier, Youngstrom, Glutting, & Watkins, 2007). Entre autres, Biederman, Mick et Faraone (2000) ont étudié le taux de rémission avec l'âge chez un échantillon de garçons avec un TDAH ($N = 128$, 6 ans à 20 ans). Ils ont effectué une évaluation de base et une réévaluation quatre ans plus tard. Leurs résultats ont montré qu'entre 15 et 20 ans, seulement 10% des adolescents avec un TDAH à l'enfance ont une rémission fonctionnelle, soit que le nombre de symptômes a diminué sous le seuil requis pour un diagnostic (moins de cinq symptômes selon le Diagnostic Statistical Manual – DSM III-R) et qu'il ne persiste aucun déficit fonctionnel. De plus, la rémission des symptômes était plus importante pour l'hyperactivité et l'impulsivité que pour l'inattention. C'est donc dire que malgré une diminution des symptômes, un déficit fonctionnel, touchant surtout l'inattention, a persisté chez la majorité des garçons. La méta-analyse de Faraone, Biederman et Mick (2006) et l'étude récente de Sibley et al. (2012) appuient cette

conclusion : peu d'adolescents ont une rémission complète sur le plan des symptômes et du fonctionnement quotidien.

1.2.1 Dimensions du TDAH et leurs mesures

L'inattention est la dimension du TDAH qui représente les difficultés de régulation de l'attention. Elle se manifeste notamment par des difficultés à porter attention aux détails et à soutenir son attention, ainsi que par des oublis fréquents et une facilité à la distraction. L'hyperactivité et l'impulsivité représentent les difficultés de régulation du comportement. L'hyperactivité se manifeste, entre autres, par une difficulté à rester en place pendant certaines activités qui le nécessitent (selon ce qui est attendu pour un âge donné) et la manifestation d'une agitation inappropriée. L'impulsivité se manifeste notamment par une tendance à agir sans réfléchir aux conséquences, ces dernières pouvant être dangereuses. Par exemple, un enfant peut avoir de la difficulté à attendre son tour et à ne pas interrompre les autres. Ensemble, l'hyperactivité et l'impulsivité constituent une dimension du TDAH étant donné leur association étroite tout au cours du développement, autant à l'enfance qu'à l'adolescence ($r = .80$ à $.90$; Willcutt et al., 2012).

Même si les dimensions du TDAH comportent des difficultés de régulation sur deux plans distincts, attention et comportement, Willcutt et al. (2012) ont observé dans leur méta-analyse des corrélations de $.64$ à $.70$ entre elles chez des participants de 18 ans ou moins lorsqu'elles sont mesurées par des questionnaires administrés aux parents et aux enseignants. Plusieurs études abondent dans le même sens (Larsson, Lichtenstein, & Larsson, 2006; McLoughlin, Ronald, Kuntsi, Asherson, & Plomin, 2007; Paloyelis, Rijdsdijk, Wood, Asherson, & Kuntsi, 2010) et montrent que malgré leurs différences sur le plan théorique, ces deux dimensions peuvent être combinées pour formuler un seul diagnostic.

Le plus souvent en recherche, les dimensions du TDAH sont mesurées à l'aide de questionnaires administrés aux parents et aux enseignants (p. ex., Revised Conner's Rating Scale [CPRS-R; Conners, Sitarenios, Parker, & Epstein, 1998]). Ces mesures ont toutefois des limites. Notamment, l'évaluation des parents et celle des enseignants peuvent différer de façon substantielle en raison des contextes dans lesquels l'enfant ou l'adolescent est observé. Le parent observe le comportement à la maison alors que l'enseignant le note dans

un contexte plus structuré et exigeant sur le plan cognitif. De plus, puisque l'enseignant observe plusieurs enfants à la fois, il peut dégager une norme qui facilite l'identification de ce qui en déroge (Paloyelis et al., 2010). Néanmoins, l'enseignant au secondaire passe moins de temps avec les mêmes élèves, ce qui peut limiter sa capacité à évaluer les symptômes chez un élève en particulier.

Les dimensions du TDAH peuvent aussi être mesurées par l'administration de tests cognitifs (p. ex., Continuous Performance Test [CPT-II; Conners, 2000]), où l'enfant doit faire preuve d'attention soutenue pour émettre des réponses motrices. Les erreurs d'omission (i. e. oublie d'effectuer la réponse motrice) et de commission (i. e. effectue une réponse motrice alors qu'il ne doit pas) sont typiquement utilisées comme des indicateurs respectifs de l'inattention et de l'hyperactivité/impulsivité. Toutefois, la concordance entre ces tests et les évaluations des enseignants demeure faible (Warner-Rogers, Taylor, Taylor, & Sandberg, 2000), ce qui laisse entendre qu'ils mesurent des composantes différentes et possiblement complémentaires (Shemmassian & Lee, 2012) des dimensions du TDAH. Les études actuelles ne permettent pas de déterminer la mesure la plus valide et malgré leurs limites, les mesures par questionnaires demeurent les plus utilisées en recherche.

Dans la présente thèse, les dimensions du TDAH sont mesurées par des questionnaires administrés aux enseignants du primaire (études 1 et 3) et par des questionnaires administrés aux parents lors du secondaire (étude 2).

1.2.2 Prévalence

Les taux de prévalence des symptômes du TDAH varient en fonction de la définition, de la méthode et des critères diagnostiques (comme l'inclusion de critères quant à l'effet des difficultés sur le fonctionnement de l'enfant) ainsi que la personne qui rapporte les symptômes (Polanczyk, Silva de Lima, Lessa Horta, Biderman, & Rohde, 2007). Sur le plan populationnel, la prévalence du TDAH se situe autour de 5-12 %, avec une prévalence mondiale moyenne de 5.29 % (Polanczyk et al., 2007). Au Canada, les données de l'Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes (ELNEJ) ont montré que parmi 8638 enfants canadiens âgés de 6 à 9 ans (en 2006-2007), 4.1 % présentaient un diagnostic de TDAH rapporté par les parents (Brault & Lacourse, 2012). Ces prévalences

tendent à varier selon l'âge : elles sont plus élevées chez les enfants (6-11 ans) que chez les adolescents (12-18 ans) (Polanczyk et al., 2007). Elles tendent aussi à varier selon le sexe. Le ratio serait de 2 garçons pour 1 fille dans la population générale (Brault & Lacourse, 2012; Polanczyk et al., 2007). Le TDAH demeure néanmoins le trouble le plus prévalent à l'enfance et ses symptômes peuvent perdurer à l'adolescence et entraver le fonctionnement quotidien.

1.3 La dyslexie et les difficultés d'apprentissage

Les manifestations de dyslexie ont été notées pour la première fois au début du 19^{ième} siècle (voir Richardson, 1992 pour une perspective historique de la dyslexie). La dyslexie est définie comme un trouble d'apprentissage caractérisé par des difficultés à orthographier et à identifier des mots de façon exacte et fluide (APA, 2013; Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003). Le diagnostic de ce trouble peut être donné pendant l'école primaire. Il est basé sur l'atteinte d'un seuil à partir duquel la fréquence et la sévérité des manifestations interfèrent avec le fonctionnement ou le développement et persistent malgré des interventions ciblées. Alors que les enfants dyslexiques peuvent souvent aussi présenter des difficultés de compréhension en lecture, ces difficultés ne sont pas nécessaires pour établir un diagnostic.

Des difficultés en lecture peuvent apparaître dès le préscolaire (p. ex., difficultés avec l'apprentissage des lettres et leurs sons; difficultés en conscience phonologique), se poursuivre à l'école primaire (p. ex., difficultés avec les correspondances graphème-phonème, lecture de mots, fluidité, compréhension en lecture) et persister à l'adolescence (APA, 2013; Shaywitz et al., 1999, 2003) et à l'âge adulte (Shaywitz et al., 2003). Notamment, à l'adolescence, Hock et al. (2009) ont observé que, parmi 202 adolescents de 15 ans avec des difficultés en lecture, 61 % présentaient des difficultés en lecture de mots, en fluidité en lecture, en vocabulaire et en compréhension de lecture. De plus, parmi ceux qui présentaient un déficit en compréhension ($n = 195$; Brasseur-Hock, Hock, Kieffer, Biancarosa, & Deshler, 2011), environ 50 % avaient des difficultés généralisées en lecture et en langage (vocabulaire réceptif et compréhension orale de phrases) alors qu'environ

30 % avaient des difficultés spécifiques de fluidité en lecture. Ainsi, on observe différents profils chez les adolescents avec des difficultés en lecture et les difficultés de compréhension en lecture semblent y être dominantes. Donc, l'étude des différentes habiletés en lecture est justifiée, autant à l'enfance qu'à l'adolescence.

1.3.1 Habiletés en lecture et leurs mesures

La lecture est le processus par lequel le mot écrit est converti en son homologue sur le plan oral. Elle peut se faire par assemblage et par adressage. L'assemblage, aussi appelé décodage phonologique, réfère à la conversion des graphèmes (plus petite unité de sens de l'écrit, p. ex., la lettre *v*) en phonèmes (plus petite unité de sens à l'oral, p. ex., le son /v/), appelée la correspondance graphème-phonème, afin d'identifier les mots transcodés à l'écrit. Au fur et à mesure que les correspondances graphème-phonème sont apprises, l'enfant peut graduellement développer et utiliser la procédure d'adressage, qui consiste à traiter simultanément la séquence de lettres d'un mot écrit et à le reconnaître de façon automatique. Ce traitement simultané s'effectue à l'aide du lexique orthographique de l'enfant, qui se construit avec les représentations mentales des mots appris par l'enfant à travers l'exposition à la lecture, l'enseignement et l'expérience (Dalpé, Giroux, Lefebvre, & St-Pierre, 2010). La voie d'adressage devient alors utilisée de façon prioritaire alors que la voie d'assemblage demeure principalement utilisée pour les mots nouveaux ou complexes (Sprenger-Charolles & Colé, 2013). Malgré ces distinctions, la lecture de pseudo-mots et l'identification de mots sont fortement corrélées au début de l'apprentissage de la lecture ($r = .84$ à $.89$; Byrne et al., 2007, 2009), ce qui suggère que les enfants utilisent davantage l'assemblage, soit le décodage phonologique, pour identifier des mots au début du primaire.

La compréhension en lecture est le processus qui permet d'extraire le sens global du texte. Il implique des habiletés additionnelles à celles impliquées dans la lecture de mots et de pseudo-mots, comme le recours aux connaissances antérieures et la maîtrise de l'organisation des phrases (Keenan, Betjemann, Wadsworth, DeFries, & Olson, 2006; Woolley, 2011). Malgré ces distinctions importantes, la compréhension en lecture demeure fortement corrélée à la lecture de pseudo-mots en 1^{ère} ($r = .76$) et en 2^e année ($r = .69$) et à la lecture de mots en 1^{ère} ($r = .84$) et en 2^e année ($r = .73$) (Byrne et al., 2007, 2009). Ces

habiletés pourraient donc jouer un rôle central dans la compréhension en lecture, du moins à cette étape de l'apprentissage de la lecture. Ces résultats convergent avec ceux d'autres études (National Early Literacy Panel - NELP, 2008; Vellutino, Tunmer, Jaccard, & Chen, 2007). Keenan et al. (2006) ont toutefois observé une relation plus faible entre la compréhension en lecture et la lecture de mots ($r = .49$) chez des enfants plus âgés, soit de 8 à 17 ans ($M = 11$ ans). Dans une étude subséquente (Keenan, Betjemann, & Olson, 2008), ils ont montré que l'association entre la lecture de mots/pseudo-mots et la compréhension en lecture diminuait au cours de cette période. De plus, la lecture de mots/pseudo-mots était moins fortement associée à la compréhension de longs textes évaluée par des questions ouvertes qu'à la compréhension de courts passages évaluée par des questions fermées. Ces résultats justifient que la compréhension en lecture soit étudiée sur le plan développemental et que le type de mesures soit pris en compte.

L'automatisme ou la fluidité en lecture réfère à l'exactitude et à la vitesse lors de la lecture silencieuse ou à voix haute de mots et de textes, soit une lecture fluide et sans erreurs (National Reading Panel, 2000). Rasinski, Rikli et Johnston (2009) ajoutent que la fluidité en lecture consiste à lire un passage sans effort et sans erreurs ainsi qu'à interpréter ce qui est lu oralement. Des chercheurs ont montré que, durant l'enfance et l'adolescence, la lecture de mots/pseudo-mots est associée à la fluidité et la compréhension en lecture et que la fluidité en lecture est associée à la compréhension en lecture (Cirino et al., 2013; Kim, Wagner, & Foster, 2011; Nunes, Bryant, & Barros, 2012; Perfetti, Landi, & Oakhill, 2005; Price, Meisinger, Louwse, & D'Mello, 2015; Rasinski et al., 2005). Plus spécifiquement à l'adolescence, Cirino et al. (2013) ont étudié la lecture auprès de jeunes adolescents ($N = 1748$) avec ou sans difficulté en lecture. Ils ont montré que les différentes habiletés en lecture demeurent associées à l'adolescence, autant chez les adolescents avec ou sans difficulté en lecture : la lecture de mots et de pseudo-mots est associée à la fluidité en lecture ($r_s = .59$ et $.70$) et à la compréhension en lecture ($r_s = .67$ et $.74$) et la fluidité en lecture est aussi associée à la compréhension en lecture ($r_s = .55$ et $.62$). Des corrélations similaires entre la fluidité et la compréhension en lecture ($r_s = .32$ à $.62$) ont été obtenues chez de jeunes adolescents avec ou sans difficulté en lecture, variant selon les mesures de fluidité et de compréhension utilisées (Denton et al., 2011). De plus, des auteurs ont suggéré un ordre hiérarchique dans ces associations, dans lequel la lecture de mots et de

pseudo-mots prédit la fluidité, qui à son tour prédit la compréhension en lecture (Paige, Rasinski, & Magpuri-Lavell, 2012; Pikulski & Chard, 2005). Autrement dit, il semble qu'un enfant ou un adolescent qui a automatisé le processus de lecture effectue une lecture fluide, ce qui alloue plus de ressources cognitives à la compréhension en lecture (Dalpé et al., 2010).

La façon de mesurer ces habiletés diffère d'une étude à l'autre. Si certaines études évaluent les habiletés générales à l'aide de mesures rapportées par les parents ou les enseignants (p. ex., note en lecture à l'école ou évaluation subjective de la lecture par une tierce personne), des mesures objectives standardisées sont souvent préférées. La voie d'assemblage (i. e. décodage phonologique) peut être évaluée par des tâches de lecture de pseudo-mots ou l'identification de la correspondance entre un son et une ou des lettres qui le représentent. Des tâches de lecture de mots ou de textes à voix haute sont aussi souvent utilisées pour évaluer l'exactitude lors de la lecture, sans évaluer spécifiquement la voie d'assemblage ou d'adressage. La compréhension en lecture peut être évaluée par des tâches qui demandent de mimer une phrase lue, de choisir un mot manquant dans un passage, de sélectionner une image qui correspond à une phrase lue ou encore de répondre à des questions ouvertes sur le contenu d'un texte. Quant à la fluidité en lecture, elle peut être évaluée à l'aide de tâches de lecture (de mots ou de textes) qui comprennent des scores d'exactitude de la lecture orale, de la vitesse de la lecture orale, de la qualité de la lecture orale et de la compréhension (Pikulski & Chard, 2005). Toutes ces mesures peuvent être étudiées séparément ou être combinées en un score composite regroupant les habiletés en lecture (p. ex., Savage, Cornish, Manly, & Hollis, 2006; Willcutt, Pennington, Olson, Chhabildas, & Hulslander, 2005).

Dans la présente thèse, les habiletés en lecture sont évaluées par différentes mesures selon l'âge des enfants et selon les questions de recherche. Au début du primaire, une tâche de décodage de phonèmes (études 1 et 3), une tâche de lecture de mots (étude 1), une tâche de compréhension en lecture où l'enfant doit lire un passage et choisir un mot manquant (études 1 et 3) et une tâche de compréhension où l'enfant doit lire des phrases et les mimer (étude 1) sont utilisées. Étant donné la forte corrélation entre la tâche de lecture de mots et de décodage de phonèmes à cet âge, le terme « décodage » est privilégié. Au secondaire

(étude 2), les habiletés en lecture sont mesurées à l'aide d'une tâche de lecture de mots et d'une tâche de lecture d'un texte à voix haute qui génère des scores d'exactitude et de vitesse de lecture.

1.3.2 Prévalence

Sur le plan clinique, la prévalence de la dyslexie chez les enfants d'âge scolaire varie autour de 3-17.5 %, avec généralement plus de garçons atteints que de filles (APA, 2013; Miles, Haslum, & Wheeler, 1998; Pastor & Reuben, 2008; Rutter et al., 2004; Shaywitz, 1998). Au Canada, les données de l'Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes (ELNEJ) ont montré que parmi les enfants et adolescents âgés entre 6 et 15 ans, 4.9 % présentaient un trouble d'apprentissage rapporté par les parents, dont la dyslexie est le plus fréquent (Furrie, Armstrong, & Archer, 2007). Les taux de prévalence de la dyslexie varient en fonction de la définition, la méthode et des critères diagnostiques utilisés, ainsi que selon l'évaluateur. Plusieurs études confirment la présence de dyslexie à l'adolescence et l'âge adulte (p. ex., Shaywitz et al., 1999, 2003), mais il n'y a pas d'étude épidémiologique connue qui présente des taux de prévalence à ces âges.

1.4 La cooccurrence TDAH-difficultés en lecture

Les premières études sur la cooccurrence entre les difficultés en lecture et les dimensions du TDAH sont apparues au début des années 1990. La littérature à ce sujet est maintenant de plus en plus étoffée (voir Boada, Willcutt, & Pennington, 2012; Germanò, Gagliano, & Curatolo, 2010; Sexton, Gelhorn, Bell, & Classi, 2011 pour des revues scientifiques).

Quelques études ont tenté de quantifier la cooccurrence. Sur le plan clinique, le TDAH serait le trouble le plus souvent associé à la dyslexie (Maughan & Carroll, 2006). Les taux varient d'une étude à l'autre, mais il semble qu'entre 15-40 % des enfants avec un TDAH présente une dyslexie et qu'un taux similaire d'enfants avec une dyslexie présentent un TDAH (Gayán et al., 2005; Mayes, Calhoun, & Crowell, 2000; Willcutt & Pennington, 2000). La cooccurrence avec le TDAH s'étend aussi aux difficultés d'apprentissage. Une récente étude épidémiologique américaine révèle que ce sont 28 % des enfants avec un

trouble d'apprentissage ou un TDAH qui présentent l'autre trouble (Pastor & Reuben, 2008). Encore ici, cette cooccurrence est présente chez un nombre plus grand de garçons que de filles (Pastor & Reuben, 2008; Willcutt & Pennington, 2000). De plus, alors que le taux de cooccurrence est plus élevé chez les adolescents (12-17 ans) que les enfants (6-11 ans) dans l'étude de Pastor et Reuben (2008), Willcutt et Pennington (2000) n'ont pas vérifié les différences selon l'âge dans leur échantillon de 8-18 ans.

La cooccurrence demeure également présente lorsque les dimensions du TDAH et les difficultés en lecture sont mesurées dans des échantillons normatifs d'enfants et d'adolescents. Ces études montrent des associations modestes, mais significatives et constantes entre les habiletés/difficultés en lecture et les symptômes du TDAH chez les enfants et les jeunes adolescents (Ebejer et al., 2010; Greven, Harlarr, Dale, & Plomin, 2011; Greven, Rijdsdijk, Asherson, & Plomin, 2012; Paloyelis et al., 2010).

Compte tenu des observations constantes de cooccurrence, il apparaît nécessaire de mieux la comprendre, et ce, pour deux principales raisons. D'abord, les enfants qui présentent une cooccurrence dyslexie – TDAH sont plus à risque de présenter d'autres problèmes de comportement et de plus grandes difficultés sur les plans académique et psychosocial au cours de leur développement que les enfants n'ayant qu'un des deux diagnostics (Carroll, Maughan, Goodman, & Meltzer, 2005; Sexton et al., 2011; Willcutt & Pennington, 2000b; Willcutt, Betjemann, Pennington, et al., 2007). De plus, il semblerait que l'impact de cette cooccurrence sur le plan académique perdure à long terme (Sexton et al., 2011). Néanmoins, la recherche n'a pas encore élucidé pourquoi et comment cette cooccurrence survient à l'enfance et persiste à l'adolescence.

1.4.1 L'approche dimensionnelle dans l'étude de l'association entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture

La cooccurrence entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH a été empiriquement appuyée par des études cliniques et des études populationnelles qui ont utilisé une approche catégorielle, mais également une approche dimensionnelle, c'est-à-dire une approche qui considère tout le continuum du construit étudié. En effet, il est communément accepté que la dyslexie ou des problèmes de compréhension en lecture ainsi que le TDAH représentent l'extrême d'un continuum qui couvre d'une part des habiletés en

lecture et d'autre part l'ensemble des variations individuelles des capacités d'attention, d'hyperactivité et d'impulsivité (Levy, Hay, McStephen, Wood, & Waldman, 1997; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Makuch, 1992). En recherche, notamment auprès d'échantillons normatifs, il est de plus en plus commun de s'intéresser au développement des *habiletés* en lecture et des *dimensions* du TDAH sans se limiter aux diagnostics cliniques. Cette approche permet d'étudier l'ensemble des variations individuelles, incluant les enfants qui présentent un diagnostic, mais aussi les enfants dont les manifestations demeurent sous-cliniques (Willcutt et al., 2001).

Il y a plusieurs raisons de s'intéresser aux variations individuelles et aux manifestations sous-cliniques de ces troubles. Premièrement, les garçons sont davantage référés en clinique pour un TDAH ou une dyslexie que les filles. Or, dans une étude préliminaire menée dans un contexte normatif, nous avons démontré que même si l'intensité des symptômes d'inattention et d'hyperactivité est moins grande chez les filles, ces symptômes sont associés à des difficultés en lecture aussi importantes que celles observées chez les garçons (Plourde et al., 2012). Les études dans un contexte normatif permettent donc d'étudier un plus grand nombre de filles, ce qui permet d'élucider de possibles différences de genre. Deuxièmement, l'utilisation d'une telle approche permet de tester tout le continuum de plusieurs habiletés en lecture (p. ex., décodage, compréhension en lecture et fluidité) et des deux dimensions du TDAH. Elles peuvent alors être quantifiées séparément pour mieux comprendre si certains construits sont plus reliés entre eux. Troisièmement, étant donné la diminution de la sévérité des symptômes du TDAH à l'adolescence, surtout les symptômes d'hyperactivité, il s'avère pertinent d'étendre l'étude du continuum des manifestations à cette période du développement. Enfin, l'approche dimensionnelle offre une plus grande puissance statistique par la prise en compte de l'ensemble des variations (Levy, Hay, McStephen, Wood, & Waldman, 1997).

L'étude de la cooccurrence est donc abordée sous cet angle dans la thèse, à l'aide de deux larges échantillons, l'Étude des jumeaux nouveau-nés du Québec (EJNQ) et l'Étude longitudinale des enfants du Québec (ELDEQ).

1.5 Les modèles explicatifs de la cooccurrence TDAH-difficultés en lecture

Des chercheurs ont commencé à s'intéresser aux mécanismes sous-jacents à la cooccurrence entre les difficultés en lecture et les symptômes du TDAH au courant des années 1990. Plusieurs hypothèses ont depuis été proposées pour expliquer comment se développe cette cooccurrence.

1.5.1 Hypothèses artéfactuelles ou méthodologiques

Plusieurs chercheurs ont examiné de possibles artéfacts ou problèmes méthodologiques pouvant expliquer les cooccurrences observées (Angold et al., 1999; Caron & Rutter, 1991; Pennington, 2006; Pennington, Willcutt, & Rhee, 2005). En ce qui a trait à la cooccurrence difficultés en lecture – TDAH, ils concluent qu'elle ne peut être attribuable au hasard. Ils concluent aussi qu'elle n'est pas attribuable aux biais suivants.

Une première possibilité est que la cooccurrence, lorsqu'elle est étudiée auprès d'une population clinique, puisse être due à un *biais de sélection*. L'hypothèse est que les enfants référés en clinique présentent plus de problèmes que la population générale, ce qui augmenterait la probabilité d'observer une cooccurrence. Toutefois, les études recensées montrent que l'association est aussi présente dans des échantillons normatifs, ce qui permet d'exclure ce possible biais.

Une seconde possibilité est un *biais de l'informant* où la cooccurrence entre deux problèmes est amplifiée du fait qu'ils sont rapportés par le même répondant. Toutefois, plusieurs études recensées rapportent des associations similaires entre le TDAH et les difficultés en lecture quand les mesures proviennent de sources différentes, alors ce biais semble peu probable.

Un dernier élément pouvant amplifier la cooccurrence de deux problèmes est un possible *biais de chevauchement* des symptômes. Il faut donc s'assurer que la cooccurrence demeure après avoir retiré les symptômes qui se recoupent. Cet élément doit surtout être considéré lorsqu'il s'agit de comorbidité homotypique, c'est-à-dire entre des troubles de la même catégorie diagnostique (Angold et al., 1999). Or, l'association entre les difficultés en lecture et le TDAH est appelée comorbidité hétérotypique (Pennington, 2006) car leurs

difficultés ne sont pas de la même catégorie diagnostique, l'un touchant la modalité du langage et l'autre le comportement. Il est donc peu probable que la cooccurrence s'explique par un chevauchement de symptômes.

1.5.2 Premières hypothèses non artéfactuelles

Alors que les chercheurs ont d'abord proposé des modèles généraux de cooccurrence de troubles mentaux (Neale & Kendler, 1995), des modèles spécifiques à la cooccurrence entre les difficultés en lecture et le TDAH ont été proposés plus récemment. À ce jour, plusieurs s'entendent pour dire que le modèle « *Multiple Cognitive Deficit* » (Pennington, 2006) offre un cadre détaillé de la cooccurrence entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH. Toutefois, plusieurs propositions théoriques préalables ont contribué à la mise en place de ce modèle (Germanò et al., 2010; Pennington, 2006; Pennington et al., 2005; Sexton et al., 2011). La section qui suit présente ces modèles.

L'hypothèse du « *Cross-assortment* » (Faraone et al., 1993) postule que la cooccurrence entre les difficultés en lecture et le TDAH s'explique par une union non aléatoire par lequel les conjoints des personnes avec un TDAH présenteraient un taux plus élevé de troubles d'apprentissage par rapport à ce qui est attendu au niveau du hasard. Par contre, des résultats infirment cette hypothèse (Friedman, Chhabildas, Budhiraja, Willcutt, & Pennington, 2003).

L'hypothèse de la « *Phenocopy* » (Pennington, Groisser, & Welsh, 1993) propose que les difficultés en lecture « causent » les symptômes observés du TDAH. De plus, cette hypothèse (Pennington et al., 1993) postule une double dissociation entre les déficits sous-jacents à la dyslexie ou au TDAH. Chacun s'expliquerait par un déficit spécifique (*Single cognitive deficit model*; Pennington, 2006), un déficit phonologique pour la dyslexie et un déficit exécutif d'inhibition pour le TDAH. D'ailleurs, Pennington et al. (1993) ont montré que les enfants avec dyslexie seule présentaient un déficit phonologique unique et que ceux avec un TDAH seul présentaient un déficit exécutif d'inhibition unique. Or, les enfants avec une dyslexie et un TDAH présentaient un déficit phonologique seulement, ce qui supporte leur hypothèse que les symptômes du TDAH sont secondaires aux difficultés en lecture chez ces enfants. Ces résultats n'ont toutefois pas été répliqués; plusieurs chercheurs

ont observé que les enfants avec une dyslexie et un TDAH présentaient une combinaison des déficits phonologique et exécutif (Nigg, Hinshaw, Carte, & Treuting, 1998; Rucklidge & Tannock, 2002; Willcutt et al., 2001). Ces études et d'autres (p. ex., Willcutt et al., 2005) concluent que la dyslexie et le TDAH présentent un chevauchement génétique et cognitif sans en préciser la nature exacte. Un nouveau modèle théorique multidimensionnel de cette cooccurrence s'est donc imposé (Pennington, 2006).

1.5.3 Modèle à déficits cognitifs multiples « *multiple cognitive deficit model* »

Le modèle théorique dominant est basé sur l'hypothèse d'un trouble de déficits cognitifs multiples « *Multiple cognitive deficit disorder* » qui postule la présence d'un désordre sous-jacent commun, aux causes multiples et qui se manifeste par des déficits fonctionnels touchant plusieurs aspects du développement. Cinq prémisses sont à la base de ce modèle (Pennington, 2006, p. 404, traduction libre) :

- (1) l'étiologie des troubles comportementaux complexes est multifactorielle et elle implique l'interaction de multiples facteurs de risque et de protection;
- (2) ces facteurs de risque et de protection altèrent le développement des fonctions cognitives nécessaires au développement normatif, ce qui entraîne des symptômes comportementaux qui définissent ces troubles;
- (3) un facteur étiologique seul est insuffisant pour expliquer un trouble et plusieurs facteurs sont plutôt nécessaires;
- (4) conséquemment, la cooccurrence entre ces troubles complexes est attendue étant donné le partage de facteurs de risque étiologiques et cognitifs; et
- (5) la distribution de l'étiologie d'un trouble donné est souvent continue plutôt que catégorielle, le seuil pour présenter le trouble étant alors quelque peu arbitraire.

Appliqué à la cooccurrence des habiletés en lecture et des dimensions du TDAH, ce modèle propose que chacun possède des facteurs étiologiques et cognitifs qui lui sont propres, mais certains autres en commun. Ce sont les facteurs qui sont communs aux deux qui expliquent leur cooccurrence.

Ce modèle explicatif comprend quatre niveaux d'analyse, soit les niveaux étiologique, neural, cognitif et symptomatique, qui ensemble permettent de rendre compte

des multiples causes de la cooccurrence de troubles complexes (Pennington, 2006). Brièvement, le niveau étiologique représente les sources d'influence qui se situent en amont des processus développementaux, notamment les inter-relations entre les prédispositions génétiques et les sources d'influence environnementale. Ces facteurs de risque étiologiques peuvent avoir un impact sur le second niveau, le niveau neural, en affectant le développement ou le fonctionnement d'un ou de plusieurs systèmes neuraux (p. ex., par un phénomène de pléiotropie, où plusieurs fonctions sont affectées par une cause commune). Par un effet de cascade, ces facteurs de risque peuvent avoir un impact au troisième niveau, le niveau cognitif, où le risque se traduit par une altération du fonctionnement cognitif. Ce niveau rassemble plusieurs construits cognitifs qui seraient impliqués à la fois dans les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH. Enfin, le quatrième niveau, le niveau symptomatique, représente les symptômes observables ainsi que la présence concomitante de difficultés, notamment en lecture et sur les plans de l'attention et de l'hyperactivité. Selon Pennington, les études empiriques doivent élucider les liens entre les quatre niveaux d'analyse, ainsi que la contribution relative des facteurs étiologiques, neuraux et cognitifs à la cooccurrence au niveau symptomatique.

À sa base, ce modèle peut être vu comme une extension de l'hypothèse des gènes généralistes (Plomin & Kovas, 2005) qui suggère que des phénotypes peuvent être associés en raison d'un partage de gènes communs. Le terme « généraliste » fait référence à un effet sur plusieurs phénotypes d'un ou plusieurs gènes. Les gènes généralistes pourraient donc correspondre au niveau étiologique proposé par Pennington (2006). Toutefois, sa proposition va plus loin en incorporant les niveaux neural, cognitif et symptomatique en commun possiblement impliqués dans cette cooccurrence.

Un autre modèle plus spécifique à l'association inattention-lecture propose un rôle plus causal de l'inattention sur la lecture de par son impact sur le développement d'habiletés cognitives. Ce modèle de médiation propose que l'inattention pourrait interférer avec l'acquisition de certaines habiletés cognitives, notamment celles qui sont impliquées en lecture (Dally, 2006; Martinussen, Grimbos, & Ferrari, 2014; Sims & Lonigan, 2013). Ce modèle peut être vu comme une extension du modèle de Pennington (2006) étant donné qu'il propose des mécanismes de médiation spécifiques au niveau cognitif.

Les modèles présentés ne sont donc pas mutuellement exclusifs. En fait, des habiletés cognitives spécifiques pourraient expliquer l'association TDAH-lecture en raison d'un effet indirect de l'inattention sur la lecture et/ou en raison de facteurs étiologiques (p. ex., génétiques) qu'elles partagent avec l'inattention et la lecture. Ainsi, la présente thèse s'inscrit dans la foulée du modèle de Pennington ainsi que des propositions connexes décrites ci-haut. Elle documente plus spécifiquement les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture sur le plan symptomatique, puis étiologique et cognitif.

La première étude a été réalisée auprès des enfants participant à deux études longitudinales québécoises normatives, soit l'ELDEQ et l'EJNQ. Dans le cadre de l'étude, les données recueillies alors que les enfants avaient entre 6 et 8 ans sont utilisées. Elle vise à répondre aux questions suivantes :

- 1) Quelles sont les associations phénotypiques et étiologiques (génétiques et environnementales) entre chaque dimension du TDAH (inattention et hyperactivité/impulsivité) et les habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) et est-ce que ces associations diffèrent selon l'habileté en lecture mesurée?
- 2) Quelle est l'étiologie génétique et environnementale des habiletés en lecture, des dimensions du TDAH et de leurs associations?

La seconde étude a été réalisée auprès des jeunes de l'EJNQ alors qu'ils étaient au secondaire, âgés de 14-15 ans. Elle vise à répondre aux questions suivantes :

- 1) Est-ce que les associations phénotypiques entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture persistent à l'adolescence?
- 2) Si oui, quel rôle jouent les facteurs étiologiques génétiques et environnementaux dans ces associations à cette période du développement?

La troisième étude a aussi été réalisée auprès des enfants de l'EJNQ alors qu'ils étaient âgés entre 6 et 8 ans. Elle s'intéresse au niveau cognitif du modèle de Pennington et vise à répondre aux questions suivantes :

- 1) Quels sont les mécanismes cognitifs impliqués dans l'association entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture?
- 2) Est-ce que ces mécanismes diffèrent selon l'habileté en lecture mesurée (décodage et compréhension en lecture)?
- 3) Est-ce que les mécanismes cognitifs impliqués partagent des facteurs étiologiques (génétiques et environnementaux) avec les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture?

1.6 Associations phénotypiques et génétiques entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH

1.6.1 Études phénotypiques à l'enfance

Étant donné la cooccurrence entre la dyslexie et le TDAH sur le plan clinique, plusieurs chercheurs ont étudié le possible chevauchement de leurs caractéristiques étiologiques et symptomatiques sur le plan normatif. Dans ces études, les associations entre différentes habiletés en lecture et les dimensions du TDAH au début du primaire varient entre -.10 et -.55 selon les études (Ebejer et al., 2010; Greven et al., 2011, 2012; Paloyelis et al., 2010; Rabiner & Coie, 2000).

Dans certaines de ces études, les chercheurs se sont intéressés à documenter si l'une des dimensions du TDAH était plus fortement associée à la lecture que l'autre. Plusieurs d'entre elles rapportent une association plus forte entre la lecture et l'inattention qu'entre la lecture et l'hyperactivité avec des mesures rapportées par les parents et/ou les enseignants. Notamment, Rodriguez et al. (2007) ont rapporté que la sévérité de l'inattention et l'hyperactivité évaluées par les enseignants chez 13 087 enfants de 7 à 8 ans et de 10 à 12 ans prédit les difficultés en lecture évaluées par les enseignants, mais que la prédiction est plus forte pour l'inattention que pour l'hyperactivité. De même, Paloyelis et al. (2010) ont observé une corrélation plus élevée entre les difficultés en lecture et l'inattention ($r = .51$), qu'entre les difficultés en lecture et l'hyperactivité/impulsivité ($r = .22$) dans un échantillon de 1312 jumeaux âgés de 7.9 à 10.9 ans. La lecture était évaluée par un questionnaire de six

items administré aux parents (difficultés en orthographe, difficultés à apprendre le nom des lettres et le son des mots, lit lentement, lit sous le niveau attendu, demande de l'aide additionnelle en lecture ou habileté à orthographier à l'école) et les dimensions du TDAH étaient évaluées par les enseignants et les parents. Enfin, Greven et al. (2012) ont rapporté des corrélations entre la lecture évaluée par les enseignants et les dimensions du TDAH évaluées par les parents d'enfants âgés de 7 à 8 ans (lecture et inattention : $r = -.29$; lecture et hyperactivité/impulsivité : $r = -.15$) qui vont dans le même sens, quoi que moins élevées, que celles de Paloyelis et al. (2010).

D'autres études rapportent des résultats similaires avec des mesures objectives de lecture, soit par l'évaluation directe de l'enfant. Ebejer et al. (2010) ont étudié le même échantillon de jumeaux ($N = 1978$) que Byrne et al. (2007, 2009) en utilisant un score combiné de lecture de mots et de pseudo-mots à l'aide de mesures objectives ainsi que l'évaluation des dimensions du TDAH par les parents et les enseignants. En 1^{ère} et 2^e année du primaire, les corrélations étaient significatives entre la lecture et l'inattention (1^{ère} année : $r = -.29$; 2^e année : $r = -.27$) et significatives, mais plus faibles entre la lecture et l'hyperactivité/impulsivité (1^{ère} année : $r = -.10$; 2^e année : $r = -.12$). Par ailleurs, Rabiner et Coie (2000) ont rapporté des corrélations significatives encore plus élevées entre la lecture de mots et l'inattention évaluée par l'enseignant ($r = -.55$), ainsi qu'entre la lecture de mots et l'hyperactivité évaluée par les enseignants ($r = -.34$) auprès de 387 enfants en 1^{ère} année du primaire. Les enfants de cette dernière étude ont néanmoins été recrutés dans des écoles situées dans des communautés défavorisées, ce qui peut en partie expliquer pourquoi les corrélations obtenues sont plus fortes que celles des autres études. Nonobstant les différences quant à la force des relations, le lien plus étroit observé entre l'inattention et les difficultés en lecture semble constant.

Une lacune des études présentées est l'omission de la compréhension en lecture comme habileté en lecture. Même si des études montrent que le décodage et la compréhension en lecture sont associés, les associations demeurent modérées, ce qui suggère que différentes mesures de lecture pourraient être différemment associées aux dimensions du TDAH (Byrne et al., 2007, 2009; Keenan et al., 2006). Toutefois, peu d'études ont porté sur les associations entre la compréhension en lecture et les dimensions

du TDAH sur le plan normatif. Comme la compréhension en lecture implique des habiletés qui peuvent exercer une demande cognitive plus grande que le décodage, notamment pour mobiliser l'attention et extraire un sens du texte (Dalpé et al., 2010), il est possible que la compréhension en lecture soit aussi plus fortement associée avec l'inattention qu'avec l'hyperactivité (Greven et al., 2011).

Sur le plan clinique, une étude de 42 enfants avec TDAH ($n = 21$) et sans TDAH ($n = 21$) a montré que les enfants avec un diagnostic de TDAH présentaient plus de difficultés en compréhension de lecture que les enfants sans TDAH (Brock & Knapp, 1996). Samuelsson, Lundberg, and Herkner (2004) ont obtenu un résultat similaire auprès de 100 hommes adultes, dont 24 avaient un diagnostic de TDAH. Ils ont suggéré que la compréhension en lecture pouvait être plus affectée par le TDAH que le décodage parce que ce dernier est automatisé chez les adultes. Chez les enfants, les deux mesures de lecture pourraient être associées au TDAH parce que le décodage n'est pas encore automatisé. Les deux habiletés en lecture demanderaient donc un contrôle et une mobilisation des ressources attentionnelles. On peut donc s'attendre à ce que la compréhension soit aussi associée à l'inattention à l'enfance.

Sur le plan normatif, peu d'études ont évalué l'association entre les dimensions du TDAH et la compréhension en lecture. Greven et al. (2011) ont évalué 6428 paires de jumeaux à 12 ans avec des mesures de décodage de mots et de compréhension en lecture et des évaluations d'inattention et d'hyperactivité par les parents. Leurs résultats pour le décodage étaient semblables aux études décrites plus haut (Ebejer et al. 2010; Greven et al., 2012; Paloyelis et al., 2010), soit une corrélation de -0.23 avec l'inattention et de -0.13 avec l'hyperactivité/impulsivité. La corrélation entre l'inattention et la compréhension ($r = -0.22$) était semblable à celle avec le décodage alors que l'hyperactivité/impulsivité était plus fortement corrélée à la compréhension ($r = -0.20$) qu'au décodage. Giannopulu, Escolano, Cusin, Citeau et Dellatolas (2008) ont observé des résultats allant dans le même sens auprès de 462 enfants en 1^{ère} année du primaire avec des mesures de compréhension en lecture, mais aussi de lecture de mots et de pseudo-mots et en identifiant des groupes extrêmes sur les symptômes du TDAH (15 % des enfants avec les scores supérieurs d'inattention ou d'hyperactivité évaluée par les enseignants). Leurs résultats ont montré une contribution de

l'inattention aux mesures de décodage et de compréhension et une contribution plus faible, mais significative de l'hyperactivité seulement à la mesure de compréhension en lecture. Ainsi, cette étude et celle de Greven et al. (2011) montrent que l'inattention est liée de façon semblable au décodage et à la compréhension, mais que l'hyperactivité semble plus fortement associée à la compréhension. Ces études ont toutefois évalué des enfants d'âges différents, ce qui fait que des différences selon l'âge et l'automatisation des processus pourraient avoir été masquées. De plus, Giannopulu et al. (2008) ont identifié des groupes extrêmes chez lesquels les associations pourraient différer de celles d'un échantillon normatif.

D'autres chercheurs n'ont pas observé des associations entre l'hyperactivité et la compréhension en lecture de force similaire à celles entre l'inattention et la compréhension en lecture. Récemment, Little, Hart, Schatschneider et Taylor (2014) ont plutôt montré chez 691 paires de jumeaux de la 3^e année au primaire à la 7^e année que l'inattention rapportée par les parents était plus fortement associée aux difficultés de compréhension en lecture ($r = .28$ à $.40$) que l'hyperactivité ($r = .17$ à $.30$). De même, Pham (2013) a montré que l'hyperactivité n'apporte pas de contribution unique à la compréhension en lecture. À l'aide d'une mesure objective de compréhension en lecture auprès de 131 enfants de 8 à 11 ans, ainsi que des évaluations d'inattention, hyperactivité et impulsivité par les parents et les enseignants, il a montré que l'inattention contribue de façon unique à la prédiction de la compréhension (11 % de la variance) quand le genre, le rendement intellectuel et le statut socioéconomique sont contrôlés, alors que ce n'est pas le cas de l'hyperactivité et de l'impulsivité. Ces résultats suggèrent que la contribution de l'hyperactivité/impulsivité au rendement en compréhension serait négligeable. Compte tenu des résultats divergents entre les études recensées, d'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre les patrons d'association.

1.6.2 Études phénotypiques à l'adolescence

Il est difficile de généraliser les résultats obtenus au début du primaire à l'adolescence, et ce, pour plusieurs raisons. D'abord, plusieurs changements se produisent durant l'adolescence, sur les plans hormonal, cérébral et comportemental (Peper & Dahl, 2013). C'est également une période de changements environnementaux en lien avec les

apprentissages. Par exemple, les demandes à l'école au secondaire sont plus élevées qu'au primaire, que ce soit au niveau cognitif dans les cours (p. ex., avoir de plus longues heures de cours, prendre des notes en écoutant, comprendre et intégrer l'information lue), ou aux niveaux social et relationnel (p. ex., changements dans les relations avec les amis et les parents, changements dans les activités sociales, parascolaires et extrascolaires). De plus, les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH évoluent durant l'adolescence. Les habiletés en lecture se perfectionnent et deviennent plus automatisées, même chez les moins bons lecteurs et les symptômes d'hyperactivité tendent à diminuer. Il est donc possible que les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture évoluent également durant cette période. Toutefois, les études sur les associations entre différentes habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'adolescence sont peu nombreuses.

Le premier constat des études à l'adolescence est que les associations entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH semblent perdurer durant cette période. Une méta-analyse réalisée par Frazier et al. (2007) incluait 72 études publiées depuis 1990 avec des enfants, des adolescents ou des adultes, dont sept auprès d'échantillons cliniques d'adolescents. Leurs résultats ont montré que les déficits en lecture diminuaient de l'enfance à l'âge adulte chez les jeunes avec un TDAH. Néanmoins, les symptômes du TDAH étaient associés au rendement en lecture de la jeune enfance jusqu'à l'âge adulte, et ce, de façon similaire pour les garçons et les filles, avec des mesures rapportées par les parents et les enseignants ou des mesures objectives. Il semble donc que la cooccurrence entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH persiste, mais puisse diminuer à l'adolescence.

Peu d'études à l'adolescence ont investigué séparément différentes habiletés en lecture et leurs associations avec les dimensions du TDAH. Ghelani, Sidhu, Jain, & Tannock (2004) sont les seuls au meilleur de notre connaissance à avoir évalué la fluidité en lecture et la compréhension en lecture chez des adolescents avec un TDAH et/ou un diagnostic de dyslexie ($N = 96$, 14-17 ans). Ils ont étudié 32 jeunes avec un TDAH seul, 20 jeunes avec une dyslexie seule, 19 avec un TDAH et une dyslexie et 25 participants contrôles. Les résultats ont montré que les adolescents avec un TDAH seul étaient plus

lents lors de la lecture d'un texte à voix haute comparativement aux participants contrôles et ce, après avoir pris en compte le rendement intellectuel. De plus, les adolescents avec dyslexie seule ou TDAH et dyslexie étaient plus lents pour lire un texte à voix haute et ils ont obtenu de plus faibles scores d'exactitude lors de la lecture du texte et de compréhension en lecture comparativement aux participants contrôles. Ainsi, les difficultés en lecture demeurent présentes à l'adolescence chez les participants avec un TDAH seul et non seulement chez ceux avec une dyslexie seule ou un TDAH et une dyslexie.

Toutes ces études sur les associations entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'adolescence ont utilisé des échantillons cliniques et une approche catégorielle pour classer les participants. Une seule étude recensée (Rogers, Hwang, Toplak, Weiss, & Tannock, 2011) a utilisé un échantillon clinique et une approche dimensionnelle pour étudier les associations entre les dimensions du TDAH et différentes habiletés en lecture à l'adolescence. L'échantillon clinique était composé de 145 adolescents âgés de 13 à 18 ans, avec un TDAH clinique ou sous-clinique. Des corrélations ont été calculées entre les dimensions du TDAH évaluées par l'enseignant et le rendement en lecture, avec un score composite regroupant l'identification de lettres et de mots, la fluidité en lecture et la compréhension d'un passage. Les résultats ont montré une corrélation modeste entre l'inattention et la lecture ($r = -.26$) alors que la corrélation entre l'hyperactivité et la lecture n'était pas significative ($r = -.08$).

Cette étude permet d'émettre l'hypothèse que l'inattention demeure la dimension du TDAH la plus associée à la lecture durant l'adolescence. Toutefois, comme cette étude a été effectuée avec un échantillon clinique, il demeure difficile de la comparer aux études effectuées à l'enfance avec une approche dimensionnelle et un échantillon populationnel (Ebejer et al., 2010; Greven et al., 2011, 2012; Little et al., 2014; Paloyelis et al., 2010; Pham, 2013; Plourde et al., 2015; Rabiner & Coie, 2000). En utilisant un échantillon populationnel, les enfants à tous les niveaux d'inattention et de compétence en lecture sont considérés, ce qui élimine les possibles biais associés à la sélection d'un échantillon clinique. Une approche dimensionnelle avec un échantillon populationnel ciblant des âges précis permet aussi d'étudier les différences individuelles et les différences développementales en comparant les associations entre les habiletés en lecture et les

dimensions du TDAH à l'adolescence avec celles obtenues à l'enfance. Les seules études connues en début d'adolescence auprès d'un échantillon populationnel avec une approche dimensionnelle sont celles de Greven et al. (2011, 2012). En 2011, ils ont étudié les associations entre les dimensions du TDAH évaluées par les parents et enseignants et les habiletés de décodage et de compréhension en lecture chez 6428 paires de jumeaux âgés de 12 ans. Les associations entre l'inattention et les habiletés en lecture ($r_s = -.23$ et $-.22$) étaient modestes et plus grandes que celles avec l'hyperactivité ($r_s = -.13$ et $-.20$). En 2012, ils ont étudié les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture évaluées par les parents et enseignants à l'enfance et l'adolescence chez les mêmes jumeaux. Leurs résultats ont montré qu'au début de l'adolescence (11-12 ans), l'association entre l'inattention et la lecture ($r = -.26$) était modeste et plus grande que celle entre l'hyperactivité et la lecture ($r = -.17$). Toutefois, ces études s'intéressaient à de jeunes adolescents (Greven et al., 2011, 2012) alors que le patron peut évoluer chez des adolescents plus âgés. De plus, les mesures de lecture étaient rapportées par les parents et les enseignants (Greven et al., 2012), ce qui n'a pas permis de considérer des habiletés spécifiques en lecture.

1.6.3 Études de jumeaux

1.6.3.1 Introduction aux études en génétique comportementale

Une approche génétiquement informative permet d'aborder l'étiologie des habiletés en lecture, des dimensions du TDAH et de leur cooccurrence sous l'angle des contributions génétiques et environnementales sous-jacentes. Cette approche permet d'abord de déterminer dans quelle proportion, prise individuellement, les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH s'expliquent par des facteurs génétiques ou environnementaux. Ensuite, elle permet de vérifier dans quelle mesure leur cooccurrence est due à des facteurs génétiques ou environnementaux en commun qui augmenteraient le risque de présenter ces deux problématiques en même temps (Willcutt et al., 2010).

Deux grandes catégories d'études sont utilisées en génétique comportementale. Les études familiales portent sur les membres d'une famille dont on connaît la relation filiale pour évaluer s'ils présentent une prévalence plus élevée d'un trouble ou une problématique

déjà présente dans la famille. Elles permettent donc d'observer si des facteurs familiaux augmentent la susceptibilité de présenter un trouble. De la même façon, il est possible d'observer si la présence d'un trouble chez un membre de famille est associée à l'augmentation de la présence d'un autre trouble (p. ex., est-ce que l'enfant qui a une mère avec un TDAH a plus de risque de présenter une dyslexie?). Avec une telle approche, Friedman et al., (2003) ont observé que les enfants de parents qui présentaient une dyslexie ont deux à trois fois plus de risque de présenter un TDAH et que les enfants de parents qui présentaient un TDAH ont deux à trois fois plus de risque de présenter une dyslexie. Les études familiales demeurent néanmoins limitées : elles documentent le rôle de facteurs familiaux, mais ne permettent pas de conclure sur la nature précise de ces facteurs, notamment de départager les facteurs génétiques des facteurs environnementaux que parents et enfants ont en commun et qui font que parents et enfants peuvent se ressembler (Willcutt et al., 2010).

Des études plus informatives sur le plan de l'appariement génétique, dont font partie les études de jumeaux et d'adoption, offrent la possibilité de départager les contributions génétiques de celles qui sont attribuables à l'environnement. La logique est basée sur la comparaison de paires d'individus qui varient systématiquement quant à leur relation génétique. Par exemple, les jumeaux monozygotes (MZ) ou identiques sont nés d'un seul ovule fertilisé et partagent 100 % de leur bagage génétique. Les jumeaux dizygotes (DZ) ou fraternels, par ailleurs, proviennent de deux ovules fertilisés au même moment et ils partagent en moyenne 50 % de leur bagage génétique, tout comme les frères et sœurs issus de grossesses différentes (DiLalla, Mullineaux, & Elam, 2009). L'objectif est alors de déterminer dans quelle mesure les individus les plus semblables sur le plan génétique le sont aussi sur le plan phénotypique, soit sur tout trait observable.

La quantification de la ressemblance est donc centrale à cette approche. La ressemblance entre les jumeaux MZ et les jumeaux DZ sur un trait observé peut être quantifiée par des taux de concordance, soit par le calcul de corrélations tétrachoriques (pour la présence ou l'absence d'un trouble) ou encore par celui de corrélations intraclasses (pour une mesure de la sévérité du trouble ou tout autre trait observable sur une échelle continue). La comparaison des ressemblances permet d'estimer dans quelle proportion les

différences individuelles sur un trait sont liées à des facteurs génétiques et environnementaux. Si la ressemblance est plus grande pour les jumeaux MZ que DZ, cela indique que des contributions génétiques sont en cause. Si les jumeaux sont très semblables, qu'ils soient MZ ou DZ, cela indique que des facteurs environnementaux qui rendent semblables les enfants d'une même famille sont en cause. Enfin, toute dissemblance entre jumeaux MZ est par ailleurs indicatrice d'une source de variation provenant de facteurs environnementaux propres à chaque enfant ou à l'erreur de mesure.

En génétique comportementale, l'héritabilité (h^2 ou A) est le construit qui réfère à la proportion de variance phénotypique, par exemple la variation entre individus sur une mesure de lecture, attribuable aux facteurs génétiques. L'héritabilité permet de quantifier l'effet des facteurs génétiques sur les variations phénotypiques (i. e. variations des caractéristiques observables), sans observer directement le génome. Dans une étude de jumeaux par exemple, elle s'estime grossièrement en soustrayant la ressemblance (i. e. corrélation ou concordance) des DZ pour un trait de celle des MZ et en doublant cette différence (DiLalla et al., 2009). Les facteurs environnementaux se présentent sous deux types. L'environnement partagé ou commun (c^2 ou C) réfère aux facteurs qui augmentent la similarité entre les jumeaux d'une même famille au-delà de leur similarité génétique (p. ex., voisinage, pratiques parentales, etc.). L'environnement non partagé ou unique (e^2 ou E) est celui qui rend les jumeaux d'une même famille différents indépendamment de leur ressemblance génétique, donc qui affecte différemment chaque jumeau d'une famille (p. ex., maladie, différents amis, conduites parentales différenciées, etc.).

L'estimation des proportions des variations entre individus qui s'expliquent par l'un ou l'autre de ces facteurs peut être réalisée de façon plus directe par le biais de modèles d'analyses univariées estimant les contributions des facteurs génétiques et environnementaux. Pour étudier les facteurs génétiques et environnementaux qui expliquent la covariation entre deux ou plusieurs traits, des modèles d'analyses multivariées peuvent être testés sur la base des mêmes principes. Ces estimés multivariés sont basés sur les corrélations croisées dites « cross-trait, cross-twin » (CTCT). Par exemple, la corrélation entre le trait A d'un jumeau et le trait B de son co-jumeau permet de dire dans quelle mesure les corrélations entre les traits A et B s'expliquent par des facteurs génétiques en

commun (plus grande corrélation CTCT des jumeaux MZ que DZ; il s'agit d'une corrélation génétique) ou par des facteurs environnementaux en commun (corrélations similaires non nulles CTCT des jumeaux MZ et DZ) ou environnementaux uniques (corrélations CTCT des MZ qui dévient de 1) (Posthuma, 2009). La corrélation génétique entre deux traits est indépendante de leur héritabilité, c'est-à-dire que les deux traits peuvent être très héritables, mais présenter une faible corrélation génétique ou l'inverse (Plomin et al., 2008). Par extension, des modèles plus complexes permettent d'estimer les contributions génétiques, de l'environnement commun et de l'environnement unique aux associations entre plusieurs traits, par exemple, entre les habiletés en lecture, les dimensions du TDAH et de possibles construits cognitifs impliqués dans leur association. Par exemple, le modèle « common-factor independent-pathway » permet d'estimer les facteurs spécifiques à chaque trait ainsi que leurs contributions partagées à la base des corrélations observées (Purcell, 2008).

1.6.3.2 Résultats des études de jumeaux sur les habiletés en lecture, les dimensions du TDAH et leur association à l'enfance

Plusieurs chercheurs ont estimé les contributions génétiques et environnementales aux habiletés en lecture, aux comportements liés au TDAH et à leur association. La lecture est l'un des phénotypes les plus étudiés en génétique du comportement et les estimés de contributions génétiques et environnementales sont très constants d'une étude à l'autre et d'une mesure de lecture à une autre. Paloyelis et al. (2010) ont estimé l'héritabilité des difficultés en lecture évaluées par les parents à 74 %, auprès de 1312 jumeaux de 7.9 à 10.9 ans. Les études génétiquement informatives qui ont quantifié l'héritabilité de la lecture ou des difficultés en lecture à l'aide de mesures objectives ont obtenu des résultats similaires. Byrne et al. (2007, 2009) ont évalué le décodage phonologique (lecture de pseudo-mots), la lecture de mots et la compréhension en lecture chez 319 paires de jumeaux en 1^{ère} année du primaire et 615 paires de jumeaux en 2^e année. Ils ont observé une héritabilité substantielle pour la lecture de pseudo-mots (1^{ère} année : 71 %; 2^e année : 74 %), une contribution non-significative de l'environnement commun (1^{ère} année : 3 %; 2^e année : 7 %) et une contribution modeste de l'environnement unique (1^{ère} année : 27 %; 2^e année : 19 %), des estimés comparables pour la lecture de mots, forte héritabilité (1^{ère} année : 81 %; 2^e année :

84 %), environnement commun non significatif (1^{ère} année : 3 %; 2^e année : aucune) et contribution modeste de l'environnement unique (1^{ère} année : 17 %; 2^e année : 16 %) et des estimés très semblables pour l'héritabilité de la compréhension en lecture (1^{ère} année : 76 %; 2^e année : 67 %), l'environnement commun (1^{ère} année : 3 %; 2^e année : 7 %) et l'environnement unique (1^{ère} année : 21 %; 2^e année : 26 %). Donc, même si la lecture de pseudo-mots, la lecture de mots et la compréhension sont des habiletés distinctes sur les plans théorique et fonctionnel, les différences individuelles sur ces mesures s'expliquent par des contributions génétiques de proportion similaire, soit des héritabilités variant entre 67 % et 84 %.

Alors que Byrne et al. (2007; 2009) ont obtenu des contributions non significatives de l'environnement commun, quelques études (Harlaar, Spinath, Dale, & Plomin, 2005; Petrill et al., 2007) ont montré une contribution significative, quoique faible, pour la lecture de mots auprès de jumeaux de 6 à 8.8 ans. Cette contribution négligeable de l'environnement commun indique que ce qui rend les enfants d'une même famille semblable sur le plan de la lecture est principalement leur ressemblance génétique et non des facteurs environnementaux en commun.

Les estimés des contributions génétiques et environnementales des dimensions du TDAH sont similaires à celles de la lecture, mais avec plus de variabilité selon les études et les mesures. Paloyelis et al. (2010) ont observé, à l'aide de questionnaires administrés aux parents et aux enseignants, d'importantes contributions génétiques pour l'inattention (55 %) et l'hyperactivité/impulsivité (72 %), des contributions de l'environnement commun négligeables et de plus modestes contributions de l'environnement unique (inattention : 45 %; hyperactivité/impulsivité : 28 %). Larsson et al. (2006) ont également étudié ces dimensions auprès de 1480 paires de jumeaux de 8 à 9 ans à l'aide de questionnaires aux parents, estimant l'héritabilité à 60 % pour l'inattention et à 82.5 % pour l'hyperactivité/impulsivité, estimés un peu plus élevés que ceux de Paloyelis et al. (2010). Enfin, Mcloughlin et al. (2007) ont estimé chez environ 6222 paires de jumeaux de 8 ans des contributions génétiques encore plus importantes (inattention : 79 %; hyperactivité/impulsivité : 88 %), des contributions nulles de l'environnement commun ainsi que des contributions modestes de l'environnement unique (inattention : 21 %;

hyperactivité/impulsivité : 12 %), les dimensions du TDAH étant évaluées par les parents. Ils ont aussi rapporté une corrélation génétique entre la composante d'inattention et celle d'hyperactivité/impulsivité de .61. Paloyelis et al. (2010) ont aussi observé une corrélation génétique élevée ($r_g = .74$) entre l'inattention et l'hyperactivité/impulsivité, ce qui indique que ces dimensions partagent en grande partie les mêmes contributions génétiques, même si elles sont distinctes sur les plans théorique et comportemental. Globalement, ces résultats montrent l'importance des contributions génétiques pour les deux dimensions du TDAH, une modeste contribution des facteurs de l'environnement unique et des facteurs génétiques partagés entre les dimensions, ce qui justifie en partie leur combinaison en un seul trouble.

Ainsi, les différences individuelles sur les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH s'expliquent principalement par des contributions génétiques, mais est-ce que leur association s'explique aussi par des facteurs génétiques partagés? Les premières études à ce sujet se limitaient surtout aux enfants avec un diagnostic de dyslexie et de TDAH, ou qui en avaient des manifestations extrêmes (voir Germanò et al., 2010; Sexton et al., 2011). Ces études étaient informatives sur le plan génétique et les résultats ont montré des héritabilités comparables dans des populations d'enfants avec des diagnostics de dyslexie et de TDAH et des populations normatives d'enfants lorsque l'association génétique entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH était étudiée. La dyslexie ou le TDAH ne semblent donc pas plus héréditaires que l'ensemble des variations sur les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH; les enfants diagnostiqués représentent donc l'extrême du continuum plutôt qu'un groupe qualitativement distinct sur le plan de l'étiologie génétique (Levy et al., 1997; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Maruch, 1992).

Sur le plan normatif, les associations entre la lecture et les symptômes du TDAH semblent s'expliquer par des facteurs génétiques en commun. Notamment, Greven et al. (2012) ont estimé une corrélation génétique modérée de -.30 auprès de leurs jumeaux âgés de 7 à 8 ans. Toutefois, quand les deux dimensions du TDAH sont étudiées séparément, Greven et al. (2012) ont observé une plus grande corrélation génétique entre la lecture, évaluée par les enseignants et l'inattention ($r_g = -.42$) qu'entre la lecture et l'hyperactivité ($r_g = -.05$), le signe négatif de ces corrélations indiquant la direction de la corrélation entre les deux phénotypes. Paloyelis et al. (2010) ont également observé des corrélations

génétiques plus grandes entre des difficultés en lecture évaluées par les parents et l'inattention ($rg = .60$) qu'entre les difficultés en lecture et l'hyperactivité ($rg = .24$) dans leur échantillon de 1312 jumeaux. Ces résultats indiquent que l'inattention et la lecture de mots auraient plus de facteurs génétiques en commun, alors que les facteurs génétiques entre l'hyperactivité et la lecture de mots seraient plus distincts. Les corrélations de l'environnement unique entre l'inattention et la lecture obtenues par Greven et al., 2012 ($re = -.14$) et par Paloyelis et al., 2010 ($re = .37$) expliquent aussi, mais dans une moindre mesure, leur corrélation phénotypique alors qu'elles n'expliquent pas la corrélation phénotypique entre l'hyperactivité et la lecture ($re = -.01$ et $.06$ respectivement). La majeure partie des études recensées montre donc que les associations entre la lecture et les dimensions du TDAH auraient une origine principalement génétique. Néanmoins, les contributions génétiques semblent expliquer de façon plus importante l'association entre la lecture et l'inattention qu'entre la lecture et l'hyperactivité.

Seules deux études recensées ont décomposé la covariation entre la compréhension en lecture et les dimensions du TDAH. Dans leur étude de 2011, Greven et al. ont inclus la compréhension en lecture en plus du décodage de mots dans leur étude de l'association entre la lecture et les dimensions du TDAH auprès de 6428 paires de jumeaux de 12 ans. Ils ont obtenu une corrélation génétique modérée entre les habiletés en lecture combinées et l'inattention ($rg = -.31$) et une corrélation génétique plus faible entre les habiletés en lecture et l'hyperactivité/impulsivité ($rg = -.15$). Ces estimés étaient légèrement plus faibles pour les habiletés en lecture étudiées séparément (avec inattention : décodage de mots $rg = -.26$, compréhension en lecture $rg = -.28$; avec hyperactivité : décodage de mots $rg = -.08$, compréhension en lecture $rg = -.18$). Toutefois, la corrélation génétique entre le décodage et l'inattention était plus grande qu'entre le décodage et l'hyperactivité, alors que les corrélations génétiques entre la compréhension en lecture et les deux dimensions du TDAH étaient plus similaires. Des résultats similaires sont rapportés par Little et al. (2014) auprès de 691 paires de jumeaux entre la 3^e année du primaire et la 7^e année. Les modèles génétiques indiquaient un partage de facteurs génétiques entre l'inattention et la compréhension en lecture similaire à celui entre l'hyperactivité et la compréhension en lecture. Comme les corrélations génétiques pour la compréhension en lecture diffèrent des corrélations génétiques entre le décodage et les dimensions du TDAH, différentes mesures

de lecture devraient être étudiées pour mieux comprendre l'étiologie génétique et environnementale partagée avec les dimensions du TDAH.

Compte tenu de ce qui précède, les objectifs de la première étude de la thèse sont (1) de documenter les associations phénotypiques différenciées entre les dimensions du TDAH et deux habiletés en lecture, le décodage et la compréhension dans un contexte normatif et ceci, avant que le décodage ne soit automatisé, soit à 6-8 ans et (2) d'estimer la part relative des contributions génétiques, de l'environnement commun et de l'environnement unique à l'association entre les deux habiletés en lecture et les deux dimensions du TDAH.

1.6.3.3 Résultats des études génétiquement informatives sur les habiletés en lecture, les dimensions du TDAH et leur association à l'adolescence

Peu d'études ont estimé les contributions génétiques et environnementales aux habiletés en lecture, aux dimensions du TDAH et à leur association à l'adolescence. Néanmoins, les résultats disponibles indiquent que l'héritabilité des habiletés en lecture demeure importante à l'adolescence. Notamment, Betjemann et al. (2008) ont étudié les contributions génétiques et environnementales aux différences individuelles en lecture de mots et en compréhension en lecture chez 156 paires de jumeaux, âgés de 8 à 15.9 ans puis cinq ans plus tard, de 12.9 à 23.9 ans. Les résultats ont montré que les contributions génétiques demeurent importantes autant pour la lecture de mots (76 % au premier temps à 68 % au 2^e temps) que pour la compréhension en lecture (67 % à 60 %). Les contributions de l'environnement unique demeurent aussi significatives pour la lecture de mots (23 % à 32 %) et pour la compréhension en lecture (29 % à 39 %) alors que les contributions de l'environnement commun sont non-significatives. Les adolescents d'une même famille semblables sur le plan de la lecture le sont donc principalement en raison de leur ressemblance génétique et non des facteurs environnementaux en commun.

En ce qui concerne l'héritabilité des dimensions du TDAH, Larsson et al. (2006) ont montré une importante héritabilité de l'inattention (62-73 %) et de l'hyperactivité/impulsivité (55-72 %) rapportées par les parents chez 1480 paires de jumeaux âgés de 13 à 17 ans. Chang, Lichtenstein, Asherson et Larsson (2013) ont aussi étudié l'héritabilité des dimensions du TDAH chez les mêmes 1480 paires de jumeaux à

l'adolescence. Les résultats montrent que les problèmes d'attention évalués par le parent et l'adolescent lui-même (incluant inattention et hyperactivité/impulsivité) demeurent très héréditaires entre 13 et 17 ans (82 %). Les contributions de l'environnement commun et unique n'étaient pas significatives. Ces résultats convergent avec ceux d'autres études (Nikolas et Burt, 2010) et montrent l'importance des contributions génétiques pour les deux dimensions du TDAH à l'adolescence, contributions similaires à celles de la lecture durant l'adolescence.

Peu d'études se sont attardées à l'étiologie génétique et environnementale de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'adolescence. Sur le plan normatif, il n'existe que deux études connues en génétique comportementale de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'adolescence. Elles ont toutefois été menées auprès de jeunes adolescents. Dans l'étude de Greven et al. (2012) décrite précédemment, des jumeaux de 11-12 ans étaient inclus ($N =$ environ 7000 paires). Les résultats ont montré que l'inattention (72 %), l'hyperactivité (67 %) et la lecture (54 %) étaient très héréditaires. L'association phénotypique entre l'inattention et la lecture était principalement attribuable à des gènes partagés ($rg = -.31$) et de façon plus modeste à l'environnement unique ($re = -.19$). Par contre, l'association entre l'hyperactivité et la lecture était attribuable dans une moindre mesure à des gènes partagés ($rg = -.13$), mais aussi à l'environnement commun partagé ($rc = -.49$). Cette dernière corrélation doit toutefois être nuancée parce que la part de l'environnement commun lié aux deux phénotypes est négligeable. Néanmoins, il appert que la corrélation génétique est plus grande entre l'inattention et la lecture qu'entre l'hyperactivité et la lecture en début d'adolescence. Ces résultats convergent avec ceux de Greven et al. (2011) chez le même échantillon avec des mesures objectives de lecture. Ils suggèrent que l'étiologie génétique de la cooccurrence entre l'inattention et la lecture semble demeurer stable de l'enfance au début de l'adolescence. Toutefois, aucune étude n'a porté sur des adolescents plus âgés.

Ainsi, les objectifs de la seconde étude de la thèse sont (1) d'étudier les associations phénotypiques entre les dimensions du TDAH et des habiletés spécifiques en lecture, soit la lecture de mots, l'exactitude et la vitesse de lecture d'un texte à 14-15 ans et (2) d'estimer l'étiologie génétique et environnementale de ces associations.

1.7 Mécanismes cognitifs et génétiques de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH à l'enfance

1.7.1 Construits cognitifs à la base de l'association à l'enfance

Les études sur les associations entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH ont montré qu'elles sont modestement, mais systématiquement associées et que la majeure partie de cette association semble être de nature génétique, en particulier en ce qui a trait à l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture. Par ailleurs, l'étude du niveau cognitif du modèle de Pennington (2006) cible les construits cognitifs par lesquels les contributions génétiques communes pourraient s'actualiser. Dans la section qui suit, les construits cognitifs uniques et/ou communs aux habiletés en lecture et aux dimensions du TDAH seront décrits. Les domaines cognitifs ciblés ont été impliqués dans la mise en place des habiletés en lecture - conscience phonologique, traitement temporel, vitesse de dénomination, vocabulaire - et sont potentiellement affectés par les dimensions du TDAH, en particulier l'inattention.

1.7.1.1 Construits cognitifs associés aux habiletés en lecture

Plusieurs construits cognitifs sont impliqués dans les processus de décodage et de compréhension en lecture. D'abord, la conscience phonologique contribue à l'exécution de la lecture, principalement à la mise en place du décodage. Elle se définit comme une habileté de langage oral qui dénote la capacité à percevoir et manipuler les sons qui composent les mots (Adams, 1990). Elle se développe dès le préscolaire et elle est favorisée par l'enseignement. Elle peut être mesurée notamment en demandant à l'enfant d'identifier un son dans un mot ou de prononcer un mot après en avoir retiré un son (Kirby, Desrochers, Roth, & Lai, 2008). La conscience phonologique est l'un des meilleurs prédicteurs du décodage, notamment de la lecture de mots (Kirby et al., 2008), mais un moins bon prédicteur de la compréhension (Neuhaus, Roldan, Boulware-Gooden, & Swank, 2006). Toutefois, Johnston et Kirby (2006) ont observé une contribution résiduelle modeste de la conscience phonologique à la compréhension après avoir pris en compte le décodage chez 153 enfants de 3^e année. Ces derniers résultats sont appuyés par une méta-analyse effectuée auprès de 2461 enfants chez qui la conscience phonologique a été évaluée

en maternelle ou avant et la compréhension en lecture évaluée en maternelle, 1^{ère} ou 2^e année du primaire (NELP, 2008).

Lire fait appel à l'attention et la perception pour traiter auditivement les lettres et leurs sons et traiter visuellement les traits graphiques des lettres (Dalpé et al., 2010). Le traitement temporel, terme utilisé pour définir la perception de bas niveau et le traitement des caractéristiques temporelles dans toutes les modalités sensorielles (Grondin, 2010), serait donc aussi impliqué dans le processus de lecture. Il se mesure notamment à l'aide de tâches évaluant l'ordre de séquences ainsi que la discrimination, l'estimation et la production ou reproduction de la durée de stimuli visuels et auditifs. Le traitement temporel de stimuli visuels est impliqué dans les difficultés en lecture dans un contexte clinique et il a aussi été associé aux habiletés de décodage et de compréhension en lecture dans un contexte normatif (Malenfant et al., 2012; Tallal & Benasich, 2002) notamment via son influence sur les habiletés à orthographier (Walker, Hall, Klein, & Phillips, 2006). De plus, le traitement temporel de stimuli auditifs a été associé à ces deux habiletés en lecture, notamment via son influence sur les habiletés phonologiques (Malenfant et al., 2012; Marshall, Snowling, & Bailey, 2001).

La vitesse de dénomination fait référence à la vitesse de traitement de l'information verbale. Souvent mesurée à l'aide du RAN : *rapid automatized naming* (Denckla & Rudel, 1974), elle se définit comme l'habileté à nommer rapidement une séquence de lettres, de chiffres, d'objets ou de couleurs (NELP, 2008). Des études ont montré une contribution unique de la vitesse de dénomination à la lecture de mots en contrôlant pour la vitesse de traitement non verbal et la conscience phonologique (voir Kirby et al., 2008 pour une revue). Un déficit sur le plan de la vitesse de dénomination peut être présent chez un enfant qui n'arrive pas à automatiser les processus d'assemblage et d'adressage. De plus, Joshi et Aaron (2000) ont démontré chez 40 enfants que la vitesse de dénomination contribue de façon unique à la compréhension en lecture, une fois la prise en compte du décodage et des habiletés langagières. Le NELP (2008) a aussi montré que les mesures de dénomination sont des prédicteurs de la compréhension de lecture après avoir contrôlé pour l'âge, le QI, le langage oral, la connaissance des lettres, la conscience phonologique et la mémoire phonologique à court terme. Ainsi, une bonne vitesse de dénomination semble liée à

l'automatisation du processus de lecture, ce qui libère des ressources cognitives pour comprendre le texte. Elle serait associée à la lecture en raison des multiples processus sous-jacents à la dénomination rapide comme les processus attentionnels, les processus visuels pour voir et intégrer les stimuli, les processus orthographiques et phonologiques pour accéder et récupérer les informations nécessaires ainsi que les processus moteurs pour articuler la réponse (voir Norton & Wolf, 2012 pour une revue à ce sujet).

Le vocabulaire réfère aux mots compris et utilisés par l'enfant. Il contribue à la reconnaissance des mots, par la mise en relation des représentations orthographiques et sémantiques, ainsi qu'à la compréhension en lecture, car la connaissance de la signification des mots dans une phrase aide à en dégager le sens (Kirby et al., 2008). Le vocabulaire peut être mesuré à l'oral ou à l'écrit et à l'aide de multiples mesures (p. ex., donner des définitions de mots, choisir l'image qui correspond au mot dit à l'oral). Plusieurs chercheurs ont observé des associations entre le vocabulaire et les habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) au début du primaire (NELP, 2008; Verhoeven & van Leeuwe, 2008), mais leur contribution unique demeure controversée. Néanmoins, certains proposent que le vocabulaire serait davantage associé à la compréhension en lecture qu'au décodage (Ricketts, Nation, & Bishop, 2007).

1.7.1.2 Construits cognitifs associés au TDAH

Pour tester un modèle cognitif multiple de l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH, il faut identifier de possibles construits cognitifs en commun. Dans cette section, les construits cognitifs de la lecture sont réintroduits pour montrer leurs possibles liens avec les dimensions du TDAH.

D'abord, sur le plan clinique, des déficits sur le plan de la conscience phonologique ne semblent pas associés au TDAH (Purvis & Tannock, 2000; Willcutt et al., 2005) alors que les résultats obtenus dans un contexte normatif varient d'une étude à l'autre. Dally (2006) a observé une interférence de l'inattention sur l'acquisition des habiletés de conscience phonologique chez 132 enfants de la maternelle à la 2^e année. Par ailleurs, d'autres chercheurs (McGrath et al., 2011; Willcutt et al., 2010) n'ont observé aucune association entre la conscience phonologique et les dimensions du TDAH. Ainsi, le rôle

que pourrait jouer la conscience phonologique dans le lien entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture n'est pas clair.

Ensuite, des déficits sur le plan du traitement temporel ont été associés au TDAH dans plusieurs études, que ce soit à des tâches de discrimination, de production et d'estimation de la durée de stimuli auditifs et visuels (Castellanos & Tannock, 2002; Gooch, Snowling, & Hulme, 2011; Huang et al., 2012; Toplak, Dockstader, & Tannock, 2006). Sur le plan normatif, Hurks et Hendriksen (2010) ont rapporté chez 38 enfants âgés de 6 à 12 ans, une association entre l'impulsivité et une surestimation de la durée de stimuli visuels dans une tâche verbale d'estimation, ainsi qu'une association entre l'inattention et la sous-estimation de la durée de stimuli visuels dans une tâche de reproduction. Ainsi, le traitement temporel pourrait dépendre en partie de l'attention et de l'impulsivité et à la fois jouer un rôle dans la lecture.

Les enfants qui présentent les dimensions du TDAH ont également plus de difficultés à accomplir des tâches de vitesse de dénomination. Un déficit de dénomination rapide a été observé chez des enfants âgés de 8 à 18 ans avec un TDAH ($n = 105$) comparativement à des enfants sans TDAH ($n = 144$) (Shanahan et al., 2006). De plus, une étude a montré que la vitesse de dénomination chez 1506 enfants de la 1^{ère} à la 4^e année du primaire prédisait la sévérité de leur inattention (Arnett et al., 2012). Par contre, cette relation n'a pas été observée avec l'hyperactivité/impulsivité. Il semblerait que le déficit de dénomination soit plus spécifiquement lié à la capacité à soutenir l'attention (Arnett et al., 2012; Shanahan et al., 2006), ce qui converge avec l'importante demande attentionnelle requise pour exécuter cette tâche. L'inattention pourrait donc entraver la vitesse de dénomination qui à son tour rend le processus de lecture plus difficile à automatiser.

Sur le plan langagier, des difficultés de langage réceptif et expressif ont été associées au TDAH dans un échantillon d'enfants identifiés par les enseignants ou les parents comme présentant un TDAH (Loe et al., 2008; Tirosh & Cohen, 1998). Également, Dionne et Ouellet (2011) ont évalué le vocabulaire et les dimensions du TDAH chez 1118 jumeaux et les résultats ont montré que les dimensions du TDAH prédisent un développement du vocabulaire plus lent entre 30 mois et 5 ans et que le vocabulaire à 5 ans prédit une augmentation de la sévérité des manifestations d'inattention et d'hyperactivité à

7 ans. Comme les associations entre le vocabulaire et les dimensions du TDAH étaient bidirectionnelles, ces résultats suggèrent que la présence des dimensions du TDAH pourrait entraîner des difficultés sur le plan du vocabulaire, ce qui en retour aggraverait les manifestations d'inattention et d'hyperactivité. Comme le vocabulaire semble aussi impliqué dans le processus de lecture, surtout sur le plan de la compréhension, il se peut qu'il explique en partie l'association entre les dimensions du TDAH et la lecture.

1.7.2 Test du modèle cognitif multiple

Un groupe de chercheurs a testé le modèle cognitif multiple de l'association entre la lecture de mots et le TDAH auprès de 614 jumeaux âgés de 8 à 16 ans, dont certains avaient une histoire de difficultés en lecture ou un TDAH. McGrath et al. (2011) ont testé à l'aide de régressions et d'équations structurelles la possibilité que la vitesse de traitement, la vitesse de dénomination et la mémoire de travail verbale soient des construits cognitifs communs au décodage de mots et aux dimensions du TDAH. Ils ont inclus la conscience phonologique comme prédicteur unique de la lecture et l'inhibition comme prédicteur unique du TDAH. Les résultats ont confirmé ces prédicteurs uniques, mais seules la vitesse de traitement et la vitesse de dénomination étaient des prédicteurs communs au décodage et au TDAH selon les tâches spécifiques incluses.

D'autres chercheurs ont testé des modèles de médiation pour tester l'hypothèse que l'inattention pourrait interférer avec l'acquisition de certaines habiletés cognitives, qui en retour pourraient interférer avec le développement des habiletés en lecture (Dally, 2006; Martinussen et al., 2014; Sims & Lonigan, 2013). Ainsi, trois études de médiation ont testé certains construits cognitifs comme médiateurs de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture. Dice et Schwanenflugel (2012) ont investigué de possibles médiateurs de l'association entre l'inattention au préscolaire évaluée par les enseignants et le décodage à la maternelle chez 250 enfants. Leurs résultats ont montré qu'un facteur latent composé de la connaissance des lettres, la conscience phonologique et du vocabulaire était un médiateur partiel de cette association. Ces résultats ne permettent toutefois pas de voir la contribution unique de chaque variable composant le facteur latent. Par ailleurs, Stephenson, Parrila, Georgiou et Kirby (2008) ont montré, chez 61 enfants en maternelle, que l'association entre une mesure de contrôle attentionnel et la lecture de mots était

partiellement sous-tendue par la connaissance des lettres et la conscience phonologique. Enfin, Martinussen et al. (2014) ont récemment montré chez 79 enfants en 1^{ère} année du primaire que la conscience phonologique ainsi que la vitesse de dénomination étaient deux médiateurs cognitifs ayant chacune une contribution unique à l'association entre l'inattention évaluée par les enseignants et la lecture de mots et de pseudo-mots.

Ces études sont novatrices et illustrent la pertinence du modèle théorique de Pennington (2006) pour étudier les construits cognitifs communs aux habiletés en lecture et aux dimensions du TDAH. Toutefois, elles présentent des limites. D'abord, ces modèles ont été testés avec des mesures de lecture de mots et de pseudo-mots, ce qui ne permet pas de généraliser les résultats aux autres processus de lecture, comme la compréhension en lecture. Étant donné que la compréhension en lecture diffère du décodage sur les plans théorique et fonctionnel, il se peut que son association avec les dimensions du TDAH soit sous-tendue par des processus différents. Par exemple, la conscience phonologique semble davantage associée au décodage (Johnston & Kirby, 2006) alors que le vocabulaire l'est davantage à la compréhension en lecture (Ricketts et al., 2007). Leur rôle dans l'association avec les dimensions du TDAH pourrait donc varier selon l'habileté en lecture. Enfin, plusieurs construits cognitifs ont été intégrés dans les modèles testés à ce jour, mais d'autres construits, notamment le traitement temporel et le vocabulaire, n'ont pas été testés.

Pour étendre le test du modèle multiple de Pennington au niveau cognitif, le premier objectif de la troisième étude de la thèse est de tester dans quelle mesure la conscience phonologique, le traitement temporel, la vitesse de dénomination et le vocabulaire agissent comme des médiateurs de l'association entre l'inattention et la lecture entre 6 et 8 ans. Deux habiletés en lecture, soit le décodage et la compréhension en lecture, sont mesurées. Le modèle de médiation privilégié permettra de tester simultanément les médiateurs pour déterminer leur contribution unique à l'association entre les habiletés en lecture et les dimensions du TDAH (Hayes, 2009; Preacher & Hayes, 2008). Le deuxième objectif de la troisième étude de la thèse est de vérifier si les médiateurs cognitifs uniques identifiés au premier objectif partagent des facteurs génétiques en commun avec les habiletés en lecture et l'inattention. Les résultats d'une étude récente semblent aller en ce sens. Willcutt et al. (2010), dans la foulée du travail amorcé par McGrath et al. (2011), ont montré que

l'association entre la lecture de mots et les dimensions du TDAH, surtout l'inattention, était principalement attribuable à des facteurs génétiques communs avec la vitesse de dénomination et la vitesse de traitement. Ce dernier objectif permet donc d'intégrer le niveau étiologique aux niveaux cognitif et symptomatique du modèle de Pennington (2006) en utilisant les jumeaux de l'EJNQ.

1.8 Variables de contrôle : le genre, le rendement intellectuel et les problèmes de comportement

Trois possibles variables confondantes sont prises en compte dans la réalisation des études de la thèse. D'abord, le sexe est considéré. Même si les études en génétique comportementale tendent à montrer que les composantes de la variance des habiletés en lecture (Harlaar, Spinath, et al., 2005) et des dimensions du TDAH (Larsson et al., 2006; McLoughlin et al., 2007) ne diffèrent pas entre les garçons et les filles, il n'en demeure pas moins que la dyslexie, le TDAH et leur cooccurrence se présentent plus souvent chez les garçons que les filles (APA, 2013; Willcutt et Pennington, 2000). De plus, Willcutt et Pennington (2000) ont observé des patrons différents d'association entre le TDAH et la lecture selon le sexe : les filles et les garçons avec des problèmes en lecture présentent plus d'inattention que ceux sans problèmes, mais l'hyperactivité est seulement plus grande chez les garçons avec des problèmes en lecture et non chez les filles. Le sexe est donc pris en compte dans la présente thèse.

En ce qui concerne le rendement intellectuel (QI), des études ont montré que l'inattention prédit la performance en lecture après avoir pris en compte la contribution du QI (Rabiner & Coie, 2000) et que la covariation entre les habiletés en lecture et l'inattention est indépendante des facteurs affectant le QI (Paloyelis et al., 2010). Néanmoins, le QI partage une variabilité génétique commune avec les habiletés en lecture (Harlaar, Hayiou-Thomas, & Plomin, 2005) et les dimensions du TDAH (Wood, Asherson, van der Meere, & Kuntsi, 2010), ce qui pourrait en partie en expliquer leur association. En particulier, le lien entre le QI et la compréhension en lecture pourrait être plus étroit que

celui avec les autres habiletés en lecture (Shatil & Share, 2003). Le QI non verbal est donc considéré comme variable confondante.

Enfin, les troubles de comportement des enfants sont pris en compte. Alors que Rabiner et Coie (2000) ont montré que la composante d'inattention continue à prédire les difficultés en lecture après avoir pris en compte les problèmes de comportement, Trzesniewski, Moffitt, Caspi, Taylor et Maughan (2006) ont plutôt montré que le comportement antisocial des enfants, mesuré par des questionnaires et entrevues avec les parents, est aussi lié à la lecture après avoir pris en compte la présence d'un TDAH. Ces résultats divergents soulignent la pertinence de prendre en compte les problèmes de comportement comme possible variable confondante.

1.9 Résumé des questions de recherche

En somme, cette thèse vise à étudier les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture à l'enfance et l'adolescence, en adoptant une approche dimensionnelle dans deux échantillons normatifs québécois. Les questions de recherche sont inspirées du modèle proposé par Pennington (2006) pour expliquer la cooccurrence entre des troubles sur la base de facteurs étiologiques, cognitifs et symptomatiques en commun. Les deux premières études de la thèse visent à documenter respectivement les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture sur le plan étiologique à l'enfance et à l'adolescence et la troisième étude vise à documenter les mêmes associations au niveau cognitif à l'enfance.

La première étude (Chapitre 2) cherche à répondre aux questions suivantes.

- 1) Quelles sont les associations phénotypiques entre chaque dimension du TDAH (inattention et hyperactivité/impulsivité) et les habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) et est-ce que ces associations diffèrent selon l'habileté en lecture mesurée?
- 2) Quelle est l'étiologie génétique et environnementale des habiletés en lecture, des dimensions du TDAH et de leurs associations?

Plus précisément, il est question de documenter les associations phénotypiques et génétiques entre deux habiletés en lecture (décodage de mots et compréhension en lecture) évaluées à 8 ans (2^e ou 3^e année du primaire) et les dimensions du TDAH évaluées par l'enseignant en maternelle et 1^{ère} année du primaire à l'aide de l'ELDEQ et l'EJNQ. Des analyses génétiques univariées sont effectuées à partir de l'échantillon de jumeaux pour documenter la contribution des facteurs génétiques, de l'environnement commun et de l'environnement unique aux différences individuelles en lecture et sur les dimensions du TDAH. Des analyses multivariées sont conduites pour estimer la part de la génétique, de l'environnement commun et de l'environnement unique dans les associations entre les habiletés en lecture, le décodage et la compréhension en lecture et les dimensions du TDAH évaluées par les enseignants au début du primaire.

La deuxième étude (Chapitre 3) cherche à répondre aux questions suivantes.

- 1) Est-ce que les associations phénotypiques entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture persistent à l'adolescence?
- 2) Quelle est l'implication des facteurs génétiques et environnementaux dans ces associations?

Plus précisément, il est question de documenter les associations phénotypiques à l'adolescence (14-15 ans) entre la lecture de mots, la fluidité en lecture (exactitude et vitesse) et les dimensions du TDAH évaluées par les parents, dans l'EJNQ. Ensuite, il s'agit de documenter l'étiologie génétique et environnementale de la lecture de mots et l'exactitude et la vitesse de lecture, les dimensions du TDAH et de leurs associations. Comme dans la première étude, des analyses génétiques univariées sont effectuées pour documenter la contribution des facteurs génétiques, de l'environnement commun et de l'environnement unique sur les différences individuelles en lecture de mots et en fluidité en lecture et sur les dimensions du TDAH. Des analyses multivariées sont ensuite conduites pour estimer la part de la génétique, de l'environnement commun et de l'environnement unique dans les associations entre la lecture de mots, la fluidité en lecture et les dimensions du TDAH.

La troisième étude (Chapitre 4) cherche à répondre aux questions suivantes.

- 1) Quels sont les mécanismes cognitifs impliqués dans l'association entre l'inattention et deux habiletés en lecture, le décodage et la compréhension en lecture?
- 2) Dans quelle mesure les mécanismes cognitifs impliqués partagent des facteurs génétiques et environnementaux avec l'inattention et ces habiletés en lecture?

Plus précisément, il est question de tester chez les jumeaux de l'EJNQ, un modèle de médiation entre l'inattention à 6-7 ans (évaluée par les enseignants en maternelle et première année) et les deux mesures de lecture à 8 ans (2^e ou 3^e année du primaire), le décodage et la compréhension en lecture. Les construits cognitifs testés comme potentiels médiateurs sont la conscience phonologique, la vitesse de dénomination, le traitement temporel et le vocabulaire, évalués à 8 ans (2^e ou 3^e année). Des analyses génétiques multivariées sont ensuite réalisées pour évaluer si les habiletés cognitives, l'inattention et les habiletés en lecture partagent des facteurs génétiques ou environnementaux en commun.

Chapitre 2 : Article 1 - Phenotypic and Genetic Associations Between Reading Comprehension, Decoding Skills, and ADHD Dimensions: Evidence from two population-based studies

Article publié :

Plourde, V., Boivin, M., Forget-Dubois, N., Brendgen, M., Vitaro, F., Marino, C., & Dionne, G. (2015). Phenotypic and Genetic Association Between Reading Abilities and ADHD Dimensions: Evidence from two population-based studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 56(10), 1074-1082. doi : 10.1111/jcpp.12394

Résumé

Les associations entre les habiletés de décodage et les dimensions du TDAH ont été documentées, mais peu d'études ont porté sur les associations entre la compréhension en lecture et les dimensions du TDAH. Le but de cette étude est de documenter les associations phénotypiques et génétiques entre la compréhension en lecture et les dimensions du TDAH – inattention et hyperactivité/impulsivité – au début du primaire et de les comparer aux associations entre les habiletés de décodage et les dimensions du TDAH. Les données ont été recueillies auprès de deux larges échantillons, de singletons (Étude longitudinale du développement des enfants du Québec – ELDEQ) et de jumeaux (Étude des jumeaux nouveau-nés du Québec –ÉJNQ), pour un total d'environ 2300 enfants. La lecture a été évaluée à l'aide de mesures standardisées, en deuxième et troisième année du primaire. Les enseignants ont évalué les dimensions du TDAH en maternelle et en première année. Les résultats ont montré que la compréhension en lecture et le décodage étaient tous deux associés de façon similaire aux dimensions du TDAH : les associations avec l'inattention demeuraient significatives après avoir contrôlé pour l'autre dimension du TDAH, les symptômes du trouble de comportement et les habiletés non verbales, alors que non pour les associations avec l'hyperactivité/impulsivité. Les analyses génétiques ont montré que le décodage et la compréhension en lecture partagent des facteurs génétiques à cet âge et leurs associations avec l'inattention s'expliquent également en grande partie par des facteurs génétiques partagés. En conclusion, ces deux habiletés en lecture sont uniquement associées avec l'inattention et ces associations sont principalement de nature génétique.

Abstract

Background: The phenotypic and genetic associations between decoding skills and ADHD dimensions have been documented but less is known about the association with reading comprehension. The aim of the study is to document the phenotypic and genetic associations between reading comprehension and ADHD dimensions of inattention and hyperactivity/impulsivity in early schooling and compare them to those with decoding skills. **Methods:** Data were collected in two population-based samples of twins (Quebec Newborn Twin Study – QNTS) and singletons (Quebec Longitudinal Study of Child Development – QLSCD) totaling \approx 2300 children. Reading was assessed with normed measures in second or third grade. Teachers assessed ADHD dimensions in kindergarten and first grade. **Results:** Both decoding and reading comprehension were correlated with ADHD dimensions in a similar way: associations with inattention remained after controlling for the other ADHD dimension, behaviour disorder symptoms and nonverbal abilities, whereas associations with hyperactivity/impulsivity did not. Genetic modeling showed that decoding and comprehension largely shared the same genetic etiology at this age and that their associations with inattention were mostly explained by shared genetic influences. **Conclusion:** Both reading comprehension and decoding are uniquely associated with inattention through a shared genetic etiology. **Keywords:** Reading, decoding, comprehension, inattention, hyperactivity/impulsivity, population-based studies.

Dyslexia and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) are heritable and complex childhood disorders. Dyslexia is characterized by difficulties with accurate and/or fluent word reading that can be accompanied by poor spelling (American Psychiatric Association – APA, 2013) and impairment of reading comprehension (Snowling, 2013). Population prevalence ranges from 3% to 17.5% with generally more affected boys than girls (Rutter et al., 2004; Shaywitz, & Shaywitz, 2003; Snowling, 2013). ADHD is characterized by clinical levels of inattention and/or hyperactivity/impulsivity symptoms. Population prevalence ranges from 5% to 12% also with more affected boys than girls (APA, 2013; Polanczyk, Silva de Lima, Lessa Horta, Biederman, & Rohde, 2008).

Both dyslexia and ADHD have been broadly studied and studies about their co-occurrence started in the 1990s, with statistics showing that approximately 15-40% of children with one disorder fit criteria for the other (Gayán et al., 2005; Mayes, Calhoun, & Crowell, 2000; Willcutt & Pennington, 2000). One way the association between dyslexia and ADHD has been addressed is through a dimensional approach. Disorders are thus deemed to represent the end-tail of a continuum, with the whole range of reading abilities, inattention, and hyperactivity/impulsivity behaviors considered (Levy, Hay, McStephen, Wood, & Waldman, 1997; Polderman et al., 2007; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Makuch, 1992).

At the phenotypic level, such studies have focused on describing the association between direct measures or parent/teacher reports of reading and ADHD dimensions in population-based studies. Results have shown modest but consistent correlations between decoding skills or parent/teacher reports of reading and ADHD dimensions (ranging from -.10 to -.55) in the early school years, with stronger correlations for inattention than hyperactivity/impulsivity (Ebejer et al., 2010; Greven, Harlaar, Dale, & Plomin, 2011; Greven, Rijdsdijk, Asherson, & Plomin, 2012; Paloyelis, Rijdsdijk, Wood, Asherson, & Kuntsi, 2010; Rodriguez et al., 2007).

Two studies using a dimensional approach have looked at these associations using measures of reading comprehension (Greven et al., 2011; Pham, 2013). Greven and colleagues (2011) found modest correlations with reading comprehension and both inattention ($r = -.22$) and hyperactivity/impulsivity ($r = -.20$) in 12 year-olds. Pham (2013)

found similar results in 8-11 year-olds for the association between reading comprehension and inattention but they found smaller non-significant associations between reading comprehension and hyperactivity.

With the exception of these latter studies, an important limitation of previous studies is the general omission of reading comprehension. Given that reading comprehension can be more cognitively demanding than decoding, it may generate a different pattern of associations with ADHD dimensions, especially in younger children still learning to read.

A second limit of previous studies is that they rarely control for the association between inattention and hyperactivity/impulsivity. As both dimensions are strongly correlated, either dimension could be associated with reading because of their shared variance. Similarly, other variables correlated with both reading and ADHD dimensions may explain part of their association. For example, Rabiner and Coie (2000) demonstrated that inattention, but not hyperactivity/impulsivity, predicted reading after controlling for prior reading ability, nonverbal abilities and behavior problems, underlining the need to consider these variables.

An alternative way to address the association between reading and ADHD dimensions is to look for a shared etiology. Genetically informative designs, typically using a twin sample, give the possibility to unravel the genetic and environmental contributions to observed phenotypic correlations (Boivin et al., 2012).

Genetic studies of reading and ADHD dimensions have shown that they are all highly heritable in the early school years (reading: 67% - 84%; inattention: 55%-79%; hyperactivity/impulsivity: 72%-88%) (Byrne et al., 2007, 2009; Larsson et al., 2006; McLoughlin et al., 2007; Paloyelis et al., 2010). Byrne et al. (2007, 2009) have also shown that decoding skills and reading comprehension are similarly heritable in grades 1-2. Some studies have looked at the genetic and environmental etiology of the associations between reading and ADHD dimensions but only one of these used a reading comprehension measure and targeted the later primary school years with 12 year-olds (Greven et al., 2011).

Genetic studies using teacher or parent reports of reading and ADHD (Greven et al., 2012; Paloyelis et al., 2010) found that associations were mostly due to shared genetic factors, more so between reading and inattention ($R_g = .42-.60$) than between reading and hyperactivity/impulsivity ($R_g = .05-.24$). Similar results were found when using direct measures of reading, mainly decoding (Ebejer et al., 2010; Greven et al., 2011). The only genetic study to include reading comprehension, focused on 12 year-olds (Greven et al., 2011). It showed that the genetic correlations with inattention were similar across reading comprehension and decoding ($R_g = -.28$ and $R_g = -.26$ respectively) whereas the genetic correlations with hyperactivity/impulsivity were higher for comprehension than decoding ($R_g = -.18$; and $-.08$ respectively). These results have yet to be replicated in younger children. Moreover, as reading comprehension is neglected in clinical settings, studying the phenotypic and genetic correlations between reading comprehension and ADHD dimensions in younger readers may help clarify how much emphasis, in comparison to decoding skills, should be given to reading comprehension during assessments and interventions at this age.

Main objectives

The main objective is to assess the phenotypic associations and the genetic and environmental etiology between reading comprehension and ADHD dimensions in second and third grade readers, and to compare these associations with the associations between decoding skills and ADHD dimensions. Questions to be addressed are the following:

- 1) What are the unique contributions of inattention and hyperactivity/impulsivity to reading comprehension and decoding skills?
- 2) Are the genetic and environmental contributions to the significant associations between reading comprehension and ADHD dimensions similar to those between decoding and ADHD?

The first question was investigated in two population-based samples, a twin sample and a singleton sample, and the second question was addressed in the twin sample only.

Method

Participants

Participants come from two longitudinal population-based studies: more than 660 families were initially enrolled in the Quebec Newborn Twin Study (QNTS: Boivin et al., 2012) and more than 2000 singletons in the Quebec Longitudinal Study of Child Development (QLSCD: Jetté & Des Groseilliers, 2000). Inclusion criteria at onset were the fluent use of French or English by the mother and no major medical complications at birth. Children were followed annually from birth on a range of individual, social, family, and school characteristics. Parents' consent was obtained before each data collection.

Mean attrition between 5 months and 7 years was approximately 5% per year in the QNTS and 4.5% per year in the QLSCD. In the QNTS, zygosity was initially assessed via questionnaire (Goldsmith, 1991) and confirmed with DNA tests on a subsample ($n = 123$) of same-sex pairs showing a 96% correspondence (Forget-Dubois et al., 2003).

Data for this study were gathered when children were between the ages of 5 and 8 years. As the analyses use a Full Information Maximum Likelihood (FIML) approach, the number of children varies across measures. In the QNTS, a random sub-sample of French-speaking children completed the reading measures in second or in third grade ($n = 285$ in second grade and 240 in third grade) while all children in the QLSCD were in second grade.

Measures and procedure

Reading. In the QNTS, two computerized subtests of the Reading Skills Test (THAL: Pépin & Loranger, 1999) were administered to French-speaking children only. In the QLSCD, two reading subtests of the Kaufman Assessment Battery for children (K-ABC: Kaufman & Kaufman, 1983) were administered to French- and English-speaking children. All scores were standardized based on the child's age.

Decoding. In the QNTS, the "Phonetic decoding subtest" of the THAL was administered. A French phoneme was verbally identified in a stimulus-word shown on

screen and verbal instructions were given to the child to identify if this phoneme appeared in a comparison-word (yes or no answer). The sub-test includes 50 items and each item is rated as pass (1) or fail (0). The task was interrupted after the tenth item if the child failed five items or more. A time component bonus of 0 to 2 points per item was awarded when the response time was faster than the *Z* time scores of the normative sample. The test was standardized on a sample of 1418 French-speaking children and has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .93). The norm mean for second graders is 37 (*SD* = 16) and 48 (*SD* = 12) for third graders.

In the QLSCD, the “Reading decoding subtest” of the K-ABC was administered in which the child had to read aloud a series of words. The test includes 38 items rated as pass (1) or fail (0) and was interrupted after four consecutive errors. Start and end criteria were based on age. The test has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .93). The norm mean is 100 (*SD* = 15).

Comprehension. In the QNTS, the “Reading comprehension subtest” of the THAL was administered. The child had to silently read short texts with missing words and to choose the correct missing word from a two- or four-item forced-choice. This task includes two practice items followed by 40 items rated as pass (1) or fail (0) and was interrupted after three failed items or a response time larger than 30 seconds for two consecutive items. A time component bonus of 0 to 2 points per item was awarded when the response time was faster than the *Z* time scores of the norm sample. The test has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .98). The norm mean for second graders is 31 (*SD* = 14) and 43 (*SD* = 12) for third graders.

In the QLSCD, the “Reading understanding” subtest of the K-ABC was administered in which the child had to read a sentence, aloud or silently, and act out the command (maximum of 20 items). The test includes 24 items rated as pass (1) or fail (0) and was interrupted after four consecutive failed items. The test has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .95). The norm mean for second graders is 100 (*SD* = 15).

ADHD dimensions. In both samples, inattention and hyperactivity/impulsivity dimensions were rated with a questionnaire validated for its use with school-age children (Social Behavior Questionnaire – SBQ: Tremblay, Desmarais-Gervais, Gagnon, & Charlebois, 1987). Teachers rated the level of ADHD dimensions within the past six months, in kindergarten and first grade, on a three-point Likert scale: (0) never or not true, (1) sometimes or a little true, (2) often or very true with three items for inattention and five items for hyperactivity/impulsivity. Cronbach alphas in the QNTS and the QLSCD were respectively .89 and .86 in kindergarten and .90 and .91 in first grade for inattention and .90 and .88 in kindergarten and .89 and .88 in first grade for hyperactivity/impulsivity.

Behavior disorder symptoms. Behavior disorder symptoms were rated using four items of the SBQ. Cronbach alphas were .75 in the QNTS and .73 in the QLSCD. The scale was dichotomized as absence (0) or presence (1) of symptoms because of low occurrence.

Nonverbal abilities. Nonverbal abilities were assessed with the Block Design subtest of the Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence – Revised (WPPSI-R: Wechsler, 1989) in the QNTS and the Wechsler Intelligence Scale for Children – Third Edition (WISC-III; Wechsler, 1991) in the QLSCD. Raw scores were converted to standard scores based on test norms, with a mean of 10 and a standard deviation of 3. These subtests are known for their good internal consistency and test-retest reliability.

Statistical analysis

Descriptive statistics were computed with the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) and Wald Chi-Square Tests were performed with Mplus 5.21 (Muthén & Muthén, 2009) to test sex differences. Correlation coefficients were computed with Mplus 5.21. Fisher's r to z transformations were used to compare correlations for girls and boys. Standard multiple regressions, intra-class correlations, and multivariate genetic models were performed with Mplus 5.21. The MLR estimator, robust to the non-independence of observations, was used in regression and multivariate genetic analysis. The FIML was the default estimator to allow the use of all available data with the inclusion of subjects with missing data. The likelihood-ratio chi-square tests, the Akaike's Information Criterion (AIC), the Bayesian Information Criterion (BIC), the comparative fit index (CFI) and the

root mean square estimate of approximation (RMSEA) were used to quantify goodness of fit in the genetic analysis.

The basis of the twin method is to compare similarities between MZ twins, who share 100% of their genes, and DZ twins, who share 50% of their genes. In multivariate genetic analyses, both variances and covariances are decomposed into their additive genetic (A), shared environment (C), and non-shared environment (E) factors. Shared-environment increases similarities between twins of the same family whereas non-shared environment decreases them. Univariate analyses can be performed to estimate in which proportion individual differences on a construct are influenced by genetic and environmental factors. Multivariate analyses additionally provide an estimation of the relative influence of genetic and environmental factors to the covariance between two constructs: R_g is the correlation between the genetic factors affecting two traits (Plomin, DeFries, McClearn, & McGuffin, 2008, p. 183).

Results

Descriptive Statistics

Means and standard deviations are displayed in Table 1. The means and standard deviations for reading and nonverbal abilities are comparable to population norms in the QNTS and slightly above them in the QLSCD. Significant mean differences between girls and boys are apparent in both samples on inattention, hyperactivity/impulsivity and behavior disorder symptoms ($p < .05$) but not on reading and nonverbal abilities.

Correlations between reading and ADHD dimensions

Table 2 displays the correlations between the measures of interest. Reading abilities are moderately inter-correlated (.56 in the QNTS and .60 in the QLSCD), as are ADHD dimensions (.65 in the QNTS and .67 in the QLSCD). Both reading abilities are modestly and similarly correlated with ADHD dimensions, with the exception of reading comprehension and hyperactivity/impulsivity in the QNTS. Correlations are strongest overall between reading and inattention.

Separate correlations were computed for girls and boys, and compared with a formula developed to compare correlations across independent groups (Cohen, Cohen, West, & Aiken, 2003). In both samples, there were no significant differences between girls' and boys' correlations (results not shown).

What are the unique contributions of inattention and hyperactivity/impulsivity to reading abilities?

First, using age and sex regressed ADHD dimension scores, standard multiple regressions were computed in both samples to study the unique contributions of ADHD to decoding skills while controlling for the shared variance between inattention and hyperactivity/impulsivity, behavior disorder symptoms, and nonverbal skills (top portion of Table 3). Second, similar multiple regressions were computed with reading comprehension as the dependant variable (middle portion of Table 3). Results in both samples show that inattention and nonverbal abilities, but not hyperactivity/impulsivity, make significant unique contributions to both decoding and reading comprehension at this age. Notwithstanding, inattention is the best predictor of both decoding and reading comprehension in both samples.

Third, to determine if inattention has a unique contribution to reading comprehension above its contribution to decoding skills (the presumption here is that decoding is required to test comprehension), a last series of multiple regressions tested if inattention still predicts reading comprehension once decoding skills are taken into account (bottom portion of Table 3). In both samples, decoding was the best predictor of reading comprehension but inattention remained a significant unique predictor, showing that the association between reading comprehension and inattention is robust.

Additional models (not shown) were tested in the QNTS for reading scores without the time bonuses. Results were unchanged, indicating that the association could not be attributed to the time component of the reading measure in this sample.

Are the genetic and environmental contributions to the significant associations between reading comprehension and ADHD dimensions similar to those between decoding and ADHD?

The genetic analyses were performed on reading comprehension, decoding, and age/sex regressed inattention only. Table 4 presents MZ and DZ intraclass correlations (ICCs). The ICCs show that MZ correlations were moderate to high while DZ correlations were more modest for all measures. The MZ-DZ differences were substantial, especially for reading comprehension, suggesting that genetic factors largely explain individual differences on all three measures.

The formal Correlated-Factors multivariate genetic model confirms this. Fit indices show the model offered a good fit to the data: $\chi^2(33) = 31.97, p = .52$; AIC = 5028.26, BIC = 5116.89, CFI = 1.00, RMSEA = .00. ACE estimates of variances for the three measures are reported in Table 4 and Figure 1 (a, b, c) illustrates the full multivariate model. First, ACE parameters indicated that reading comprehension was the most heritable of the three measures with 68% of the variance on this measure explained by genetic factors, whereas the heritability was 48% for decoding and 42% for inattention symptoms. The genetic correlation between decoding and reading comprehension was high (.92), suggesting a high genetic overlap between these two reading abilities. The genetic correlations between decoding and inattention ($R_g = -.77$), and between reading comprehension and inattention ($R_g = -.45$) were also significant. These genetic correlations indicate that inattention and reading measures share some, but not all, of their genetic etiology. However, this shared genetic variance accounted for most of the observed modest phenotypic associations, as the shared and non-shared environmental correlations were non-significant.

An additional model (not shown) was tested in which sex, nonverbal abilities, and behaviour disorder symptoms regressed reading abilities, and age, sex, nonverbal abilities, and behaviour disorder symptoms regressed inattention were used. Parameter estimates remained similar; therefore the simplest model is reported.

Discussion

The purpose of this study was to characterize the phenotypic associations, and genetic and environmental etiology of the associations between reading comprehension and ADHD dimensions in the early school years and compare them to results using decoding measures of reading. Results showed that inattention is the ADHD dimension uniquely associated with both reading comprehension and decoding, that inattention contributes uniquely to reading comprehension above and beyond decoding skills, and that the association between reading comprehension and inattention, like the one between decoding and inattention, is largely due to shared genes.

This is one of the first population-based study to include reading comprehension at these early stages of reading acquisition, to test the association between reading and ADHD dimensions while controlling for the shared variance between inattention and hyperactivity/impulsivity, and to replicate results in two large-scale samples.

The case for including reading comprehension

In adults, Samuelsson, Lundberg, & Herkner (2004) have suggested that ADHD is more strongly associated with reading comprehension because it involves higher-order cognitive skills. By contrast, reading comprehension is less studied than decoding skills in early readers. However, our results show that both comprehension and decoding are associated and that individual differences on both largely stem from the same genetic factors, replicating earlier results (Keenan, Betjemann, Wadsworth, DeFries, & Olson, 2006). They are also similarly associated with inattention and both share a substantial genetic etiology with inattention at this age. A tentative explanation of the similar association between both reading abilities and inattention could be that decoding skills are strongly implied in reading comprehension. Indeed, Keenan, Betjemann and Olson (2008) have shown that reading comprehension measures similar to the one in the present study (cloze-test format with short text passages) are more associated with decoding skills than other reading comprehension measures with longer text passages. Furthermore, decoding skills' prediction on reading comprehension was stronger in younger ($M \cong 9$ years old) than in older children ($M \cong 13$ years old).

However, our results show that a significant part of the association between inattention and comprehension cannot be attributed to decoding skills, suggesting that other mechanisms are possibly involved. This also suggests that children with inattention problems could have reading comprehension difficulties without decoding difficulties (commonly known as “poor comprehenders”; Snowling, 2013). This result highlights the need to include reading comprehension as part of the standard assessment in early readers.

Modest but robust associations between reading and inattention: What do they mean?

As was the case in previous studies, reading abilities were only modestly correlated with ADHD dimensions. Thus, the modest associations in population-based studies between reading and inattention have been replicated across samples, age groups (6-12 years old), and a variety of reading and ADHD measures (Ebejer et al., 2010; Giannopulu et al., 2008; Greven, et al., 2011, 2012; Paloyelis et al., 2010; Pham, 2013; Rabiner & Coie, 2000; Rodriguez et al., 2007). The correlations in these population-based studies and co-occurrence rates (15-40%) from a categorical perspective (Gayà et al., 2005; Mayes, Calhoun, & Crowell, 2000; Willcutt & Pennington, 2000) do converge. Although this means the majority of children with inattention problems do not have reading difficulties and vice-versa, those that do may constitute a specific phenotype with distinctive cognitive and genetic features that need to be understood.

In addition, the associations reported between reading and hyperactivity/impulsivity may have been misleading given that previous studies rarely considered the possibility that correlations between reading and hyperactivity/impulsivity arise because both ADHD dimensions are highly correlated ($r_s > .60$). Indeed, some studies found no contribution of hyperactivity/impulsivity to reading after controlling for nonverbal abilities, gender, socioeconomic status, and other behaviour difficulties (Giannopulu et al., 2008; Pham, 2013; Rabiner et Coie, 2000). Our study leads us to conclude that only inattention symptoms are uniquely associated with decoding and reading comprehension. This means that reading difficulties in hyperactive children possibly arise with underlying inattention symptoms and that inattentive children without hyperactivity/impulsivity possibly incur the same risk of reading difficulties as those with both sets of symptoms.

The genetic trail to understanding the associations between reading and inattention

An important question raised at this point may be why reading is specifically associated with inattention given that inattention does not appear to “cause” reading difficulties. Ebejer et al. (2010) have shown that “shared genes” is a better fitting model than a “causal” genetic model for the association between inattention and decoding skills. Results indicate that a “shared genes” model does provide an accurate explanation of the association between reading comprehension and inattention. One possible mechanism for these shared genes may be the genetic etiology of cognitive processes or neurological functioning underlying both phenotypes (Pennington, 2006). For instance, recent studies have identified naming and processing speed, also moderately heritable, as potential covariates of decoding skills and inattention (McGrath et al., 2011; Willcutt et al., 2010). However, to our knowledge, the specific covariates of reading comprehension and inattention symptoms have not been explored.

Another explanation for the shared genetic etiology between both reading skills and inattention could be pleiotropy – that is the effect of the same gene or group of genes on different phenotypes (Paloyelis et al., 2010). Accordingly, researchers have demonstrated that the ADRA2A gene (Stevenson et al., 2005), and loci at chromosomes 14q32, 13q32, 20q11 (Gayà et al., 2005), and 6p (Willcutt et al., 2002; Couto et al., 2009) could have such pleiotropic effects.

Both quantitative and molecular genetic studies will be crucial in understanding how inattention and reading skills are linked genetically. Limits of this study include the standard limitations of the twin method (Plomin et al., 2008) and a possible underestimation of the associations between reading and ADHD dimensions as ADHD measures were averaged across kindergarten and first grade while reading was assessed at least a year later in second/third grade. Longitudinal studies are needed to understand how this association persists into adolescence and adulthood (Greven et al., 2012; Samuelsson, Lundberg, & Herkner, 2004). Finally, these results are relevant for parents, educators and clinical professionals. Environmental factors play a crucial role in the expression of genes and ensuing behaviors (Plomin et al., 2008). According to the present study, inattention symptoms should be considered while doing reading assessments/interventions and these

reading activities should focus on various reading abilities, including early reading comprehension.

Acknowledgements

This research was supported by various grants from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR), Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC), Canadian Language and Literacy Research Network (CLLRNET), National Health Research and Development Program (NHRDP), Quebec Research Funds (FCAR, FQRSC, and FRSQ), Quebec Ministries of Health, Social Services and Families, and the Lucie and André Chagnon Foundation. Vickie Plourde was supported by a CIHR Doctoral Fellowship. The study received ethical approval from Laval University and Ste-Justine Hospital. Special thanks to Bei Feng and H  l  ne Paradis for their assistance in data management, to Jocelyn Malo, Marie-  lyse Bertrand and the Quebec Statistics Institute for coordinating data collection, and to the children, parents, and teachers who participated in the studies.

References

- American Psychiatric Association (APA). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, Fifth Edition: DSM-IV-TR®*. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Boivin, M., Brendgen, M., Dionne, G., Dubois, L., Pérusse, D., Robaey, P., et al. (2012). The Quebec Newborn Twin Study Into Adolescence: 15 Years Later. *Twin Research and Human Genetics, FirstView Article*, 1-6.
- Byrne, B., Coventry, W. L., Olson, R. K., Samuelsson, S., Corley, R., Willcutt, E. G., et al. (2009). Genetic and environmental influences on aspects of literacy and language in early childhood: Continuity and change from preschool to Grade 2. *Journal of Neurolinguistics, 22*, 219-236.
- Byrne, B., Samuelsson, S., Wadsworth, S., Hulslander, J., Corley, R., DeFries, J., et al. (2007). Longitudinal twin study of early literacy development: Preschool through Grade 1. *Reading and Writing, 20*, 77-102.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Couto, J. M., Gomez, L., Wigg, K., Ickowicz, A., Pathare, T., Malone, M., et al. (2009). Association of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder with a Candidate Region for Reading Disabilities on Chromosome 6p. *Biological Psychiatry, 66*, 368-375.
- Ebejer, J. L., Coventry, W. L., Byrne, B., Willcutt, E. G., Olson, R. K., Corley, R., et al. (2010). Genetic and Environmental Influences on Inattention, Hyperactivity-Impulsivity, and Reading: Kindergarten to Grade 2. *Scientific Studies of Reading, 14*, 293-316.
- Forget-Dubois, N., Pérusse, D., Turecki, G., Girard, A., Billette, J.-M., Rouleau, G.,... & Tremblay, R. E. (2003). Diagnosing zygosity in infant twins: Physical similarity, genotyping, and chorionicity. *Twin Research, 6*, 479 – 485.

- Gayán, J., Willcutt, E. G., Fisher, S. E., Francks, C., Cardon, L. R., Olson, R. K., et al. (2005). Bivariate linkage scan for reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder localizes pleiotropic loci. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*, 1045-1056.
- Giannopulu, I., Escolano, S., Cusin, F., Citeau, H., & Dellatolas, G. (2008). Teachers' reporting of behavioural problems and cognitive-academic performances in children aged 5–7 years. *British Journal of Educational Psychology*, *78*, 127-147.
- Goldsmith, H. H. (1991). A zygosity questionnaire for young twins: A research note. *Behavior Genetics*, *21*, 257 – 269.
- Greven, C. U., Harlaar, N., Dale, P., & Plomin, R. (2011). Genetic Overlap between ADHD Symptoms and Reading is largely Driven by Inattentiveness rather than Hyperactivity-Impulsivity. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *20*, 6-14.
- Greven, C. U., Rijdsdijk, F. V., Asherson, P., & Plomin, R. (2012). A longitudinal twin study on the association between ADHD symptoms and reading. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *53*, 234-242.
- Jetté, M., & Des Groseilliers, L. (2000). *Longitudinal study of child development in Québec (ELDEQ 1998-2002): Survey description and methodology (Volume 1, Number 1)*. Québec, Canada: Institut de la Statistique du Québec.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (1983). *Kaufman Assessment Battery for Children Interpretive Manual*. Circle Pines, Minn: American Guidance Service.
- Keenan, J. M., Betjemann, R. S., & Olson, R. K. (2008). Reading Comprehension Tests Vary in the Skills They Assess: Differential Dependence on Decoding and Oral Comprehension. *Scientific Studies of Reading*, *12*(3), 281-300. doi: 10.1080/10884300802132279
- Keenan, J. M., Betjemann, R. S., Wadsworth, S. J., DeFries, J. C., & Olson, R. K. (2006). Genetic and environmental influences on reading and listening comprehension.

Journal of Research in Reading, 29(1), 75-91. doi: 10.1111/j.1467-9817.2006.00293.x

Larsson, H., Lichtenstein, P., & Larsson, J.-O. (2006). Genetic Contributions to the Development of ADHD Subtypes From Childhood to Adolescence. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 45, 973-981.

Levy, F., Hay, D. A., McStephen, M., Wood, C., & Waldman, I. (1997). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Category or a Continuum? Genetic Analysis of a Large-Scale Twin Study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 36, 737-744.

Mayes, S. D., Calhoun, S. L., & Crowell, E. W. (2000). Learning Disabilities and ADHD: Overlapping Spectrum Disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 417-424.

McGrath, L. M., Pennington, B. F., Shanahan, M. A., Santerre-Lemmon, L. E., Barnard, H. D., Willcutt, E. G., et al. (2011). A multiple deficit model of reading disability and attention deficit/hyperactivity disorder: searching for shared cognitive deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52, 547-557.

McLoughlin, G., Ronald, A., Kuntsi, J., Asherson, P., & Plomin, R. (2007). Genetic Support for the Dual Nature of Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Substantial Genetic Overlap Between the Inattentive and Hyperactive-impulsive Components. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 35, 999-1008.

Muthén, B. O., & Muthén, L. K. (2009). Mplus (5.21) [Computer software]. Los Angeles: Muthén & Muthén.

Paloyelis, Y., Rijdsdijk, F., Wood, A., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2010). The Genetic Association Between ADHD Symptoms and Reading Difficulties: The Role of Inattentiveness and IQ. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38, 1083-1095.

Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101, 385-413.

- Pépin, M., & Loranger, M. (1999). *Le Test d'habiletés en lecture (THAL) : Guide d'utilisation (version 1.0)*. Québec, Canada: Réseau Psychotech.
- Pham, A. V. (2013). Differentiating Behavioral Ratings of Inattention, Impulsivity, and Hyperactivity in Children: Effects on Reading Achievement. *Journal of Attention Disorders, X*, 1-10.
- Plomin, R., DeFries, J.C., McClearn, G.E., & McGuffin, P. (2008). *Behavioral genetics (4th edition)*. New York: Worth Publishers.
- Polanczyk, G., Silva de Lima, M., Lessa Horta, B., Biderman, J., & Rohde, L. A. (2007). The Worldwide Prevalence of ADHD: A Systematic Review and Metaregression Analysis. *American Journal of Psychiatry, 164*, 942-948.
- Polderman, T. J. C., Derks, E. M., Hudziak, J. J., Verhulst, F. C., Posthuma, D., & Boomsma, D. I. (2007). Across the continuum of attention skills: a twin study of the SWAN ADHD Rating Scale. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 48*, 1080–1087.
- Rabiner, D., & Coie, J. D. (2000). Early Attention Problems and Children's Reading Achievement: A Longitudinal Investigation. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 39*, 859-867.
- Rodriguez, A., Jarvelin, M.-R., Obel, C., Taanila, A., Miettunen, J., Moilanen, I., et al. (2007). Do inattention and hyperactivity symptoms equal scholastic impairment? Evidence from three European cohorts. *BMC Public Health, 7*, 327-338. doi:10.1186/1471-2458-7-327
- Rutter, M., Caspi, A., Fergusson, D., Horwood, L. J., Goodman, R., Maughan, B., et al. (2004). Sex differences in developmental reading disability: New findings from 4 epidemiological studies. *The Journal of the American Medical Association, 291*, 2007-2012.
- Samuelsson, S., Lundberg, I., & Herkner, B. (2004). ADHD and Reading Disability in Male Adults: Is There a Connection? *Journal of Learning Disabilities, 37*, 155-168.

- Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *The New England Journal of Medicine*, *326*, 145.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). Dyslexia (Specific Reading Disability). *Pediatrics in Review*, *24*, 147-153.
- Snowling, M. J. (2013). Early identification and interventions for dyslexia: a contemporary view. *Journal of Research in Special Educational Needs*, *13*, 7-14.
- Stevenson, J., Langley, K., Pay, H., Payton, A., Worthington, J., Ollier, W., et al. (2005). Attention deficit hyperactivity disorder with reading disabilities: preliminary genetic findings on the involvement of the ADRA2A gene. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*(10), 1081-1088.
- Tremblay, R. E., Desmarais-Gervais, L., Gagnon, C., & Charlebois, P. (1987). The Preschool Behaviour Questionnaire: Stability of its Factor Structure Between Cultures, Sexes, Ages and Socioeconomic Classes. *International Journal of Behavioral Development*, *10*, 467-484.
- Wechsler, D. (1989). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children – Third Edition*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., et al. (2010). Etiology and neuropsychology of comorbidity between RD and ADHD: The case for multiple-deficit models. *Cortex*, *46*, 1345-1361.
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of Reading Disability and Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder: Differences by Gender and Subtype. *Journal of Learning Disabilities*, *33*, 179-191.

Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Smith, S. D., Cardon, L. R., Gayán, J., Knopik, V. S., et al. (2002). Quantitative trait locus for reading disability on chromosome 6p is pleiotropic for attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Medical Genetics*, 114(3), 260-268.

Table 1.

Descriptive statistics for girls, boys, and the total sample on decoding, reading comprehension, inattention, hyperactivity/impulsivity, nonverbal abilities, and behavior disorder in the QNTS and the QLSCD samples.

Variables	QNTS						QLSCD			
	Age	Girls	Boys	Total	MZ	DZ	Age	Girls	Boys	Total
Decoding <i>M</i>	8.37	35.38	32.57	34.05	32.43	35.24	8.15	110.65	108.93	109.83
(<i>SD</i>)	(.11)	(16.95)	(17.95)	(17.49)	(17.55)	(17.35)	(.26)	(18.80)	(20.98)	(19.88)
<i>N</i>		272	244	516	218	298		766	694	1460
Comprehension	8.37	29.06	28.62	28.85	27.49	29.84	8.15	108.85	108.38	108.63
	(.11)	(13.88)	(14.80)	(14.33)	(14.25)	(14.30)	(.26)	(23.56)	(24.66)	(24.09)
		275	249	524	221	303		760	690	1450
Inattention K/1	6.57	.68	.97	.83	.77	.86	6.65	.58	.87	.72
	(.27)	(.58)	(.63)	(.62)	(.63)	(.61)	(.26)	(.56)	(.62)	(.61)
		487	475	962	398	560		760	691	1451
Hyperactivity K/1	6.57	.38	.67	.52	.45	.57	6.65	.28	.59	.43
	(.27)	(.45)	(.57)	(.53)	(.49)	(.55)	(.26)	(.39)	(.54)	(.50)
		487	475	962	398	560		759	687	1446
Nonverbal abilities	5.30	9.81	10.21	10.01	10.21	9.87	6.15	12.69	12.91	12.79
	(.26)	(2.66)	(2.96)	(2.82)	(2.76)	(2.86)	(.26)	(3.19)	(3.54)	(3.36)
		473	456	929	392	531		636	564	1200
Behavior disorder	7.09	%					7.15			
0 symptom	(.27)	82.40	59.90	71.20	73.00	69.80	(.26)	85.60	67.30	76.90
1 symptom or +		17.60	40.10	28.80	27.00	30.20		14.40	32.70	23.10
<i>N</i>		420	419	839	359	480		689	621	1310

Note. K/1: combined kindergarten and first grade measures.

Table 2.

Correlations (sig. 2-tailed) between reading abilities and ADHD dimensions. Pearson correlation coefficients are above the diagonal for the QNTS (N = 525 to 1007) and are below the diagonal for the QLSC (N = 691 to 675; and Total: N = 1451 to 1596).

Variables	1.	2.	3.	4.
1. Decoding		.56**	-.32**	-.18**
2. Comprehension	.60**		-.27**	-.11*
3. Inattention K/1	-.30**	-.31**		.65**
4. Hyperactivity K/1	-.23**	-.18**	.67**	

Note. K/1: combined kindergarten and first grade measures. ** $p < .01$.

Table 3.

Standard multiple regression models predicting decoding and comprehension, from ADHD dimensions, nonverbal abilities, and behavior disorder symptoms.

Dependent variables	Predictors	QNTS		QLSCD	
		<i>B(SE)</i>	β	<i>B(SE)</i>	β
1. Decoding	<i>N</i>	1057		1610	
	Inattention	-4.77(1.14)**	-.25	-4.85(.82)**	-.22
	Hyperactivity	.34(1.21)	.02	-1.28(.85)	-.06
	Behavior disorder	-2.96(2.21)	-.08	-.17(1.55)	-.00
	Nonverbal abilities	1.27(.31)**	.20	.89(.17)**	.15
2. Comprehension	<i>N</i>	1057		1610	
	Inattention	-4.32(.92)**	-.27	-7.36(.93)**	-.28
	Hyperactivity	1.46(.97)	.09	.20(.97)	.01
	Behavior disorder	-2.57(1.77)	-.08	.78(1.87)	.01
	Nonverbal abilities	1.07(.25)**	.21	1.26(.22)**	.18
3. Comprehension	<i>N</i>	1057		1610	
	Inattention	-2.35(.86)**	-.15	-4.29(.79)**	-.16
	Hyperactivity	1.29(.82)	.08	1.05(.83)	.04
	Behavior disorder	-1.31(1.54)	-.04	.97(1.52)	.02
	Nonverbal abilities	.54(.20)**	.11	.71(.18)**	.10
	<i>Decoding</i>	.41(.03)**	.50	.66(.03)**	.54

Note. QNTS = Quebec Newborn Twin Study; QLSCD = Quebec Longitudinal Study of Child Development. ** $p < .01$

Table 4.

MZ and DZ intra-class correlations and estimates of heritability (A), shared environment (C), and non-shared environment (E) for decoding, reading comprehension, and inattention with 95% confidence intervals, from the multivariate model.

	MZ		DZ		A	C	E
	ICC	<i>n</i>	ICC	<i>n</i>			
Decoding	.52	218	.32	298	.48 (.18, .78)	.07 (-.21, .36)	.45 (.36, .54)
Comprehension	.72	221	.32	303	.68 (.44, .92)	.03 (-.18, .25)	.29 (.20, .37)
Inattention	.58	398	.36	560	.42 (.18, .67)	.16 (-.05, .36)	.42 (.33, .51)

Note. MZ = monozygotic twins; DZ = dizygotic twins; ICC = intra-class correlation; A = proportion of variance explained by additive genetic factors; C = proportion of variance explained by shared environmental factors; E = proportion of variance explained by unique environmental factors and error.

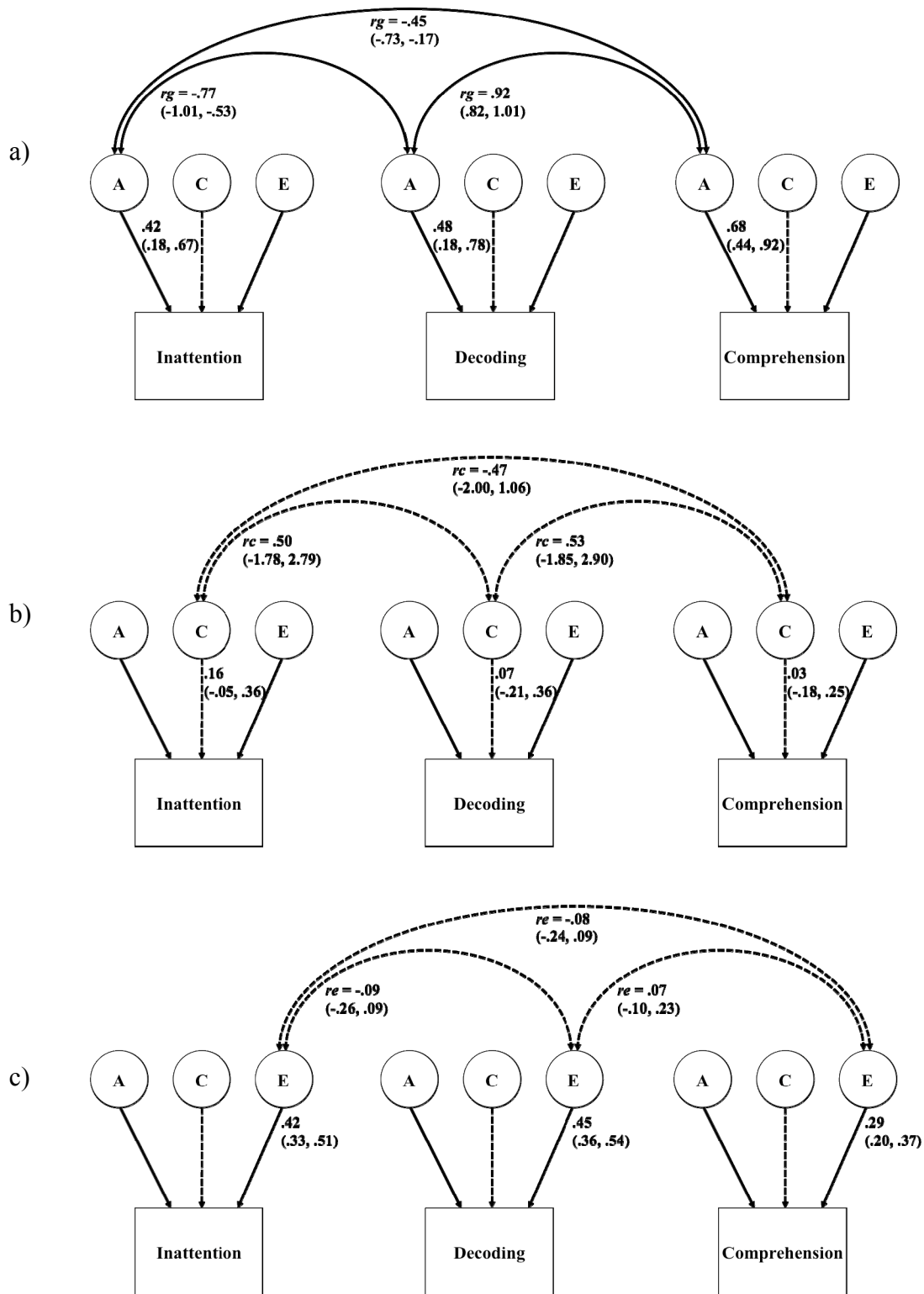


Figure 1. Correlated-Factors multivariate model showing the best-fitting models for the association between decoding and inattention, between reading comprehension and inattention, and between decoding and reading comprehension. Standardized estimates with 95% confidence intervals. Curved double-headed arrows refer to A (section a), C (section b) and E (section c) correlations. Dotted double-headed arrow are non-significant correlations ($p > .05$).

**Chapitre 3 : Article 2 - Phenotypic and Genetic
Associations Between Reading and ADHD Dimensions in
Adolescence**

Résumé

Plusieurs études ont montré que les habiletés en lecture et le TDAH, principalement les symptômes d'inattention, sont phénotypiquement et génétiquement associés durant l'enfance. Toutefois, peu d'études ont investigué si ces associations évoluent et persistent à l'adolescence, période développementale associée à plusieurs changements. L'objectif principal est d'étudier l'étiologie génétique et environnementale des associations entre les dimensions du TDAH (inattention et hyperactivité) rapportées par les parents et les habiletés en lecture (exactitude et vitesse de la lecture ainsi que la lecture de mots,) dans un échantillon de jumeaux – Étude des jumeaux nouveau-nés du Québec (EJNQ). Les participants sont âgés de 14 et 15 ans au moment de l'évaluation ($N = 668-837$). Les résultats ont montré que lorsque les habiletés verbales et non verbales sont contrôlées, l'inattention, mais non l'hyperactivité/impulsivité, est un prédicteur modeste et significatif de l'exactitude et la vitesse de la lecture ainsi que de la lecture de mots. De plus, les associations entre l'inattention et les habiletés en lecture s'expliquent partiellement par des facteurs génétiques et de l'environnement unique. Toutefois, les corrélations génétiques ne sont plus significatives lorsque les habiletés verbales sont contrôlées. Ainsi, durant la mi-adolescence, l'inattention est la dimension du TDAH associée aux habiletés en lecture, mais leur chevauchement génétique semblerait être dû aux habiletés verbales générales.

Abstract

Multiple studies have shown that reading abilities and ADHD symptoms, mainly inattention symptoms, are phenotypically and genetically associated during childhood. However, few studies have looked at these associations during adolescence to investigate possible developmental changes. The aim of the study is to examine the genetic and environmental etiology of the associations between inattention and hyperactivity reported by parents, and reading accuracy, reading speed, and word reading in a population-based twin sample – Quebec Newborn Twin Study (QNTS). Participants were between 14 and 15 years of age at the time of testing ($N = 668-837$). Results showed that when nonverbal and verbal abilities were controlled, inattention, but not hyperactivity/impulsivity, was a modest and significant predictor of reading accuracy, reading speed, and word reading. The associations between inattention and all reading abilities were partly explained by genetic and unique environmental factors. However, the genetic correlations were no longer significant after controlling for verbal abilities. In mid-adolescence, inattention is the ADHD dimension associated with reading abilities, but their genetic overlap may be due to general verbal skills.

Although many studies in childhood document the association between ADHD symptoms – mainly inattention symptoms – and reading abilities, studies of what happens of this association during adolescence are scarce. Such studies however may be crucial, as Willcutt and Pennington (2000) have shown that approximately 15 to 40% of 8- to 18-year olds with ADHD or reading disability (RD) present both at the same time. But as their study did not distinguish co-occurrence in children from those in adolescents, it is unclear if rates across these developmental periods are similar. In addition, as ADHD symptoms, mainly hyperactivity, appear to decline during adolescence (American Psychiatric Association – APA, 2013; Biederman, Mick, & Faraone, 2000), so could the nature of their association with reading abilities. Furthermore, as the chronicity of this co-occurrence could lead to greater challenges later in life (Brook & Boaz, 2005), studies are required to determine if the ADHD-reading association persists into adolescence.

In population-based studies, inattention is the ADHD dimension associated with reading during childhood. This association is modest but robust across different reading measures – reading abilities rated by parents/teachers and objective measures in word reading, reading speed, and reading comprehension skills (Ebejer et al., 2010; Greven, Harlaar, Dale, & Plomin, 2011; Greven, Rijdsdijk, Asherson, & Plomin, 2012; Paloyelis, Rijdsdijk, Wood, Asherson, & Kuntsi, 2010; Plourde et al., in press; Rodriguez et al., 2007). Inattention remains a significant predictor of reading abilities, even after controlling for confounding variables such as gender (Pham, 2013), verbal and nonverbal abilities (Pham, 2013, Plourde et al., 2015; Rabiner & Coie, 2000), externalizing symptoms (Giannopulu et al., 2008; Plourde et al., 2015; Rabiner & Coie, 2000) or prior reading abilities (Rabiner & Coie, 2000). Unfortunately, these results have yet to be replicated in population-based studies of adolescents.

Nevertheless, clinical studies of adolescents have shown that ADHD is associated with academic achievement, particularly reading achievement. Frazier, Youngstrom, Glutting, and Watkins (2007) conducted a meta-analysis on ADHD and achievement among child, adolescent, and adult samples, including seven studies with adolescents published since 1990. They demonstrated that throughout development, ADHD had a more negative impact on reading achievement than on spelling or mathematics for both boys and

girls using rating scales or standardized reading measures. They also showed that reading impairment among participants with ADHD decreased both from childhood to adolescence, and from adolescence to adulthood. These results suggest that the association between ADHD symptoms and reading achievement possibly persists into adolescence but may become more modest.

Among clinical studies with adolescents, only one (Ghelani, Siduhu, Jain, and Tannock, 2004) has looked at multiple reading measures. It included 32 participants with ADHD only, 20 with RD only, 19 with both diagnoses, and 25 controls ($N = 96$, 14-17 years old). Results showed that, when controlling for general intellectual abilities, adolescents with ADHD only were slower to read a text aloud than controls. Adolescents with RD only or with ADHD and RD were also slower to read a text aloud, and they also had lower scores in text reading accuracy and silent reading comprehension compared to controls. Thus, ADHD symptoms may be more related to reading abilities that depends on processing speed in adolescence. These different patterns of associations highlight the need to consider multiple reading abilities when investigating their associations with ADHD symptoms.

This study and others of adolescents included in the above-mentioned meta-analysis (Frazier et al., 2007) used clinical samples and a dichotomous approach to classify participants as having ADHD or RD. This categorical approach is informative for adolescents with severe symptom levels but less informative for adolescents with subclinical levels of ADHD and RD, or typically developing adolescents. Furthermore, the choice of criteria to determine at-risk groups of children can vary between studies.

Population-based samples using a dimensional approach consider the whole range of abilities and disabilities in ADHD dimensions and reading abilities. As such, they overcome these limits, they allow the study of individual differences, and they are deemed appropriate to test the association between reading abilities and ADHD dimensions given that both have been shown to be normally distributed (Levy, Hay, McStephen, Wood, & Waldman, 1997; Polderman et al., 2007; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Makuch, 1992).

Once a phenotypic association between two constructs is established, a potential next step is to investigate its underlying mechanisms. One way to do this is to study twins to quantify how genetic and environmental factors account for the association (Boivin et al., 2012). Previous twin studies have shown that in the early school years, inattention (55%-79%), hyperactivity/impulsivity (72%-88%), and reading (67% - 84%) are among the most highly heritable phenotypes (Byrne et al., 2007, 2009; Larsson et al., 2006; McLoughlin et al., 2007; Paloyelis et al., 2010; Plourde et al., 2015). These studies have also shown that correlations between reading and ADHD dimensions, especially inattention, are mostly due to shared genetic factors (Ebejer et al., 2010; Greven et al., 2011; Paloyelis et al., 2010; Plourde et al., 2015).

There are only two known quantitative genetic studies of the associations between ADHD and reading during early adolescence (Greven et al., 2011, 2012). Greven et al. (2012) used a longitudinal twin design to study the associations between continuous measures of ADHD dimensions rated by parents and reading rated by teachers in 7-8 year-olds and 11-12 year-olds. They showed that inattention and reading in 11-12 year-olds were as highly heritable (72% and 54% respectively) as during early childhood. They also showed that the modest association between reading and inattention was primarily attributable to shared genes ($rg = -.31$) whereas reading was less associated with hyperactivity/impulsivity ($rg = -.13$). Greven et al. (2011) had obtained similar results with objective measures of decoding skills and reading comprehension. Together with results on younger children, these results suggest that the genetic etiology of the inattention -reading association may be stable over the course of early development into early adolescence and span over multiple reading measures. However, age 12 may not be representative of what occurs later in adolescence. Although other quantitative genetic studies have shown that inattention (78-82%; Chang, Lichtenstein, Asherson, & Larsson, 2013) and reading (60-68%; Betjemann et al., 2008) remain highly heritable in later adolescence, the etiology of their association was not investigated.

The goal of the present study is to investigate associations between ADHD dimensions and three objective reading measures in a population-based sample of 14-15 year-old twins. The specific objectives are:

(1) To measure the associations between ADHD dimensions - inattention and hyperactivity/impulsivity -, and text reading accuracy, text reading speed, and word reading, while taking nonverbal abilities, verbal abilities, and the shared variance between inattention and hyperactivity/impulsivity into account.

(2) To estimate the genetic and environmental contributions to significant associations between ADHD dimensions and reading abilities during mid-adolescence.

Method

Participants

Participants come from the Quebec Newborn Twin Study (QNTS: Boivin et al., 2012). More than 660 families in the Greater Montreal area were initially enrolled (1995-1998) and followed annually from birth on a range of individual, social, family, and school characteristics. Parents' consent was obtained before each data collection. Inclusion criteria at onset were the fluent use of French or English by the mother and no major medical complications at birth. Zygosity was initially assessed via questionnaire (Goldsmith, 1991) and confirmed with DNA tests on a subsample ($n = 123$) of same-sex pairs showing a 96% correspondence (Forget-Dubois et al., 2003). Data for this study were collected when participants were on average 15.08 years old ($SD = .26$; 14.50 – 15.92). Attrition for the sample was estimated at approximately 5% per year between five months and seven years old (Plourde et al., 2015). Approximately 78% of the sample followed after kindergarten was tested at age 15 years (see Boivin et al., 2015 for more information on participation rates). Additionally, 34 families recruited after kindergarten with twins also born during the same period (1995-1998) were tested at 15 years old and included in the present sample. As the analyses use a Full Information Maximum Likelihood (FIML) approach, the number of participants varies across measures (text reading speed and accuracy - Alouette-R, $n = 671$; word reading, $n = 674$; inattention and hyperactivity symptoms, $n = 792$; nonverbal abilities, $n = 752$; verbal abilities, $n = 757$).

Measures and procedure

Text reading speed and accuracy. To assess text reading speed and accuracy, the Alouette-R (Lefavrais, 2005), a widely used clinical reading task in French was administered. The participant had to read aloud a nonsensical text composed of 265 common and difficult/uncommon words. The task was interrupted after 180 seconds. Time to read the text and the total number of errors was used to derive an accuracy and a speed score. The accuracy score is the number of correct words (C) divided by the total of read words (R), multiplied by 100 $[(C / R) \times 100]$, which yields a percentage value. The speed score is the number of correctly read words (C) multiplied by 180 (maximum allowed reading time in seconds), divided by the actual reading time in seconds (T) $[(C \times 180) / T]$. There are no available norms for Canadian children/adolescents on the Alouette-R; therefore, raw scores corrected for age and sex were used for the analyses.

Word reading. The French version of the Word Reading subtest of the Weschler Individual Achievement Test (WIAT-II CDN-F; Weschler, 2005) was used to assess word reading. The participant had to correctly read aloud a series of words as fast as possible. The test includes 131 items rated as pass (1) or fail (0, i.e. reading error not spontaneously corrected by the reader), and was interrupted after seven consecutive errors. Start and end criteria were based on age. All scores were standardized ($M = 100$; $SD = 15$) based on the participant's age. Internal consistency varies from .92-.93 in 14-15-year olds (Weschler, 2005).

ADHD dimensions. Both parents rated the level of ADHD dimensions within the past six months on a three-point Likert scale: (0) never or not true, (1) sometimes or a little true, (2) often or very true with three items for inattention and five items for hyperactivity/impulsivity from a questionnaire validated for its use with adolescents (Social Behavior Questionnaire – SBQ: Tremblay, Desmarais-Gervais, Gagnon, & Charlebois, 1987). Cronbach alphas were .85 for inattention reported by mothers, .83 for inattention reported by fathers, .76 for hyperactivity reported by mothers, and .78 for hyperactivity/impulsivity reported by fathers in this sample. Correlations between parents were .50 for inattention and .45 for hyperactivity, indicating good inter-rater agreement.

Nonverbal abilities. Nonverbal abilities were assessed with the Block Design subtest of the Wechsler Intelligence Scale for Children – Third Edition (WISC-III; Wechsler, 1991). Raw scores were converted to standard scores ($M = 10$; $SD = 3$). This subtest has good internal consistency ($r = .90$ to $.92$), and test-retest reliability ($r = .83$), as well as high correlations with the Performance Scale of the WISC ($r = .64$ to $.72$) at ages 14-15 year (Wechsler, 1991).

Verbal abilities. Verbal abilities were assessed with the Vocabulary subtest of the Wechsler Intelligence Scale for Children – Third Edition (WISC-III; Wechsler, 1991). Raw scores were converted to standard scores ($M = 10$; $SD = 3$). This subtest has good internal consistency ($r = .91$), and test-retest reliability ($r = .93$), as well as high correlations with the Verbal Scale of the WISC ($r = .80$ - $.82$) at ages 14-15 years (Wechsler, 1991).

Statistical analyses

Descriptive statistics and correlations were computed with Mplus 7.3 (Muthén & Muthén, 2014). Standard multiple regressions and Correlated-Factors multivariate genetic models were tested with Mplus 7.3 using the MLR estimator robust to the non-independence of observations. The genetic models looked at the ADHD dimension associated with reading skills and ADHD-symptom scores were aggregated into a latent factor combining mother and father reports to reflect what is common between these two measures and exclude measure-specific variations. The Full Information Maximum Likelihood (FIML) was the default estimator to allow the use of all available data with the inclusion of subjects with missing data.

The basis of the twin method is to compare similarities between MZ twins, who share 100% of their genes, and DZ twins, who share 50% of their genes. Variances and covariances are decomposed into their additive genetic (A), shared environment (C), and non-shared environment (E) components. Additive genetic influences reflect the extent to which MZ twin pairs are more similar than DZ twin pairs. Shared environment increases similarities between twins of the same family regardless of their genetic similarity whereas non-shared environment decreases them. The genetic and environmental correlations (R_g ,

Rc, *Re*) reflect the overlap between factors responsible for the phenotypic correlations (Plomin, DeFries, McClearn, & McGuffin, 2008, p. 183).

Results

Table 1 presents the means and standard deviations for the total sample, by sex and by zygosity for all variables. The means and standard deviations for word reading, nonverbal abilities, and verbal abilities are comparable to population norms. Mothers assessed girls as less inattentive than boys, and boys have better nonverbal abilities than girls ($p < .05$). There were no other sex or zygosity mean differences.

Correlations (see Table 2) among ADHD dimensions are moderate to high for both mothers and fathers, as are correlations across reading measures. Correlations between ADHD dimensions and reading measures are modest, with higher levels of inattention and hyperactivity/impulsivity associated with lower reading scores.

Correlations, as compared with a formula developed to compare correlations across independent groups (Cohen, Cohen, West, & Aiken, 2003), are not different for girls and boys, with the exception that some correlations are higher in girls than boys (inattention and hyperactivity reported by father, $p = .003$; hyperactivity reported by father and reading accuracy, $p = .012$; hyperactivity reported by father and word reading, $p = .001$), as well as higher in boys than girls between nonverbal abilities and reading accuracy, $p = .001$.

Do ADHD symptoms remain predictors of reading in adolescents after controlling for confounds?

Standard multiple regressions were computed to test the contribution of age/sex regressed ADHD dimensions scores to age/sex regressed reading abilities once nonverbal and verbal abilities, and the shared variance between inattention and hyperactivity/impulsivity, were controlled. Regressions were separately computed for ADHD symptoms reported by mothers and fathers (Table 3). Results show that verbal abilities are the best unique predictors of all reading measures. Nonverbal abilities are a significant unique predictor of word reading only. Of the ADHD symptoms, inattention rated by both parents, but not hyperactivity/impulsivity, remains a significant unique

predictor of accuracy and speed, and inattention rated by fathers remains a significant unique predictor of word reading.

What are the genetic and environmental contributions to the association between inattention symptoms and reading abilities in adolescents?

The genetic analyses were performed on age/sex regressed inattention, reading accuracy, reading speed, and word reading. The intraclass correlations (ICCs; Table 4) show that MZ correlations are moderate to high whereas DZ correlations are small for inattention and modest for reading measures, suggesting high heritability for all measures.

Figure 1 (a, b, c) illustrates the Correlated-Factors multivariate genetic model and ACE variance estimates. Fit indices showed the model offered a good fit to the data [χ^2 (86) = 101.14, p = .13; AIC = 7965.93, BIC = 8141.88, CFI = .99, RMSEA = .03]. ACE parameters confirm a moderate-to-high heritability for all measures (inattention: 75%; accuracy: 49%; speed: 71%; word reading: 65%) and modest non-shared environmental contributions for reading measures (accuracy: 36%; speed: 29%; word reading: 33%) whereas they did not reach significance for inattention (25%). The inattention-accuracy, and inattention-speed associations are partly explained by genetic factors (r_{gs} = -.31 and -.26 respectively) whereas the inattention-word reading association is partly explained by both genetic (r_g = -.20) and non-shared environmental factors (r_e = -.35). The genetic correlations between reading measures are high (r_g = .75-.94), showing that similar genetic influences underlie accuracy, speed, and word reading. Accuracy also shares unique environmental factors with speed (r_e = .21) and word reading (r_e = .16).

Correlated-Factors multivariate genetic models were also tested with measures additionally regressed for nonverbal abilities [χ^2 (84) = 104.04, p = .07; AIC = 7524.99, BIC = 7704.52, CFI = .98, RMSEA = .04] and for verbal abilities [χ^2 (83) = 92.29, p = .23; AIC = 7827.75, BIC = 8012.06, CFI = .99, RMSEA = .02]. Parameter estimates for each measure remain similar across models. However, the genetic correlation between inattention and word reading (r_g = -.11) is no longer significant once nonverbal abilities are taken into account and none of the genetic correlations are significant once verbal abilities are taken into account (inattention-accuracy r_g = -.18; inattention-speed r_g = -.17;

inattention-word reading $r_g = -.08$). This indicates that the genetic factors shared between inattention and reading abilities are mainly those associated with verbal intelligence at this age.

Discussion

It is known and empirically supported that ADHD symptoms and reading difficulties emerge during childhood, and persist through adolescence and adulthood. Scientific evidence has also shown that ADHD, mostly inattention, and reading abilities are associated in childhood and early adolescence across multiple measures and samples. These associations are also mainly due to shared genetic factors. However, less is known about these associations later in adolescence. Given that ADHD symptoms have been shown to decrease during adolescence, this study set out to document the phenotypic and genetic associations between ADHD and reading in mid- adolescence in a large sample of 14-15-year old twins.

Results revealed that inattention is the ADHD dimension associated with reading abilities at 14-15 years of age. These phenotypic correlations are very similar to those obtained with children, although ADHD symptoms change during development. Indeed, studies have shown that ADHD symptoms decrease over time, albeit more so for hyperactivity/impulsivity symptoms than inattention symptoms (Biederman, Mick, & Faraone, 2000; Sibley et al., 2012). This decrease could be due to developmental changes in ADHD symptomatology not captured by the adolescence diagnostic criteria (Faraone, Biederman, & Mick, 2006) or by the development and use of effective compensatory strategies related to the symptoms during adolescence (Frazier et al., 2007). However, most children do not show a complete remission of their inattention symptoms, underlying the persistence of these symptoms during adolescence.

Dyslexia and reading difficulties remain more stable across ages and persist during adolescence (Shaywitz et al., 2003), with difficulties in word reading, reading fluency, but mostly in reading comprehension (Brasseur-Hock, Hock, Kieffer, Biancarosa et Deshler, 2011; Cirino et al., 2013). Studies have also shown that reading abilities remain inter-correlated during adolescence (Cirino et al., 2013), suggesting that reading difficulties

could span across multiple skills. Indeed, in the present study, reading accuracy, reading speed, and word reading were highly correlated and essentially influenced by the same genetic factors. This leads us to propose that difficulties across these reading skills probably often co-occur among struggling adolescent readers. Reading comprehension measures would additionally be needed to assess if they are also strongly linked with these more basic reading skills.

Despite developmental changes in ADHD and reading, results showed that inattention remains associated with reading abilities in mid-adolescence. These associations converge with results of previous studies in early adolescence (Greven et al., 2011, 2012; Rogers, Hwang, Toplak, Weiss, & Tannock, 2011). In addition, they add to this literature in showing that inattention is still associated with reading once sex, age, nonverbal abilities, verbal abilities, and hyperactivity/impulsivity are taken into account. This shows that the association is robust.

Results from genetic models indicate that the inattention-reading association is attributable to shared genes at this age. Indeed, around both inattention and reading abilities are moderately to highly heritable at this age, and it is the correlation among their genetic factors that accounts for the modest but robust phenotypic association. Population-based twin studies have shown very similar genetic correlations between reading and inattention in childhood (Greven et al., 2011, 2012; Paloyelis et al., 2010; Plourde et al., 2015). One twin study of 11-12 year-old adolescents found genetic correlations of the same magnitude ($r_g = -.26$ to $-.31$; Greven et al., 2011, 2012) as those estimated in the present study. These genetic correlations are modest, indicating that most of the genetic influences on inattention and reading are not shared. However, some of these genetic factors are shared and, as observed in childhood, they account for the inattention-reading association during adolescence.

The potential mechanisms involved need some further investigation. The genetic association could mean that a higher level of inattention lead to a higher error rate and a slower reading speed. Alternatively, the genetic association could also stem from neurological and cognitive functioning that shares a genetic etiology with both inattention and reading abilities. Indeed, this hypothesis has been proposed (Pennington, 2006) and

empirically supported in childhood, with results showing that processing and naming speed (Willcutt et al., 2010; Plourde et al., in preparation) account for the genetic association between inattention and reading abilities.

Results in adolescents point to an additional cognitive ability that shares genetic factors with reading and inattention: general verbal skills measured by vocabulary. The genetic correlations between inattention and all three reading measures were no longer significant once verbal abilities were taken into account in subsequent models. As verbal abilities are moderately correlated with inattention ($r = -.18$) and all reading abilities ($r = .27$ to $.35$), they should be considered in our understanding of the inattention-reading association in mid-adolescence. On one hand, inattention could interfere with vocabulary acquisition, which could in turn affect reading accuracy and speed, and word reading. On the other hand, vocabulary skills could share genetic factors with other more basic cognitive mechanisms. For instance, mechanisms involved in processing and naming speed, but also in working memory, shown to be involved in the association between inattention and reading abilities during mid-adolescence (Rogers et al., 2011), could be investigated in future studies of the inattention-reading association during adolescence.

Non-shared environment influences appear to play a more minor role in the inattention-reading association in adolescence compared to genetic factors. However, they were not involved in the inattention-reading association when the same sample was tested in childhood (Plourde et al., 2015). These etiological influences were only significant in the correlation between inattention and word reading. This result could be due to environmental influences that are not shared by twins from the same family. They may have increasingly distinct academic paths, interests, extra-curricular activities and friends in adolescence compared to childhood. These could in turn have a unique impact on how the inattention-reading association evolves. Additionally, twins from the same family could be increasingly exposed to different reading instructions and teacher strategies to manage inattention as most of them were not in the same class in the late primary grades. Differential instructions could therefore play a long-term role in making twins from the same family more different on the association between inattention and word reading during adolescence.

One last notable result from this study is the high heritability of all reading measures at this age and the strong genetic correlations among them. These results suggest that low-level reading abilities share almost all their genetic factors during adolescence. This converges with previous studies in childhood showing high genetic correlations among low-level reading abilities but also with higher-level skills such as reading comprehension (Byrne et al., 2007; 2009). As reading comprehension becomes more sophisticated during adolescence and adulthood, it is unclear if this would remain the case (Betjemann et al., 2008).

Suggestions for clinicians, educators and parents can be formulated in accordance with the present results. First, the study demonstrates that inattention symptoms in adolescence remain robustly associated with reading abilities. This reinforces the need for continuous assessment and monitoring of inattention symptoms as they relate to persistent reading difficulties across development. These can be neglected in assessments and interventions that target poor adolescent readers. Second, the similar etiological basis of the inattention-reading association from childhood to adolescence underscores the need to intervene early. Finally, in children with more inattention problems, interventions targeting reading skills may need to be adapted to their shorter attention spans to maximize gains. For example, intervention could be divided into shorter blocks structured around specific abilities much the same way interventions are adapted to attention spans in the early school years. As reading levels and attention spans do increase with age, it may be tempted to overlook the need for continuous monitoring and tailored strategies.

Despite the novel contributions of this study, it did not examine reading comprehension and its associations with ADHD. It would be interesting to see if inattention is more strongly related to reading comprehension than other reading abilities during mid-adolescence, given that comprehension relies on higher-order cognitive skills, such as making inferences, and integrating vocabulary and grammar skills to understand the meaning of the text (Dalpé, Giroux, Lefebvre, & St-Pierre, 2010; Woolley, 2010). Standard limitations of the twin studies (Plomin et al., 2008) and the sample size are also to be considered. Future studies should incorporate reading comprehension tasks and use longitudinal data to test this co-occurrence. These studies could let us see if the genetic and

environmental correlations between ADHD and reading are the same across age. Another promising research venue is to pursue the investigation of the mechanisms – genetic, environmental, neuropsychological – responsible for these associations.

Acknowledgements

This research was supported by various grants from the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC), the Canadian Institutes of Health Research (CIHR), and the Quebec Research Funds (FRQSC). Vickie Plourde was supported by a CIHR Doctoral Fellowship. The study received ethical approval from Laval University and Ste-Justine Hospital. Special thanks to Bei Feng and H el ene Paradis for their assistance in data management, to Marie- lyse Bertrand for project coordination as well as to the children, parents, and teachers who participated in the studies.

References

- American Psychiatric Association – APA (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition*. American Psychiatric Association: Arlington, VA.
- Betjemann, R. S., Willcutt, E. G., Olson, R. K., Keenan, J. M., DeFries, J. C., & Wadsworth, S. J. (2007). Word reading and reading comprehension: stability, overlap and independence. *Reading and Writing, 21*(5), 539–558. doi:10.1007/s11145-007-9076-8
- Biederman, J., Mick, E., & Faraone, S. V. (2000). Age-dependent decline of symptoms of attention deficit hyperactivity disorder: impact of remission definition and symptom type. *The American Journal of Psychiatry, 157*(5), 816–818.
- Boivin, M., Brendgen, M., Dionne, G., Dubois, L., Pérusse, D., Robaey, P., ... Vitaro, F. (2013). The Quebec Newborn Twin Study into adolescence: 15 years later. *Twin Research and Human Genetics : The Official Journal of the International Society for Twin Studies, 16*(1), 64–69. doi:10.1017/thg.2012.129
- Brasseur-Hock, I. F., Hock, M. F., Kieffer, M. J., Biancarosa, G., & Deshler, D. D. (2011). Adolescent struggling readers in urban schools : Results of a Latent Class Analysis. *Learning and Individual Differences, 21*(4), 438–452. doi:10.1016/j.lindif.2011.01.008
- Brook, U., & Boaz, M. (2005). Attention deficit and hyperactivity disorder (ADHD) and learning disabilities (LD): adolescents perspective. *Patient Education and Counseling, 58*(2), 187–191. doi:10.1016/j.pec.2004.08.011
- Byrne, B., Coventry, W. L., Olson, R. K., Samuelsson, S., Corley, R., Willcutt, E. G., ... DeFries, J. C. (2009). Genetic and environmental influences on aspects of literacy and language in early childhood: Continuity and change from preschool to Grade 2. *Journal of Neurolinguistics, 22*(3), 219–236. doi:10.1016/j.jneuroling.2008.09.003
- Byrne, B., Samuelsson, S., Wadsworth, S., Hulslander, J., Corley, R., DeFries, J. C., ... Olson, R. K. (2006). Longitudinal twin study of early literacy development:

- Preschool through Grade 1. *Reading and Writing*, 20(1-2), 77–102. doi:10.1007/s11145-006-9019-9
- Chang, Z., Lichtenstein, P., Asherson, P. J., & Larsson, H. (2013). Developmental twin study of attention problems: high heritabilities throughout development. *JAMA Psychiatry*, 70(3), 311–8. doi:10.1001/jamapsychiatry.2013.287
- Cirino, P. T., Romain, M. A., Barth, A. E., Tolar, T. D., Fletcher, J. M., & Vaughn, S. (2013). Reading skill components and impairments in middle school struggling readers. *Reading and Writing*, 26, 1059–1086. doi:10.1007/s11145-012-9406-3
- Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., & Aiken, L.S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Dalpé, V., Giroux, C., Lefebvre, P., & St-Pierre, M.-C. (2010). Composantes de la lecture et de l'écriture. In M.-C. St-Pierre, Dalpé, V., Lefebvre, P., Giroux, C. (Ed.), *Difficultés de lecture et d'écriture : démarche de prévention et d'évaluation orthophonique*. (pp. 29-45). Québec: Presse de l'Université du Québec.
- Ebejer, J. L., Coventry, W. L., Byrne, B., Willcutt, E. G., Olson, R. K., Corley, R., & Samuelsson, S. (2010). Genetic and Environmental Influences on Inattention, Hyperactivity-Impulsivity, and Reading: Kindergarten to Grade 2. *Scientific Studies of Reading: The Official Journal of the Society for the Scientific Study of Reading*, 14(4), 293–316. doi:10.1080/10888430903150642
- Forget-Dubois, N., Pérusse, D., Turecki, G., Girard, A., Billette, J.-M., Rouleau, G., ... Tremblay, R. E. (2003). Diagnosing zygosity in infant twins: physical similarity, genotyping, and chorionicity. *Twin Research: The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, 6(6), 479–485. doi:10.1375/136905203322686464
- Frazier, T. W., Youngstrom, E. A., Glutting, J. J., & Watkins, M. W. (2007). ADHD and Achievement: Meta-Analysis of the Child, Adolescent, and With College Students. *Journal of Learning Disabilities*, 40(1), 49–65.

- Ghelani, K., Sidhu, R., Jain, U., & Tannock, R. (2004). Reading comprehension and reading related abilities in adolescents with reading disabilities and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Dyslexia, 10*(4), 364–384. doi:10.1002/dys.285
- Giannopulu, I., Escolano, S., Cusin, F., Citeau, H., & Dellatolas, G. (2008). Teachers' reporting of behavioural problems and cognitive-academic performances in children aged 5–7 years. *British Journal of Educational Psychology, 78*(1), 127–147. doi:10.1348/000709907x204372
- Goldsmith, H. H. (1991). A zygosity questionnaire for young twins: A research note. *Behavior Genetics, 21*, 257–269.
- Greven, C. U., Harlaar, N., Dale, P. S., & Plomin, R. (2011). Genetic Overlap between ADHD Symptoms and Reading. *Journal of Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 20*, 6–14.
- Greven, C. U., Rijdsdijk, F. V, Asherson, P., & Plomin, R. (2012). A longitudinal twin study on the association between ADHD symptoms and reading. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 53*(3), 234–42. doi:10.1111/j.1469-7610.2011.02445.x
- Larsson, H., Lichtenstein, P., & Larsson, J.-O. (2006). Genetic Contributions to the Development of ADHD Subtypes From Childhood to Adolescence. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 45*(8), 973–981. doi:10.1097/01.chi.0000222787.57100.d8
- Lefavrais P. (2005). *Test de l'Alouette - Révisée*. Paris: Centre de Psychologie Appliquée.
- Levy, F., Hay, D. A., McStephen, M., Wood, C., & Waldman, I. (1997). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Category or a Continuum? Genetic Analysis of a Large-Scale Twin Study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 36*, 737-744.
- McGrath, L. M., Pennington, B. F., Shanahan, M. A., Santerre-Lemmon, L. E., Barnard, H. D., Willcutt, E. G., ... Olson, R. K. (2011). A multiple deficit model of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: searching for shared cognitive

- deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(5), 547–57. doi:10.1111/j.1469-7610.2010.02346.x
- McLoughlin, G., Ronald, A., Kuntsi, J., Asherson, P., & Plomin, R. (2007). Genetic support for the dual nature of attention deficit hyperactivity disorder: substantial genetic overlap between the inattentive and hyperactive-impulsive components. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 35(6), 999–1008. doi:10.1007/s10802-007-9149-9
- Muthén, B. O., & Muthén, L. K. (2013). Mplus (7.3) [Computer software]. Los Angeles: Muthén & Muthén.
- Paloyelis, Y., Rijdsdijk, F., Wood, A., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2010). The Genetic Association Between ADHD Symptoms and Reading Difficulties: The Role of Inattentiveness and IQ. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38(8), 1083–1095. doi:10.1007/s10802-010-9429-7
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413.
- Pham, A. V. (2013). Differentiating Behavioral Ratings of Inattention, Impulsivity, and Hyperactivity in Children: Effects on Reading Achievement. *Journal of Attention Disorders*, online publication. doi:10.1177/1087054712473833
- Plomin, R., DeFries, J. C., McClearn, G. E., & McGuffin, P. (2008). *Behavioral Genetics (5th edition)*. New York: Worth Publishers.
- Plourde, V., Boivin, M., Forget-Dubois, N., Brendgen, M., Vitaro, F., Marino, C., Tremblay, R. E., & Dionne, G. (2015). Phenotypic and genetic associations between reading comprehension, decoding skills, and ADHD dimensions: evidence from two population-based studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 56(10), 1074–82. doi: 10.1111/jcpp.12394

- Polderman, T. J. C., Derks, E. M., Hudziak, J. J., Verhulst, F. C., Posthuma, D., & Boomsma, D. I. (2007). Across the continuum of attention skills: a twin study of the SWAN ADHD Rating Scale. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *48*, 1080–1087.
- Rabiner, D., & Coie, J. D. (2000). Early Attention Problems and Children's Reading Achievement: A Longitudinal Investigation. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *39*(7), 859–867. doi:10.1097/00004583-200007000-00014
- Raggi, V. L., & Chronis, A. M. Interventions to address the academic impairment of child and adolescents with ADHD. *Clinical Child and Family Psychology Review*, *9*(2), 85-111. doi: 10.1007/s10567-006-0006-0
- Rasinski, T. V., Padak, N. D., McKeon, C. A., Wilfong, L. G., Friedauer, J. A., Heim, P. (2005). Is reading fluency a key for successful high school reading? *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, *49*(1), 22-27. doi:10.1598/JAAL.49.1.3
- Rodriguez, A., Jarvelin, M.-R., Obel, C., Taanila, A., Miettunen, J., Moilanen, I., ... Olsen, J. (2007). Do inattention and hyperactivity symptoms equal scholastic impairment? evidence from three European cohorts. *BMC Public Health*, *7*(1), 327.
- Rogers, M., Hwang, H., Toplak, M., Weiss, M., & Tannock, R. (2011). Inattention, working memory, and academic achievement in adolescents referred for attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *17*(5), 444–458. doi:10.1080/09297049.2010.544648
- Samuelsson, S., Lundberg, I., & Herkner, B. (2004). ADHD and Reading Disability in Male Adults: Is There a Connection? *Journal of Learning Disabilities*, *37*(2), 155–168. doi:10.1177/00222194040370020601

- Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *The New England Journal of Medicine*, *326*, 145-150.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., ... Gore, J. C. (2003). Neural Systems for Compensation and Persistence: Young Adult Outcome of Childhood Reading Disability. *Biological Psychiatry*, *54*, 25–33. doi:10.1016/S0006-3223(03)01836-X
- Sibley, M. H., Pelham, W. E., Molina, B. S. G., Gnagy, E. M., Waschbusch, D. A., Garefino, A. C., ... Karch, K. M. (2012). Diagnosing ADHD in adolescence. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *80*(1), 139–150. doi:10.1037/a0026577
- Tremblay, R. E., Desmarais-Gervais, L., Gagnon, C., & Charlebois, P. (1987). The Preschool Behaviour Questionnaire: Stability of its Factor Structure Between Cultures, Sexes, Ages and Socioeconomic Classes. *International Journal of Behavioral Development*, *10*, 467-484. doi: 10.1177/016502548701000406
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children – Third Edition*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2005). *WIAT-II Test de rendement individuel de Wechsler : version pour francophones du Canada*. Toronto, ON: Pearson.
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., Wadsworth, S. J., Samuelsson, S., Corley, R., DeFries, J. C., ... Olson, R. K. (2007). Preschool twin study of the relation between attention-deficit/hyperactivity disorder and prereading skills. *Reading and Writing*, *20*, 103–125. doi:10.1007/s11145-006-9020-3
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2010). Etiology and neuropsychology of comorbidity between RD and ADHD: The case for multiple-deficit models. *Cortex*, *46*(10), 1345–1361. doi:10.1016/j.cortex.2010.06.009

- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of Reading Disability and Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder: Differences by Gender and Subtype. *Journal of Learning Disabilities, 33*(2), 179–191. doi:10.1177/002221940003300206
- Woolley, G. (2011). Reading Comprehension. In G. Woolley (Ed.), *Reading Comprehension: Assisting Children with Learning Difficulties* (pp. 15-34). New York: Springer.
- Verhoeven, L., & van Leeuwe, J. (2008). Prediction of the development of reading comprehension: a longitudinal study. *Applied Cognitive Psychology, 22*(3), 407–423. doi:10.1002/acp.1414

Table 1.

Descriptive statistics for the total sample, girls, boys, MZ and DZ twins, on word reading, accuracy, reading speed, inattention, hyperactivity/impulsivity, nonverbal abilities and verbal abilities.

	Total <i>M</i> (<i>SD</i>) <i>N</i>	Girls	Boys	MZ twins	DZ twins
Inattention-M	.45(.54) 761	.35(.49) 403	.55(.57) 355	.42(.56) 293	.46(.53) 443
Inattention-F	.44(.51) 472	.37(.49) 252	.52(.52) 220	.48(.53) 185	.42(.49) 273
Hyperactivity-M	.32(.28) 761	.27(.35) 403	.37(.41) 355	.29(.36) 293	.34(.40) 443
Hyperactivity-F	.33(.39) 472	.32(.40) 252	.33(.38) 220	.36(.43) 185	.31(.36) 273
Accuracy	95.32(3.67) 671	95.69(3.52) 357	94.91(3.79) 314	95.21(3.88) 260	95.40(3.54) 393
Fluency	363.09(83.66) 671	373.67(82.43) 357	351.06(83.42) 314	361.09(77.39) 260	364.03(87.66) 393
Word reading	92.37(10.64) 674	93.12(10.40) 358	91.68(10.47) 315	92.05(9.83) 260	92.70(10.92) 395
Nonverbal abilities	10.80(3.52) 752	10.64(3.45) 399	10.97(3.59) 352	11.07(3.44) 286	10.70(3.51) 445
Verbal abilities	10.22(3.10) 757	10.17(3.32) 399	10.27(2.83) 358	10.26(3.15) 285	10.20(3.06) 452

Note. M = mother; F = father.

Table 2.

*Pearson correlations (sig. 2-tailed) between reading abilities and ADHD dimensions (n = 220 to 831). *p < .05, **p < .01.*

Variables	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1. Inattention-M	-								
2. Inattention-F	.50**	-							
3. Hyperactivity-M	.59**	.31**	-						
4. Hyperactivity-F	.36**	.45**	.45**	-					
5. Accuracy	-.19**	-.25**	-.14**	-.19**	-				
6. Speed	-.17**	-.29**	-.08*	-.22**	.60**	-			
7. Word Reading	-.16**	-.21**	-.16**	-.14**	.64**	.42**	-		
8. Nonverbal abilities	-.21**	-.13**	-.15**	-.11*	.18**	.14**	.26**	-	
9. Verbal abilities	-.18**	-.18**	-.16**	-.17**	.27**	.35**	.32**	.37**	-

Note. M = mother; F = father.

Table 3.

*Standard multiple regression models predicting reading abilities from ADHD dimensions, nonverbal and verbal abilities (n = 372 to 583). *p < .05, **p < .01.*

Predictors	Dependent variables					
	Accuracy		Speed		Word reading	
	<i>B(SE)</i>	β	<i>B(SE)</i>	β	<i>B(SE)</i>	β
1. Inattention-M	-.11(.05)*	-.10	-.11(.05)*	-.11	-.03(.05)	-.03
Hyperactivity-M	-.05(.05)	-.04	.03(.05)	.03	-.08(.05)	-.08
Nonverbal abilities	.02(.01)	.08	.00(.01)	-.00	.05(.01)**	.16
Verbal abilities	.07(.02)**	.21	.11(.02)**	.33	.08(.02)**	.23
2. Inattention-F	-.20(.06)**	-.20	-.20(.06)**	-.20	-.16(.06)**	-.16
Hyperactivity-F	-.08(.07)	-.07	-.08(.06)	-.07	-.00(.06)	-.00
Nonverbal abilities	.03(.02)	.10	.01(.02)	.02	.05(.02)**	.17
Verbal abilities	.04(.02)*	.13	.09(.02)**	.28	.07(.02)**	.21

Note. M = mother; F = father.

Table 4.

MZ and DZ intra-class correlations and number of participants.

	MZ		DZ	
	ICC	<i>pairs</i>	ICC	<i>pairs</i>
Inattention-M	.40	147	.09	223
Inattention-F	.65	93	.17	138
Accuracy	.60	132	.39	201
Speed	.70	132	.33	201
Word reading	.64	132	.33	202

Note. MZ = monozygotic twins; DZ = dizygotic twins; ICC = intra-class correlation.

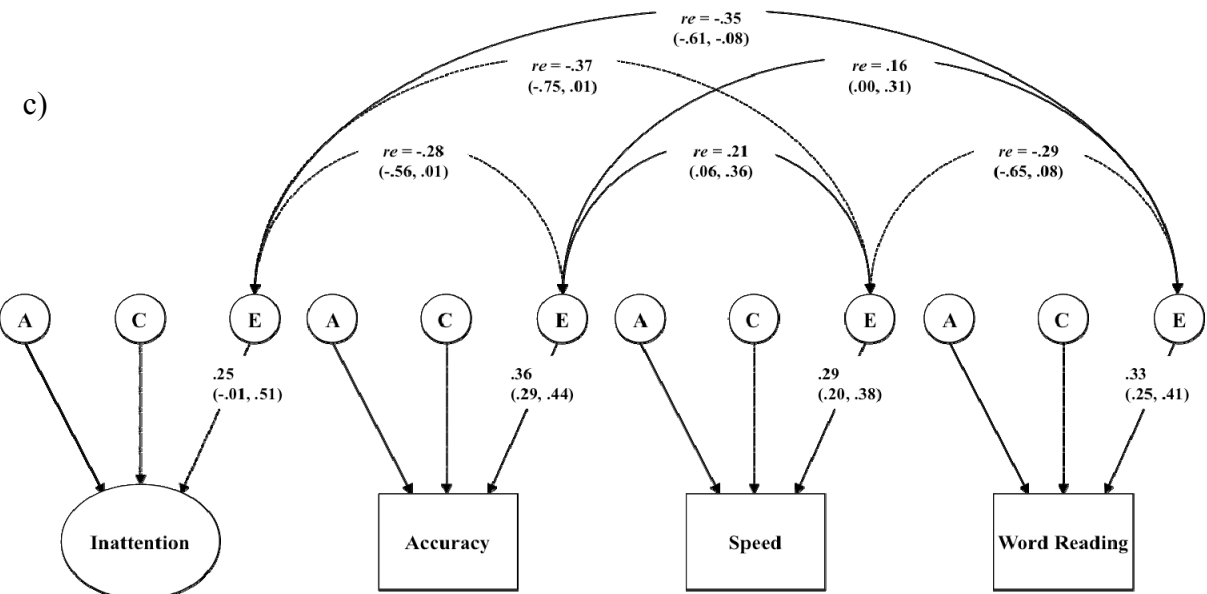
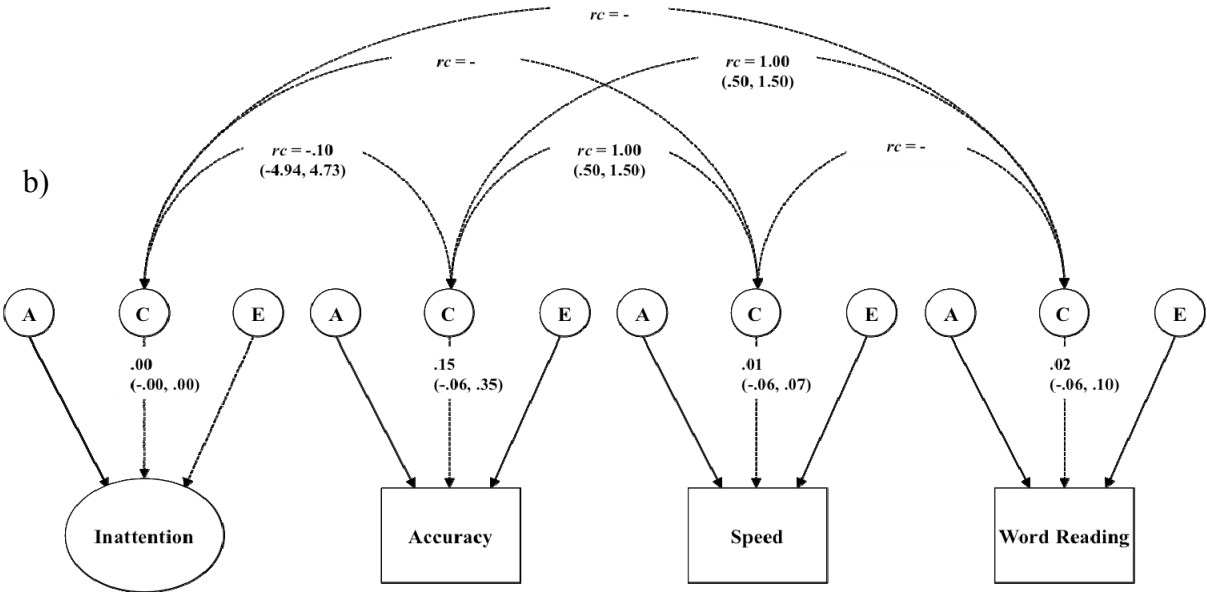
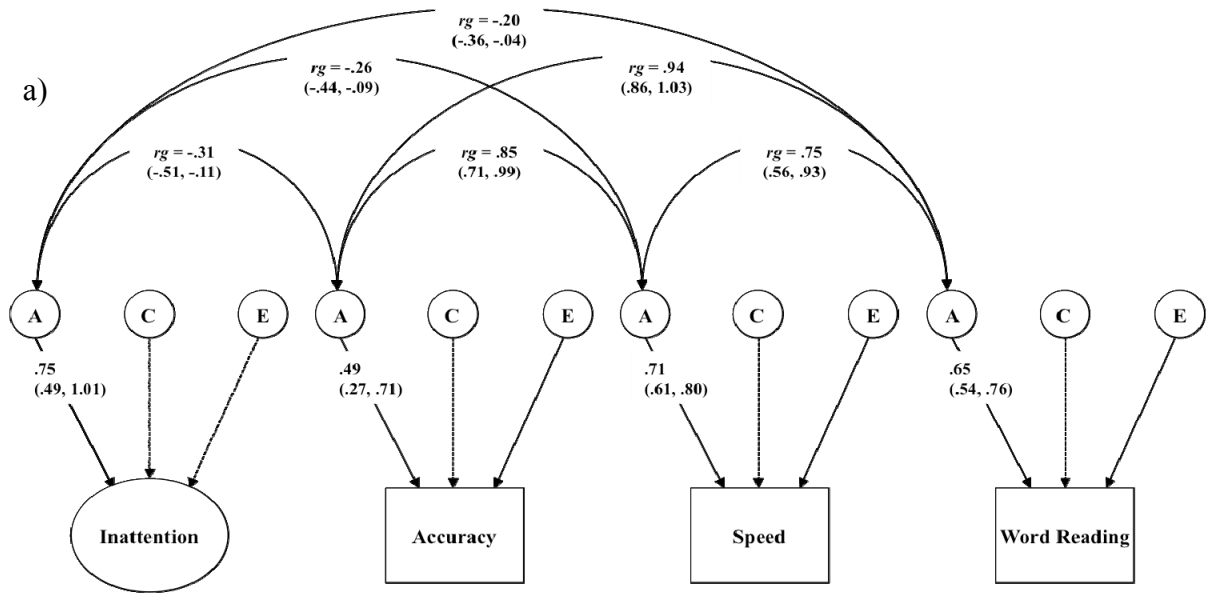


Figure 1. Correlated-Factors multivariate model for the association between inattention and accuracy, inattention and speed, inattention and word reading, accuracy and speed, accuracy and word reading, and speed and word reading. All variables are age and sex regressed. A = proportion of variance explained by additive genetic factors; C = proportion of variance explained by shared environmental factors; E = proportion of variance explained by unique environmental factors and error. Standardized estimates with 95% confidence intervals. Curved double-headed arrows refer to A (section a), C (section b) and E (section c) correlations. Dotted double-headed arrow are non-significant correlations ($p > .05$).

**Chapitre 4 : Article 3 - Cognitive and Genetic
Mechanisms Underlying the Association between
Inattention and Reading Abilities**

Résumé

L'association entre l'inattention et la lecture a été bien documentée, alors que les mécanismes impliqués dans cette association ont peu été étudiés. Le but de cette étude est de tester de potentielles habiletés cognitives sous-jacentes à l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture au début du primaire. Les objectifs sont de déterminer 1) si ces habiletés diffèrent pour le décodage et la compréhension en lecture et 2) si ces habiletés partagent des facteurs génétiques avec l'inattention et la lecture. Les participants ($N = 523-962$) sont des jumeaux de l'EJNQ. Les enseignants de maternelle et de première année ont évalué les symptômes d'inattention et les enfants ont été évalués à 8 ans (deuxième année) sur des mesures de décodage, compréhension en lecture, conscience phonologique, vitesse de dénomination rapide (RAN couleurs et chiffres), traitement temporel auditif et bimodal et de vocabulaire. Les habiletés non verbales et le sexe ont été contrôlés. Les résultats ont montré que la conscience phonologique, RAN chiffres et le vocabulaire sont des habiletés cognitives sous-jacentes aux associations entre l'inattention et les habiletés en lecture. Le traitement temporel bimodal est une habileté sous-jacente à l'association entre l'inattention et le décodage alors que RAN couleurs est une habileté sous-jacente à l'association entre l'inattention et la compréhension. De plus, des facteurs génétiques associés à la conscience phonologique, RAN chiffres et le traitement temporel bimodal sont partagés avec l'inattention et le décodage. Les facteurs génétiques associés aux habiletés cognitives étaient plutôt indépendants de ceux associés à l'inattention et la compréhension. Cette étude souligne des facteurs cognitifs et génétiques sous-jacents aux associations inattention-lecture au primaire, montrant des similarités, mais aussi des différences entre le décodage et la compréhension.

Abstract

The association between inattention symptoms and reading abilities has been well documented, but the mechanisms involved have been less studied. The goal of the study was to test cognitive skills underlying the association between inattention and reading abilities in the early school years. The specific aims were to determine 1) if these skills differ for decoding skills and reading comprehension, and 2) whether these skills share genetic factors with inattention and reading abilities. Participants ($N = 523$ to 962) were twins from the Quebec Newborn Twin Study (QNTS). Kindergarten and first-grade teachers rated inattention symptoms, and children were assessed at age 8 with measures of decoding skills, reading comprehension, phonological awareness, rapid automatized naming (RAN colors and numbers), rapid auditory and bimodal processing, and vocabulary. Sex and nonverbal abilities were controlled. Results showed that phonological awareness, RAN of numbers, and vocabulary were unique cognitive skills underlying the association between inattention and both decoding and comprehension. Additionally, rapid bimodal processing was a unique cognitive skill underlying the association between inattention and decoding, while RAN of colors was a unique cognitive skill underlying the association between inattention and reading comprehension. Moreover, genetic factors associated with phonological awareness, RAN of numbers, and bimodal temporal processing were shared with both inattention and decoding. Genetic factors associated with cognitive skills were independent of those underlying inattention and reading comprehension. This study highlights cognitive and genetic mechanisms underlying the inattention-reading associations in early primary school, showing similarities but also differences across decoding and reading comprehension.

The association between ADHD dimensions and reading disabilities is well established. Approximately 15-40% of children with ADHD or dyslexia fit criteria for the other disorder (Willcutt & Pennington, 2000). Given that ADHD and reading disabilities represent the end-tail of a continuum, most studies investigating this association have used a dimensional approach covering the whole range of abilities/disabilities (Levy, Hay, McStephen, Wood, & Waldman, 1997; Shaywitz, Escobar, Shaywitz, Fletcher, & Makuch, 1992). Population-based studies have shown that the associations between ADHD dimensions and reading abilities, such as decoding skills, fluency, and reading comprehension, are modest but consistent ($r_s = -.10$ to $-.55$) (Greven, Harlaar, Dale, & Plomin, 2011; Paloyelis, Rijdsdijk, Wood, Asherson, & Kuntsi, 2010; Plourde et al., 2015). Moreover, they have shown that inattention is more strongly associated with reading abilities than hyperactivity/impulsivity.

Thus, recent research has focused on explaining the mechanisms underlying the association between inattention and reading abilities. One model put forth to explain the co-occurrence of developmental disorders is the *Multiple Deficit Model* proposed by Pennington (2006). Applied to the association between inattention and reading, this model postulates that associated phenotypes possess specific, as well as common multidimensional etiological factors. Their association therefore stems from common factors that may operate at multiple levels, i.e., genetic, neurological and cognitive, and may interact together. This model expands from the earlier Generalist Genes Hypothesis (Plomin & Kovas, 2005) that emphasized the role of genetic level common factors between associated phenotypes.

An alternative model, more specific to the association between inattention and reading abilities, postulates a more causal role of inattention in reading through its' effect on the development of other cognitive skills. This mediation model implies that inattention could interfere with the acquisition of specific cognitive skills, which in turn could affect reading abilities (Dally, 2006; Martinussen, Grimbos, & Ferrari, 2014; Sims & Lonigan, 2013). Although more mechanistic in nature, this hypothesis can actually be viewed as an extension of Pennington's model (2006) describing a specific mechanism linking etiological factors. Indeed, the models are not mutually exclusive: cognitive skills could

underlie the inattention-reading association because of the direct effect of inattention on their development, or because they all share some common causes. Exploring the mechanisms underlying the inattention-reading association from both perspectives therefore seems justified.

Cognitive skills as potential mediators

Cognitive skills associated with emergent literacy could underlie the association between inattention and reading. Among them, phonological awareness, the ability to perceive and manipulate phonemes, has been shown to be one of the strongest predictors of reading ability (Johnston & Kirby, 2006; National Early Literacy Panel, 2008), and it has also been associated with inattention during preschool and the early school years (Dally, 2006; Dittman, 2013; Sims & Lonigan, 2013; Walcott, Scheemaker, & Bielski, 2010; Willcutt et al., 2007). Furthermore, rapid automatized naming (RAN), i.e., the ability to rapidly name letters, numbers, colors or objects, rapid processing, i.e., the low-level perception and rapid treatment of sensory signals, and vocabulary skills, i.e., the ability to understand and use new words, are documented predictors of reading abilities (Joshi & Aaron, 2000; Kirby, Desrochers, Roth, & Lai, 2008; Malenfant et al., 2012; Marshall, Snowling, & Bailey, 2001; Verhoeven & van Leeuwe, 2008) that have also been associated with inattention (Arnett et al., 2012; Dionne & Ouellet, 2011; Hurks & Hendriksen, 2010; Willcutt et al., 2007). These associations are consistent with the view that these cognitive skills mediate the association between inattention and reading abilities.

A few research groups have formally tested some of these cognitive skills as mediators of the association between inattention and word/pseudo-word reading. Stephenson, Parrila, Georgiou, and Kirby's (2008) findings have revealed that children's task-focused behaviour rated by teachers in kindergarten predict word reading in first grade, and that this association is partially explained by letter knowledge and phonological awareness. Also, Dice and Schwanenflugel (2012) have shown that a latent factor composed of letter knowledge, phonological awareness, and vocabulary skills explained the association between preschool teacher-rated inattention, and decoding skills in kindergarten. More recently, Martinussen et al. (2014) have demonstrated in first graders that phonological awareness and RAN of numbers explained the association between

teacher-rated inattention and pseudo-word reading, and partially explained the association between inattention and word reading.

Notwithstanding the interest of these results, only a few cognitive skills have been investigated, and reading comprehension was not considered in previous studies. Given that reading comprehension is cognitively more demanding than decoding skills, and draws on lexical, semantic as well as syntactical knowledge (Keenan, Betjemann, Wadsworth, DeFries, & Olson, 2006), cognitive skills underlying its association with inattention could differ from those involved in decoding. Indeed, phonological awareness is more strongly associated with decoding skills than reading comprehension (Johnston & Kirby, 2006), whereas vocabulary skills are more strongly associated with reading comprehension than decoding skills (Ricketts, Nation, & Bishop, 2007). Therefore, they could differentially underlie the association between inattention and specific reading abilities.

Do these cognitive skills share genetic factors with inattention and reading?

From an etiological perspective, the question of interest is whether the cognitive skills involved in these associations present a common genetic etiology with inattention and reading. Strong genetic contributions to inattention in preschool and early primary school have consistently been observed in twin studies (55-79%), with negligible shared-environmental and modest unique environmental contributions (21-45%) (McLoughlin, Ronald, Kuntsi, Asherson, & Plomin, 2007; Paloyelis et al., 2010; Willcutt et al., 2007). Results are similar for reading abilities in the early school years: twin studies have consistently shown strong genetic (67-84%), negligible shared-environmental, and modest unique environmental (16-26%) contributions (Byrne et al., 2009). Moreover, in the early school years, the associations between inattention, decoding, and reading comprehension have been shown to be primarily attributable to common genetic factors (Greven et al., 2011; Paloyelis et al., 2010; Plourde et al., 2015).

Before testing the possibility that the cognitive skills mediating the association between inattention and reading share a common genetic core with them, we first need to determine if these cognitive skills have a genetic basis. This seems to be the case; Willcutt et al. (2007) have shown that individual differences in phonological awareness, RAN, and

vocabulary were respectively explained by genetic (49%; 56%; 18%), shared-environmental (27%; 10%; 54%), and unique environmental (25%; 34%; 28%) factors. They also demonstrated that the associations between these cognitive skills and inattention were all primarily genetic in nature. Moreover, the covariance between RAN and reading abilities is also mostly explained by genetic factors (Petrill, Deater-Deckard, Thompson, DeThorne, & Schatschneider, 2006), whereas the covariance between phonological awareness and reading (Petrill et al., 2006), and between vocabulary and reading (Byrne et al., 2009) are explained by both common genetic and shared-environmental factors. Thus, the cognitive mechanisms underlying the inattention-reading associations may partly stem from common genetic factors.

Willcutt et al. (2010) studied the role of cognitive skills in the genetic and environmental etiology of the association between inattention and word reading. Using structural equation modeling, they showed that RAN and processing speed composite scores were associated with both inattention and word reading in 8 to 18-year-old twins. Additionally, the association between inattention and word reading was partly attributable to common genetic factors shared with RAN and processing speed. Albeit innovative and informative, this study did not investigate reading comprehension and explored a limited number of cognitive skills. Furthermore, given the age heterogeneity of the sample, results could have masked age-specific mechanisms. Indeed, the skills involved in learning to read in the early school years could differ from those involved in fluent reading at adolescence.

Objectives

The first objective of the present study was to examine the cognitive mechanisms underlying the association between inattention and reading abilities by testing two multiple mediation models, one for decoding skills and one for reading comprehension. The cognitive skills were selected to cover phonological, RAN, rapid auditory/visual processing, and lexical/semantic skills. The second objective was to identify the common and specific genetic and environmental contributions to inattention, both decoding and reading comprehension, and cognitive skills identified as unique mediators of their association in the previous models.

Method

Participants

Participants were from the Quebec Newborn Twin Study (QNTS: Boivin et al., 2013). More than 660 families were initially enrolled. Inclusion criteria at onset were the fluent use of French or English by the mother and no major medical complications at birth. Children were followed annually from birth on a range of individual, social, family, and school characteristics. Parents' consent was obtained before each data collection. Mean attrition between 5 months and 7 years was approximately 5% per year. Zygosity was initially assessed via questionnaire (Goldsmith, 1991) and confirmed with DNA tests on a subsample ($n = 123$) of same-sex pairs showing a 96% correspondence (Forget-Dubois et al., 2003).

Data for this study were collected when children were between the ages of 5 and 8 years. As the analyses use a Full Information Maximum Likelihood (FIML) approach, the number of children varies across measures. Children were on average 8.37 years old ($SD = .11$) when a random sub-sample of French-speaking twins completed the reading measures and the cognitive measures in the Spring of second grade or the Fall of third grade. They were 5.30 years old ($SD = .26$) when nonverbal abilities were assessed before school entry, 6 years old ($SD = .27$) when teachers rated inattention in kindergarten, and 7.09 years old ($SD = .27$) when vocabulary was assessed and teachers rated inattention in first grade.

Measures and procedure

Reading. Two computerized subtests of the Reading Abilities Test (Pépin & Loranger, 1999) were administered to French-speaking children only. All scores were standardized based on the child's age.

Decoding. In the "Phonetic decoding subtest" of the THAL, a French phoneme was verbally identified in a stimulus-word shown on screen and verbal instructions were given to the child to identify if this phoneme appeared in a comparison-word (yes or no answer). The subtest includes 50 items, each is rated as pass (1) or fail (0). The task was interrupted after the tenth item if the child failed five items or more. A time component bonus of 0 to 2

points per item was awarded when the response time was faster than the *Z* time scores of the normative sample. The test was standardized on a sample of 1418 French-speaking children and has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .93). The norm raw mean for second graders is 37 ($SD = 16$) and 48 ($SD = 12$) for third graders.

Comprehension. In the “Reading comprehension subtest” of the THAL, the child had to silently read short texts with missing words and to choose the correct missing word from a two- or four-item forced-choice. The subtest includes two practice items followed by 40 items rated as pass (1) or fail (0) and was interrupted after three failed items or a response time larger than 30 seconds for two consecutive items. A time component bonus of 0 to 2 points per item was awarded when the response time was faster than the *Z* time scores of the norm sample. The test was standardized on a sample of 1418 French-speaking children and has good psychometric properties (internal consistency coefficient is .98). The norm raw mean for second graders is 31 ($SD = 14$) and 43 ($SD = 12$) for third graders.

Inattention dimension. Inattention was rated with a subscale of a questionnaire validated for its use with school-age children (Social Behavior Questionnaire – SBQ: Plourde et al., 2015; Tremblay, Desmarais-Gervais, Gagnon, & Charlebois, 1987). Teachers rated the level of inattention within the past six months, in kindergarten and first grade, on a three-point Likert scale: (0) never or not true, (1) sometimes or a little true, (2) often or very true, with three items. Cronbach alphas were .89 in kindergarten and .90 in first grade. Scores in kindergarten and first grade were averaged into one total score allowing for one missing score.

Cognitive skills.

Phonological Awareness. A phoneme deletion task – French adaptation (Cormier, MacDonald, Grandmaison, & Ouellette-Lebel, 1995) of the “Auditory Analysis Test” (Rosner & Simon, 1971) – was administered. The child heard a word and was asked to repeat it aloud (e.g., “Repeat after me: fake”). Then, the assistant asked the child to remove a sound segment from the word and to say the remaining phoneme sequence (e.g., “Now say that word again but without the /c/”). Twenty-four items of the original scale were selected after a pilot study and ordered according to their difficulty levels (size of the

sound segment to be removed, if the sound was a phoneme or a syllable, and the position of the segment in the word). A score of 0 or 1 (correct and fluid deletion) was given for each item. Total score was the sum of correct items. The distribution showed a mild negative skewness and was transformed using the square root.

Rapid automatized naming (RAN). The subtests numbers and colors of the Rapid Automatized Naming task – RAN (Denckla & Rudel, 1974) were administered. This test consists in the rapid denomination of numbers and colors appearing on a 8”x11” board. First, the child was asked to name, without the assistant’s help, the first five items on the top of the board. This first step was to insure that the child knew the names of the colors and numbers. Second, the child was asked to rapidly name from left to right all the items on the boards (50 items for RAN colors and 50 items for RAN numbers). This part of the test was timed and the number of errors calculated. Time in seconds was retained for analyses. The scores for RAN numbers were winsorized at the 99-percentile. The distributions of both scores showed a positive skewness and were normalized using logarithmic transformations.

Rapid bimodal processing. The rapid bimodal processing task was inspired from the original auditory repetition task by Tallal and Piercy (1973). The child had to tell which signal, auditory or visual, came first. The child’s answers were recorded on a computer. The visual signal was a light flash produced by a small circular light-emitting diode placed about 1 m from the child. The 1kHz auditory signal had duration of 5 ms, and was delivered by the computer in front of the child. Inter-stimuli intervals (ISIs) were determined on the basis of a pilot study with similar tasks (Grondin et al., 2007). ISIs of 60, 180, 300, and 420 ms, and the trial type (visual-auditory or auditory-visual) were equally and randomly distributed in 32 trials. A brief pause was introduced after the first 16-trial block. The total score was the sum of correct trials. The distribution showed a mild negative skewness and was transformed using the square root.

Rapid auditory processing. The rapid auditory processing task was inspired from the “Seashore Measures of Musical Talents ” (Seashore, Lewis, & Saetveit, 1960). In this version, the child had to say which 1-kHz sound is longer: the first or the second sound heard. The two sounds were separated by an interval of 500 ms. The child’s answers were

recorded on the computer. This task implied two rapid auditory processing components; 1) stimuli duration comparison, and 2) determination of their order. For each trial, a sound of 800 ms, called the standard (S), was combined with another shorter sound of 700, 675, or 650 ms, called the comparator (C). Duration differences between S and C were of 100, 125 or 150 ms. The S-C order and duration differences were randomly distributed in two 15-trial blocks (total of 30 trials), separated by a brief pause. The total score is the percentage of correct trials.

Vocabulary skills. Expressive vocabulary was assessed with the subtest “Vocabulary” of the *Wechsler Intelligence Scale for Children* (WISC-III: Wechsler, 1991). English and French versions were used according to the child’s first language. The child was asked to define words and answers were coded according to the user manual: (0) point for an incorrect definition, (1) point for a partly correct definition, and (2) points for a correct and complete definition. The subtest ended after four consecutive incorrect definitions (0 point). The total raw score was the sum of points. This subtest is known for its validity and internal consistency (Wechsler, 1991). Raw scores were used because the available French norms do not apply readily to this sample. Raw scores were age regressed and Z-standardized.

Nonverbal abilities. Nonverbal abilities were assessed with the Block Design subtest of the Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence – Revised (WPPSI-R: Wechsler, 1989). The child was asked to replicate 14 illustrated models with bicolor blocks. Points were given for accuracy and speed. The task ends after three consecutive failed items (0 point). Raw scores were converted to standard scores with a mean of 10 and a standard deviation of 3. This subtest is known for its good internal consistency, its’ test-retest reliability, and its’ strong correlation to the Performance IQ scale (Wechsler, 1989).

Statistical analyses

All analyses were performed with Mplus 7.3 (Muthén & Muthén, 2014). The FIML was the default estimator to allow the use of all available data, including participants with missing data to avoid biases due to missing data. Measures were standardized ($M = 0$; $SD = 1$) before running mediation and genetic models.

To address the first objective, single-step multiple mediation models (Preacher & Hayes, 2008) were performed (Figure 1). Models were computed by using clustered data by family and type=complex in Mplus. A specific indirect effect of X on Y via a mediator “is the product of two unstandardized paths linking X to Y via that mediator” (a_1b_1 in Figure 1) (Preacher & Hayes, 2008, p. 28). In a single-step multiple mediation model, the specific indirect effect “is interpreted as the indirect effect of X on Y through a given mediator controlling for all other included mediators” (Preacher & Hayes, 2008, p. 31). The total effect of X on Y (unstandardized path coefficient c in Figure 1) is equal to the direct effect of X on Y (c') plus the total indirect effect of X , which is the sum of specific indirect effects through each of the six mediators. Bootstrapping was used to assess the significance of the total and specific indirect effects.

This method is prioritized because research has shown that it is more valid and powerful than other approaches (Preacher & Hayes, 2008). Bootstrap (=500) was used to perform data resampling and estimate the model in each resample, thus estimating indirect effects multiple times. Confidence Intervals (95%) were obtained following bias-corrected bootstrap to test the significance of direct and indirect effects: paths were deemed not significant if 0 was included in the 95% confidence intervals.

Genetic models were tested using the MLR estimator, robust to the non-independence of observations. The basis of the twin method is to compare similarities between MZ twins, who share 100% of their genes, and DZ twins, who share 50% of their genes. Variance and covariance are decomposed into their additive genetic (A), shared environment (C), and non-shared environment (E) factors. Shared-environment increases similarities between twins of the same family whereas non-shared environment decreases them. To address the second objective, Common-factor independent-pathway models were computed (see Figure 2). This model “assumes that each measure has specific (subscript “S”) genetic and environmental effects, as well as general (subscript “C”) genetic and environmental effects that create the correlations between all the measures” (Purcell, 2008, p.398). General factors (A_c, C_c, E_c) are shown at the top and specific factors (A_s, C_s, E_s) at the bottom of Figure 2. The objective was to estimate the genetic and environmental contributions shared between significant mediators, inattention, and reading in separate

models. Thus, each model contained a common factor (A, C, E) for inattention, the mediator, and reading, and residual specific genetic, shared-environmental, and unique environmental factors for each measure. Sex and nonverbal abilities were included as covariates in mediation and genetic models.

Results

Descriptive Statistics

Means and standard deviations are displayed in Table 1. The means and standard deviations for reading and nonverbal abilities were comparable to population norms. There were significant mean differences between girls and boys in inattention, vocabulary, and nonverbal abilities ($p < .05$). Boys were rated as having more inattention symptoms and higher scores on vocabulary and nonverbal abilities than girls. There were no significant differences between monozygotic and dizygotic twins on all measures.

Correlations between inattention, reading abilities, and cognitive skills

Table 1 also displays the correlations between the measures of interest. Reading abilities were moderately inter-correlated ($r = .58$). Inattention was modestly correlated with both reading abilities, with higher levels of inattention associated with lower reading scores. Cognitive skills were all significantly associated with inattention, decoding, and reading comprehension.

What are the cognitive skills underlying the association between inattention and reading?

Results of the mediation models are reported in Table 2. The single-step multiple mediation model of the association between inattention and decoding showed significant unique indirect effects through phonological awareness, RAN of numbers, rapid bimodal processing, and vocabulary, respectively accounting for 25%, 3.57%, 17.86%, and 10.71% of the total effect of inattention on decoding. Indirect effects for RAN of colors and rapid auditory processing were not significant. A residual association between inattention and decoding remained significant. Thus, together, phonological awareness, RAN of numbers,

rapid bimodal processing, and vocabulary skills were partial mediators of the association between inattention and lower decoding.

The single-step multiple mediation model of the association between inattention and reading comprehension showed significant unique indirect effects through phonological awareness, RAN of colors, RAN of numbers, and vocabulary, respectively accounting for 25%, 12.5%, 12.5%, and 12.5% of the total effect of inattention on reading comprehension. Indirect effects for rapid bimodal processing and rapid auditory processing were not significant. There was no residual association of inattention on reading comprehension: cognitive skills completely explained their association.

In a second series of mediation models, sex and nonverbal abilities were excluded as co-variables. Results were similar with the exception of a significant residual association of inattention with reading comprehension indicating that these variables accounted for part of the association as well.

What are the genetic and environmental contributions underlying the association between inattention, cognitive skills, and reading?

Full ACE univariate models were tested for inattention (A: 53%; C: 9%; E: 38%), decoding skills (A: 42%; C: 11%; E: 47%), reading comprehension (A: 72%; C: 0%; E: 28%), and cognitive skills identified as unique mediators in the previous models: Phonological awareness (A: 52%; C: 2%; E: 46%), RAN numbers (A: 43%; C: 0%; E: 57%), RAN colors (A: 62%; C: 0%; E: 38%), rapid bimodal processing (A: 53%; C: 0%; E: 47%), and vocabulary (A: 38%; C: 29%; E: 33%). Genetic and non-shared environmental factors explained most of the variances, with a significant shared-environmental component for vocabulary only.

Common-factor independent-pathway models were tested with inattention, reading abilities, and each significant mediator separately (8 models). Table 3 shows the common and residual specific genetic, shared-environmental, and non-shared environmental factors between inattention, reading abilities, and selected cognitive skills. All models fit the data well (CFIs = 1.00; TLIs = 1.03 - 1.12; RMSEAs < .001).

For decoding (models 1-4 in Table 3), results showed that phonological awareness, RAN of numbers, and rapid bimodal processing share common genetic factors with inattention and decoding. The proportion of the covariance explained by genetic factors in these models (except for the model with vocabulary) varied between 51% and 65% indicating that largely half of the genetic covariance between inattention and decoding is shared with these cognitive skills. There were no specific genetic factors (As) for decoding and inattention, indicating that the common genetic factor (Ac) accounted for all of the genetic variance of both inattention and decoding. Specific genetic factors were however significant for all 4 cognitive skills, indicating that phonological awareness, RAN of colors, rapid bimodal processing, and vocabulary had residual genetic variance not shared with inattention and decoding. Vocabulary did not share significant common genetic, shared-environmental, nor non-shared environmental factors with inattention and decoding.

For reading comprehension (models 5-8 in Table 3), none of the cognitive skills shared significant common genetic factors with both inattention and comprehension. There were however, specific genetic factors for inattention and reading comprehension not shared with any of the cognitive skills. In addition, there were significant common genetic factors between phonological awareness and reading comprehension, as well as between RAN of numbers and reading comprehension. Shared-environmental factors were common to vocabulary and reading comprehension, but they were not shared with inattention. RAN of colors did not share significant common genetic, shared-environmental, nor unique environmental factors with inattention and reading comprehension.

Discussion

The purpose of the study was to investigate cognitive mechanisms underlying the association between inattention and reading, including both decoding skills and reading comprehension, in the early school years. We also investigated the genetic and environmental etiology common to inattention, putative cognitive mediators, and reading. This latter analysis assessed the extent to which the common genetic underpinnings of inattention and reading abilities documented in previous studies would be shared with underlying cognitive skills.

Briefly, results suggest similarities and differences between the cognitive skills involved in the association between inattention and specific reading abilities. Phonological awareness, RAN of numbers, and vocabulary were unique cognitive skills underlying the association between inattention and both decoding and comprehension. Rapid bimodal processing uniquely underlied the association between inattention and decoding, while RAN of colors accounted for the association between inattention and reading comprehension. These cognitive skills completely accounted for the association between inattention and comprehension, whereas there was a residual association between inattention and decoding. This suggests that other cognitive skills account for the residual association, or alternatively, that inattention may affect decoding skills directly.

At the genetic level for decoding, phonological awareness, RAN (numbers only), and rapid bimodal processing, all shared common genetic factors involved in its' association with inattention. In addition, they all had specific genetic variance not shared with inattention and decoding. More importantly, the common genetic factors in these models accounted for all of the genetic variance of both inattention and reading. This result is consistent with the very small residual association between inattention and decoding observed in the phenotypic models, once all cognitive skills were taken into account. Finally, although vocabulary was a significant mediator of the association between inattention and decoding, the shared genetic factors among them were negligible. Overall, these results suggest that, in the early primary school years when children are learning to read, phonological awareness, RAN, and rapid bimodal processing together account for the well-documented phenotypic and genetic associations between decoding and inattention (Greven et al., 2011; Plourde et al., 2015).

The picture for reading comprehension is quite different. None of the investigated cognitive skills accounted for the genetic association between inattention and reading comprehension. Phonological awareness and RAN had common genetic factors with reading comprehension, while vocabulary and reading comprehension had common shared-environmental factors. However, none of these were shared with inattention at this age. These results underline the need to study the components of reading separately in order to

understand the processes through which inattention and early reading development are associated.

Cognitive skills underlying the association between inattention and reading: phonological awareness, vocabulary, RAN, and rapid processing

Previous studies have shown that inattention is a predictor of phonological awareness (Dally, 2006) and, as already suggested, “phonemically structured phonological representations” construct the foundation to the development of reading abilities (Melby-Lervag, Lyster, & Hulme, 2012). Moreover, phonological awareness explains part of the association between inattention and decoding skills (Dice & Schwanenflugel, 2012; Martinussen et al., 2014). The present study replicates these previous results and extends them to reading comprehension. Thus, phonological awareness underlies the association of inattention with both decoding and reading comprehension.

Vocabulary skills were not included in previous studies, but the present findings showing they underlie the associations between inattention and both reading abilities are not surprising. Indeed, vocabulary growth has been shown to be affected by inattention levels from ages 30 months to 7 years (Dionne & Ouellet, 2011) and to predict both decoding and comprehension skills in reading (National Early Literacy Panel, 2008; Verhoeven & van Leeuwe, 2008). It has been proposed that semantic knowledge contribute to reading, in addition to phonological and orthographic representations (Bishop & Snowling, 2004). Thus, semantic word knowledge could help children read more efficiently and facilitate their understanding of what they read.

In addition, as direct instructions seem to help in acquiring and improving phonological awareness and vocabulary skills (Foorman et al., 2003), inattention symptoms could interfere with these processes. For instance, listening to and retaining instructions in class, but also in a home setting, could hinder the development of phonological awareness and vocabulary skills, which in turn may lead to difficulties in decoding and reading comprehension. Others have already suggested similar hypotheses (Dally, 2006; Martinussen et al., 2014; Sims & Lonigan, 2013).

RAN of numbers also underlied the associations between inattention and both reading abilities. Consistent with previous studies (Martinussen et al., 2014; Willcutt et al., 2010), this finding suggests that inattention could interfere with the execution of RAN of numbers in a quick and constant way (Arnett et al., 2012). Moreover, RAN reflects the ability to make quick connexions between serial visual and linguistic information (Norton & Wolf, 2012), and this sequential processing is inherent to the processing of printed text.

Interestingly, the RAN of colors mediated the association between inattention and reading comprehension only. Alphanumeric RAN (letters or numbers) has been shown to be more strongly associated to decoding than non-alphanumeric RAN (objects or colors), whereas both types of RAN were similarly associated with reading comprehension (National Early Literacy Panel, 2008). Our results replicate these findings, lending support for the hypotheses that RAN of colors requires more cognitive effort on a perceptual and semantic level than RAN of numbers (Tannock, Martinussen, & Frijters, 2000), and that higher-level cognitive skills are more involved in reading comprehension than decoding (Keenan et al., 2006).

Finally, rapid bimodal processing emerged as only involved in the association between inattention and decoding. Rapid processing of visual/auditory sequential stimuli taps on lower-level perceptual skills and these skills may be more involved in decoding than comprehension. Indeed, Walker, Hall, Klein, and Phillips (2006) have shown that multisensory rapid processing tasks, such as temporal order and onset judgment tasks, predict phonological reading tasks.

The fact that the rapid auditory processing task did not uniquely underlie the association between inattention and both reading abilities may be due to the nature of this task. It involves comparing sequential acoustic signal durations, while the rapid bimodal processing task involves identifying the order of auditory and visual signals. Toplak, Dockstader, and Tannock (2006) summarized in their review that executive functions, motivation, arousal, as well as energetic resources could be involved in the association between ADHD and rapid processing: a possible explanation of our results is that the bimodal task solicited these processes more than the auditory task.

The genetic overlap between cognitive skills, inattention and reading

Although the phenotypic correlation between inattention and reading comprehension was similar to the one between inattention and decoding skills ($r = -.33$ and $-.28$ respectively), the present findings revealed marked differences in the genetic overlap of both reading abilities with inattention and selected cognitive skills.

First, except for vocabulary, the unique cognitive skills involved in the association between inattention and decoding (i.e. phonological awareness, RAN of numbers, and rapid bimodal processing) shared genetic factors with inattention and decoding. By contrast, none of the cognitive skills shared genetic factors with both inattention and reading comprehension. It may be that the genetic overlap between inattention and reading comprehension is smaller than between inattention and decoding ($r_g = -.45$ and $-.77$ respectively; Plourde et al., 2015), and that the genetic analyses offered less power to detect smaller common genetic factors therefore increasing the risk of type II error and non-significant results. This makes sense given that mediation models were significant for comprehension.

Second, even though the cognitive skills shared genetic factors with inattention and decoding skills, each cognitive skill also showed specific genetic variance. This highlights the possibility that genes not linked to inattention or reading may be at play for these tasks and may even overlap across cognitive skills. This hypothesis was not tested in the present study but others have shown, for instance, genetic overlap between phonological awareness and RAN in kindergarten (Byrne et al., 2006).

Finally, the modest genetic etiology of vocabulary was not shared with either inattention or reading abilities. However, genetic modeling showed common shared-environmental factors between vocabulary and reading comprehension, converging with Olson et al. (2011)'s findings. These shared-environmental factors could stem from familial literacy practices exposing children to print. Literacy practices could make children from the same family more similar on vocabulary and reading comprehension, regardless of their genetic similarity. Indeed, they have been shown to predict both vocabulary development as well as early reading, especially reading comprehension (Senechal & Young, 2008). In

addition, parental scaffolding in sorting out the meaning of printed text may encourage children to develop their lexical knowledge and use it for reading comprehension. The shared-environment factors common to both vocabulary and reading comprehension further stress the need to consider reading abilities separately when looking at their developmental processes.

In sum, different cognitive skills may be involved in the mechanisms underlying the association between inattention and reading abilities, at least partly because they share a common genetic etiology. These results are consistent with the multiple cognitive deficit model proposed by Pennington (2006), and partly with the Generalist Genes Hypothesis (Plomin & Kovas, 2005) which proposes that the same etiological/genetic factors explain why phenotypes are associated. Indeed, common genes were shared across inattention, cognitive skills, and decoding skills.

Possible candidate genes include the ADRA2A gene (Stevenson et al., 2005), and loci at chromosomes 14q32, 13q32, 20q11 (Gayán et al., 2005) that have been shown to have pleiotropic effects (i.e. one gene affecting various phenotypes), possibly having a cascading effect from brain development to cognitive functioning. Future studies are warranted to further investigate the physiological mechanisms associated with these genes and how they may explain the inattention-reading association.

However, results are also consistent with a mediation mechanism. Inattention could interfere with the acquisition of the cognitive skills posited as mediators and in turn, these could affect reading (Dally, 2006; Martinussen et al., 2014; Sims & Lonigan, 2013). Studies are needed to disentangle these theoretical proposals and clarify their respective contributions to our understanding of how inattention and reading become associated.

Limitations and future studies

Aside from power limitations in the genetic analyses involving reading comprehension, another limitation of the study is the availability of cognitive skills. The list examined is not exhaustive. For instance, it does not include inhibition and working memory explored in previous studies (Willcutt et al., 2010). It does include non-linguistic

processing speed tasks, but they were different from those used in previous studies, therefore limiting comparisons and conclusions.

In addition, as single measures of each construct were used, some results may be task-specific rather than construct-specific. Studies using factor composites for genetic analyses have shown that aggregating multiple measures controls for measurement error and frees up variance associated with unique environment (see Keenan et al., 2006 or Olson et al., 2011 for examples), lending more power to detect common genetic and shared-environmental factors among constructs.

Finally, the results pertain to early reading development only. Processes may differ in older more competent readers and the inattention-reading association may change as children consolidate basic reading abilities. Future studies should test similar models during different developmental periods, and use a longitudinal approach to see if the cognitive skills involved change over time. An additional research avenue is to explore the developmental cascade from genetic markers to neurological activation via brain imaging and cognitive behavioural measures in order to understand the processes linking etiological, neuronal, cognitive, and symptomatic levels in a multiple cognitive deficit model.

Clinical implications

On a clinical level, the present findings may have implications regarding assessment and intervention strategies. For instance, neuropsychological assessments may be necessary to pinpoint the specific cognitive skills affected in children with co-occurring ADHD and dyslexia. A neuropsychological assessment should integrate family and school information, behavioural measures of symptoms, as well as multiple cognitive measures to describe a child's specific profile and get a sense of the etiology underlying the co-occurrence. Identifying specific cognitive skills affected should be helpful to make accurate diagnoses and plan individualized treatment options. Currently, multimodal interventions are privileged with ADHD children and multicomponent reading interventions are privileged for dyslexia, but the efficient interventions for children with both disorders are still unclear. Cognitive skills could be intervention targets to consider in future clinical studies, to assess the efficacy of treatment options with these children.

Acknowledgements

This research was supported by various grants from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR), Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC), Canadian Language and Literacy Research Network (CLLRNET), National Health Research and Development Program (NHRDP), Quebec Research Funds (FCAR, FQRSC, and FRSQ), Quebec Ministries of Health, Social Services and Families, and the Lucie and André Chagnon Foundation. Vickie Plourde was supported by a CIHR Doctoral Fellowship, and Michel Boivin, by the Canada Research Chair program. The study received ethical approval from Laval University and Ste-Justine Hospital. Special thanks to Bei Feng and H el ene Paradis for their assistance in data management, to Jocelyn Malo, Marie- lyse Bertrand and the Quebec Statistics Institute for coordinating data collection, and to the children, parents, and teachers who participated in the studies.

References

- Arnett, A., Pennington, B., Willcutt, E., Dmitrieva, J., Byrne, B., Samuelsson, S., & Olson, R. (2012). A Cross-Lagged Model of the Development of ADHD Inattention Symptoms and Rapid Naming Speed. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *40*(8), 1–14. <http://doi.org/10.1007/s10802-012-9644-5>
- Bishop, D. V. M., & Snowling, M. J. (2004). Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychological Bulletin*, *130*(6), 858–886. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.130.6.858>
- Boivin, M., Brendgen, M., Dionne, G., Dubois, L., Pérusse, D., Robaey, P., ... Vitaro, F. (2013). The Quebec Newborn Twin Study into adolescence: 15 years later. *Twin Research and Human Genetics : The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, *16*(1), 64–69. <http://doi.org/10.1017/thg.2012.129>
- Byrne, B., Coventry, W. L., Olson, R. K., Samuelsson, S., Corley, R., Willcutt, E. G., ... DeFries, J. C. (2009). Genetic and environmental influences on aspects of literacy and language in early childhood: Continuity and change from preschool to Grade 2. *Journal of Neurolinguistics*, *22*(3), 219–236. <http://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2008.09.003>
- Byrne, B., Olson, R. K., Samuelsson, S., Wadsworth, S. J., Corley, R., DeFries, J. C., & Willcutt, E. G. (2006). Genetic and environmental influences on early literacy. *Journal of Research in Reading*, *29*(1), 33–49.
- Cormier, P., MacDonald, G. W., Grandmaison, É., & Ouellette-Lebel, D. (1995). Développement d'un test d'analyse auditive en français : normes et validation de construit. *Revue Des Sciences de L'éducation*, *21*(2), 223-240. <http://doi.org/10.7202/031784ar>
- Dally, K. (2006). The influence of phonological processing and inattentive behavior on reading acquisition. *Journal of Educational Psychology*, *98*(2), 420–437. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.98.2.420>

- Denckla, M. B., & Rudel, R. (1974). Rapid “automatized” naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *10*, 186–202.
- Dice, J. L., & Schwanenflugel, P. (2012). A structural model of the effects of preschool attention on kindergarten literacy. *Reading and Writing*, *25*, 2205–2222. <http://doi.org/10.1007/s11145-011-9354-3>
- Dionne, G., & Ouellet, E. (2011). Retard de langage et TDAH : Émergence du lien à la petite enfance. *Approche Neuropsychologique Des Apprentissages Chez L'enfant (A.N.A.E)*, *114*, 335-343.
- Dittman, C. K. (2013). The Impact of Early Classroom Inattention on Phonological Processing and Word-Reading Development. *Journal of Attention Disorders*, online publication. <http://doi.org/10.1177/1087054713478979>
- Foorman, B. R., Chen, D. T., Carlson, C., Moats, L., Francis, D. J., & Fletcher, J. M. (2003). The necessity of the alphabetic principle to phonemic awareness instruction. *Reading and Writing*, *16*, 289–324. <http://doi.org/10.1023/A:1023671702188>
- Forget-Dubois, N., Pérusse, D., Turecki, G., Girard, A., Billette, J.-M., Rouleau, G., ... Tremblay, R. E. (2003). Diagnosing zygosity in infant twins: physical similarity, genotyping, and chorionicity. *Twin Research: The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, *6*(6), 479–85. <http://doi.org/10.1375/136905203322686464>
- Gayán, J., Willcutt, E. G., Fisher, S. E., Francks, C., Cardon, L. R., Olson, R. K., ... DeFries, J. C. (2005). Bivariate linkage scan for reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder localizes pleiotropic loci. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*(10), 1045–56. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01447.x>
- Goldsmith, H. H. (1991). A zygosity questionnaire for young twins: a research note. *Behavior Genetics*, *21*(3), 257–269. <http://doi.org/10.1007/BF01065819>

- Greven, C., Harlaar, N., Dale, P., & Plomin, R. (2011). Genetic Overlap between ADHD Symptoms and Reading is largely Driven by Inattentiveness rather than Hyperactivity. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *20*(1), 6–14.
- Grondin, S., Dionne, G., Malenfant, N., Plourde, M., Cloutier, M.-E., & Jean, C. (2007). Temporal processing skills of children with and without specific language impairment. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, *31*, 38–46.
- Hurks, P. P. M., & Hendriksen, J. G. M. (2010). Retrospective and Prospective Time Deficits in Childhood ADHD: The Effects of Task Modality, Duration, and Symptom Dimensions. *Child Neuropsychology*, *17*(1), 34–50. <http://doi.org/10.1080/09297049.2010.514403>
- Johnston, T., & Kirby, J. (2006). The Contribution of Naming Speed to the Simple View of Reading. *Reading and Writing*, *19*(4), 339–361. <http://doi.org/10.1007/s11145-005-4644-2>
- Joshi, R. M., & Aaron, P. G. (2000). The Component Model of Reading: Simple View of Reading Made a Little More Complex. *Reading Psychology*, *21*(2), 85–97. <http://doi.org/10.1080/02702710050084428>
- Keenan, J. M., Betjemann, R. S., Wadsworth, S. J., DeFries, J. C., & Olson, R. K. (2006). Genetic and environmental influences on reading and listening comprehension. *Journal of Research in Reading*, *29*(1), 75–91. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2006.00293.x>
- Kirby, J. R., Desrochers, A., Roth, L., & Lai, S. S. V. (2008). Longitudinal predictors of word reading development. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *49*(2), 103–110. <http://doi.org/10.1037/0708-5591.49.2.103>
- Levy, F., Hay, D. A., McStephen, M., Wood, C., & Waldman, I. (1997). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A Category or a Continuum? Genetic Analysis of a Large-

- Scale Twin Study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 36(6), 737–744. <http://doi.org/10.1097/00004583-199706000-00009>
- Malenfant, N., Grondin, S., Boivin, M., Forget-Dubois, N., Robaey, P., & Dionne, G. (2012). Contribution of Temporal Processing Skills to Reading Comprehension in 8-Year-Olds: Evidence for a Mediation Effect of Phonological Awareness. *Child Development*, 83(4), 1332–1346. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01777.x>
- Marshall, C. M., Snowling, M. J., & Bailey, P. J. (2001). Rapid Auditory Processing and Phonological Ability in Normal Readers and Readers With Dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(4), 925–940. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/073\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/073))
- Martinussen, R., Grimbos, T., & Ferrari, J. L. S. (2014). Word-Level Reading Achievement and Behavioral Inattention: Exploring Their Overlap and Relations with Naming Speed and Phonemic Awareness in a Community Sample of Children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29, 680–690. <http://doi.org/10.1093/arclin/acu040>
- Mcloughlin, G., Ronald, A., Kuntsi, J., Asherson, P., & Plomin, R. (2007). Genetic Support for the Dual Nature of Attention Deficit Hyperactivity Disorder : Substantial Genetic Overlap Between the Inattentive and Hyperactive – impulsive Components. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 35, 999–1008. <http://doi.org/10.1007/s10802-007-9149-9>
- Melby-Lervag, M., Lyster, S.-A., & Hulme, C. (2012). Phonological Skills and Their Role in Learning to Read: A Meta-Analytic Review. *Psychological Bulletin*, 138(2), 322–352. <http://doi.org/10.1037/a0026744>
- Muthén, B. O., & Muthén, L. K. (2014). *Mplus (7.3)*. Los Angeles: Muthén & Muthén.
- National Early Literacy Panel. (2008). *Developing Early Literacy: Report of the National Early Literacy Panel*. Washington, DC.
- Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid Automatized Naming (RAN) and Reading Fluency: Implications for Understanding and Treatment of Reading Disabilities.

Annual Review of Psychology, 63, 427–452. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100431>

Olson, R. K., Keenan, J. M., Byrne, B., Samuelsson, S., Coventry, W. L., Corley, R., ... Hulslander, J. (2011). Genetic and Environmental Influences on Vocabulary and Reading Development. *Scientific Studies of Reading*, 15, 26–46. <http://doi.org/10.1080/10888438.2011.536128>

Paloyelis, Y., Rijdsdijk, F., Wood, A. C., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2010). The Genetic Association Between ADHD Symptoms and Reading Difficulties: The Role of Inattentiveness and IQ. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38, 1083–1095. <http://doi.org/10.1007/s10802-010-9429-7>

Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>

Pépin, M., & Loranger, M. (1999). *Le Test d'habiletés en lecture (THAL): Guide d'utilisation (version 1.0)*. Sainte-Foy, Québec: Réseau Psychotech.

Petrill, S. A., Deater-Deckard, K., Thompson, L. A., DeThorne, L. S., & Schatschneider, C. (2006). Genetic and Environmental Effects of Serial Naming and Phonological Awareness on Early Reading Outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 98(1), 112–121. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.98.1.112>

Plourde, V., Boivin, M., Forget-dubois, N., Brendgen, M., Vitaro, F., Marino, C., ... Dionne, G. (2015). Phenotypic and genetic associations between reading comprehension, decoding skills, and ADHD dimensions: evidence from two population-based studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 56(10), 1074–82. <http://doi.org/10.1111/jcpp.12394>

Plomin, R., & Kovas, Y. (2005). Generalist genes and learning disabilities. *Psychological Bulletin*, 131(4), 592–617. doi:10.1037/0033-2909.131.4.592

- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Contemporary Approaches to Assessing Mediation in Communication Research. In A. F. Hayes, M. D. Slater, & L. B. Snyder (Eds.), *The Sage sourcebook of advanced data analysis methods for communication research* (pp. 13–54). Thousand Oakes, CA: Sage Publications.
- Purcell, S. (2008). Statistical Methods in Behavioral Genetics. In R. Plomin, J. DeFries, G. McClearn, & P. McGuffin (Eds.), *Appendix in Behavioral Genetics*. New York: Worth Publishers.
- Ricketts, J., Nation, K., & Bishop, D. V. M. (2007). Vocabulary Is Important for Some, but Not All Reading Skills. *Scientific Studies of Reading, 11*(3), 235–257. <http://doi.org/10.1080/10888430701344306>
- Rosner, J., & Simon, D. P. (1971). The Auditory Analysis Test: An Initial Report. *Journal of Learning Disabilities, 4*(7), 384–392. <http://doi.org/10.1177/002221947100400706>
- Seashore, C. E., Lewis, D., & Saetveit, J. G. (1960). *Seashore Measures of Musical Talents*. New York: Psychological Corporation.
- Senechal, M., & Young, L. (2008). The Effect of Family Literacy Interventions on Children’s Acquisition of Reading From Kindergarten to Grade 3: A Meta-Analytic Review. *Review of Educational Research, 78*(4), 880–907. <http://doi.org/10.3102/0034654308320319>
- Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *The New England Journal of Medicine, 326*(3), 145-150.
- Sims, D. M., & Lonigan, C. J. (2013). Inattention, Hyperactivity, and Emergent Literacy: Different Facets of Inattention Relate Uniquely to Preschoolers’ Reading-Related Skills. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology, 42*, 208–219. <http://doi.org/10.1080/15374416.2012.738453>

- Stephenson, K. A., Parrila, R. K., Georgiou, G. K., & Kirby, J. R. (2008). Effects of Home Literacy, Parents' Beliefs, and Children's Task-Focused Behavior on Emergent Literacy and Word Reading Skills. *Scientific Studies of Reading, 12*, 24–50. <http://doi.org/10.1080/10888430701746864>
- Stevenson, J., Langley, K., Pay, H., Payton, A., Worthington, J., Ollier, W., & Thapar, A. (2005). Attention deficit hyperactivity disorder with reading disabilities: preliminary genetic findings on the involvement of the ADRA2A gene. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*(10), 1081–1088. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01533.x>
- Tallal, P., & Piercy, M. (1973). Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality. *Neuropsychologia, 11*(4), 389–398. [http://doi.org/10.1016/0028-3932\(73\)90025-0](http://doi.org/10.1016/0028-3932(73)90025-0)
- Tannock, R., Martinussen, R., & Frijters, J. (2000). Naming speed performance and stimulant effects indicate effortful, semantic processing deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology, 28*(3), 237–252. <http://doi.org/10.1023/A:1005192220001>
- Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: Findings to date and new methods. *Journal of Neuroscience Methods, 151*(1), 15–29. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.09.018>
- Tremblay, R. E., Desmarais-Gervais, L., Gagnon, C., & Charlebois, P. (1987). The Preschool Behaviour Questionnaire: Stability of its Factor Structure Between Cultures, Sexes, Ages and Socioeconomic Classes. *International Journal of Behavioral Development, 10*(4), 467–484. <http://doi.org/10.1177/016502548701000406>
- Verhoeven, L., & van Leeuwe, J. (2008). Prediction of the development of reading comprehension: a longitudinal study. *Applied Cognitive Psychology, 22*(3), 407–423. <http://doi.org/10.1002/acp.1414>

- Walcott, C. M., Scheemaker, A., & Bielski, K. (2010). A longitudinal investigation of inattention and preliteracy development. *Journal of Attention Disorders, 14*, 79–85. <http://doi.org/10.1177/1087054709333330>
- Walker, K. M. M., Hall, S. E., Klein, R. M., & Phillips, D. P. (2006). Development of perceptual correlates of reading performance. *Brain Research, 1124*, 126–141. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.09.080>
- Wechsler, D. (1989). Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1991). Wechsler Intelligence Scale for Children (3d ed.). San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2010). Etiology and neuropsychology of comorbidity between RD and ADHD: The case for multiple-deficit models. *Cortex, 46*(10), 1345–1361. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.06.009>
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., Wadsworth, S. J., Samuelsson, S., Corley, R., DeFries, J. C., ... Olson, R. K. (2007). Preschool twin study of the relation between attention-deficit/hyperactivity disorder and prereading skills. *Reading and Writing, 20*, 103–125. <http://doi.org/10.1007/s11145-006-9020-3>
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000). Comorbidity of Reading Disability and Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder: Differences by Gender and Subtype. *Journal of Learning Disabilities, 33*(2), 179–191. <http://doi.org/10.1177/002221940003300206>

Table 1.

Means (standard deviations), and correlations between inattention, reading, and cognitive skills.

	<i>M(SD)</i> <i>N</i>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1. Inattention	.82(.62) 962	-									
2. Decoding	33.73(17.68) 523	-.33**	-								
3. Comprehension	28.71(14.44) 528	-.28**	.58**	-							
4. Phonological awareness	17.13(5.40) 603	-.27**	.49**	.47**	-						
5. RAN colours	49.39(14.67) 612	.20**	-.26**	-.39**	-.26**	-					
6. RAN numbers	34.39(9.16) 612	.16**	-.28**	-.39**	-.32**	.41**	-				
7. Rapid bimodal processing	23.97(3.35) 618	-.26**	.40**	.31**	.33**	-.24**	-.18**	-			
8. Rapid auditory processing	67.27(12.78) 620	-.21**	.27**	.23**	.30**	-.17**	-.20**	.34**	-		
9. Vocabulary	Z score 919	-.21**	.29**	.29**	.19**	-.09*	-.02	.21**	.18**	-	
10. Nonverbal abilities	10.01(2.82) 929	-.26**	.29**	.30**	.23**	-.13**	-.12**	.22**	.14**	.29**	-

Notes. RAN = rapid automatized naming. * $p < .05$, ** $p < .01$.

Table 2.

Indirect effects of mediators and direct effects (standardized betas β) of inattention on decoding and reading comprehension in single-step multiple mediation models. Significant effects are highlighted in bold.

Mediators	Paths in Figure 1	Inattention-decoding β (95% CI)	Inattention-comprehension β (95% CI)
Phonological awareness	<i>a1b1</i>	-.07(-.11; -.04)	-.06(-.10; -.03)
RAN colours	<i>a2b2</i>	-.00(-.02; .01)	-.03(-.05; -.01)
RAN numbers	<i>a3b3</i>	-.01(-.03; -.00)	-.03(-.06; -.01)
Rapid bimodal processing	<i>a4b4</i>	-.05(-.07; -.02)	-.02(-.04; .00)
Rapid auditory processing	<i>a5b5</i>	-.01(-.04; .00)	-.00(-.02; .01)
Vocabulary	<i>a6b6</i>	-.03(-.05; -.01)	-.03(-.05; -.01)
Total indirect effect		-.17(-.22; -.12)	-.17(-.22; -.12)
Direct effect of inattention (c')		-.10(-.19; -.01)	-.08(-.16; .03)
Total effect of inattention (c)		-.28(-.37; -.19)	-.24(-.34; -.16)

Notes. All measures were standardized. *CI* = Confidence intervals; significant values are in bold. *RAN* = rapid automatized naming.

Table 3.

Common and specific genetic and environmental factors explaining the covariance and residuals variances of inattention, significant mediators, and reading abilities (decoding or comprehension). Beta values are not standardized.

Models	Common influences (95% CI lower; 95% CI upper)			Specific influences (95% CI lower; 95% CI upper)		
	Ac	Cc	Ec	As	Cs	Es
1. Inattention	-.52**(-.81; -.23)	.38**(.15; .61)	-.09(-.46; .27)	.27(-.41; .96)	.00(-.00; .00)	.62**(.52; .71)
Phon. awareness	.56**(.38; .74)	.21(-.05; .48)	.08(-.26; .42)	.37**(.20; .55)	.00(-.00; .00)	.68**(.60; .75)
Decoding	.61**(.46; .76)	.29*(.04; .55)	.47(-1.21; 2.14)	.00(.00; .00)	.00(-.00; .00)	.50(-1.06; 2.06)
2. Inattention	.61**(.44; .77)	-.36**(-.58; -.13)	.07(-.19; .33)	.01(-.03; .04)	-.01(-.15; .13)	.62**(.55; .68)
RAN number	.25**(.09; .40)	.11(-.06; .28)	.12(-.27; .50)	.58**(.45; .72)	-.00(-.01; .01)	.75**(.63; .86)
Decoding	-.54**(-.72; -.36)	-.36**(-.59; -.14)	-.59(-2.35; 1.17)	.00(.00; .00)	-.00(-.01; .00)	.38(-2.38; 3.13)
3. Inattention	-.59**(-.76; -.43)	.37**(.15; .58)	-.07(-.18; .04)	.00(-.00; .00)	-	.62**(.56; .69)
Rapid bim. proc.	.41**(.28; .55)	.12(-.07; .30)	.12*(.02; .22)	.53**(.41; .64)	-	.69**(.62; .76)
Decoding	.55**(.38; .72)	.36**(.14; .58)	.70**(.61; .79)	.00(.00; .00)	-	.02(-1.90; 1.94)
4. Inattention	-.51(-1.84; .82)	-.06(-.48; .37)	-.11(-.52; .30)	.28(-2.11; 2.66)	.39**(.14; .65)	.61**(.51; .65)
Vocabulary	.25(-.10; .59)	.49**(.26; .71)	.07(-.18; .33)	.54**(.26; .82)	-	.58**(.51; .65)
Decoding	.35(-.42; 1.13)	.25(-.28; .78)	.59(-1.32; 2.49)	.26(-.90; 1.41)	.41(-.03; .84)	.40(-2.39; 3.19)
5. Inattention	-.22(-.45; .01)	-.34*(-.65; -.03)	-.62**(-.69; -.55)	.57**(.36; .78)	.01(-.05; .06)	.04(-.15; .22)
Phon. awareness	.68**(.44; .91)	.06(-.41; .53)	.07(-.03; .17)	.00(.00; .00)	.17(-.52; .86)	.68**(.61; .75)
Comprehension	.60**(.42; .78)	.14(-.20; .48)	.07(-.01; .16)	.51**(.29; .74)	-.00(-.02; .01)	.53**(.46; .61)
6. Inattention	.13(-.13; .39)	.36**(.12; .61)	.16(-.16; .48)	.58**(.41; .76)	-	.60**(.50; .71)
RAN numbers	.64**(.51; .77)	.07(-.29; .43)	.11(-.11; .34)	.00(-.04; .04)	-	.75**(.64; .85)
Comprehension	-.48**(-.67; -.29)	-.25(-.53; .03)	-.40(-1.09; .30)	.58**(.43; .72)	.00(.00; .00)	.39(-.33; 1.11)
7. Inattention	.11(-.12; .34)	.36*(.07; .64)	.62**(.55; .69)	.59**(.40; .78)	.00(-.00; .00)	.01(-.05; .06)
RAN colours	.55(-.28; 1.39)	.10(-.18; .39)	.07(-.02; .17)	.53(-.31; 1.36)	-	.61**(.54; .68)
Comprehension	-.58(-1.45; .28)	-.21(-.54; .11)	-.11*(-.21; -.01)	.49(-.44; 1.42)	-	.54**(.46; .62)
8. Inattention	-.37(-1.08; .34)	-.17(-.46; .13)	-.16(-.42; .10)	.50(-.10; 1.06)	.27(-.12; .66)	.60**(.50; .69)
Vocabulary	.18(-.18; .53)	.49**(.30; .69)	.11(-.08; .29)	.56**(.36; .76)	.00(-.01; .01)	.58**(.50; .65)
Comprehension	.27(-.24; .79)	.31*(.07; .56)	.38(-.24; 1.00)	.68**(.53; .84)	-	.40(-.18; .97)

Notes. All measures were standardized. *CI* = Confidence intervals. *RAN* = rapid automatized naming. *Rapid bim. proc.* = rapid bimodal processing. Some parameters (-) were fixed to 0 to be able to compute models. * $p < .05$, ** $p < .01$.

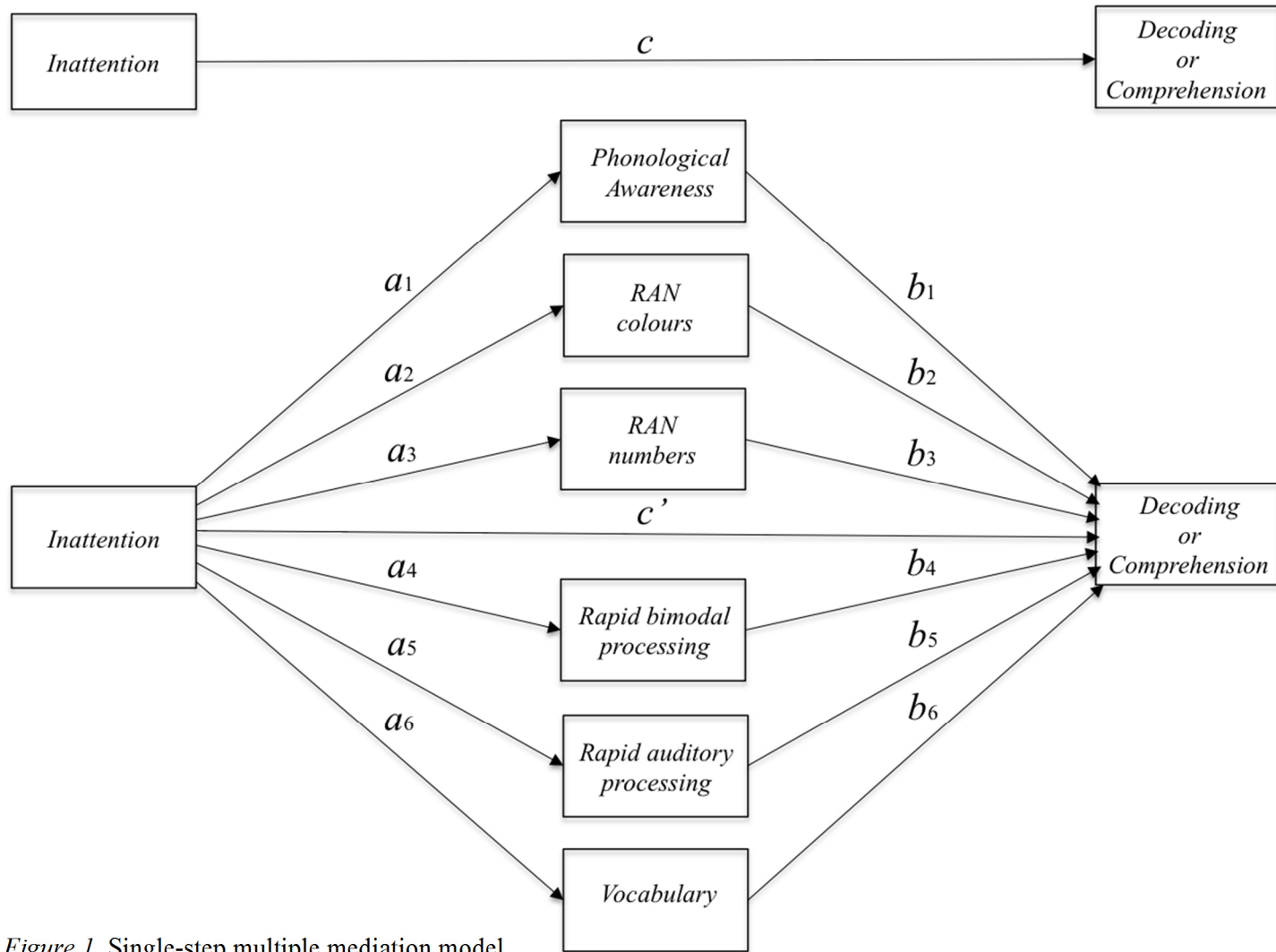


Figure 1. Single-step multiple mediation model.

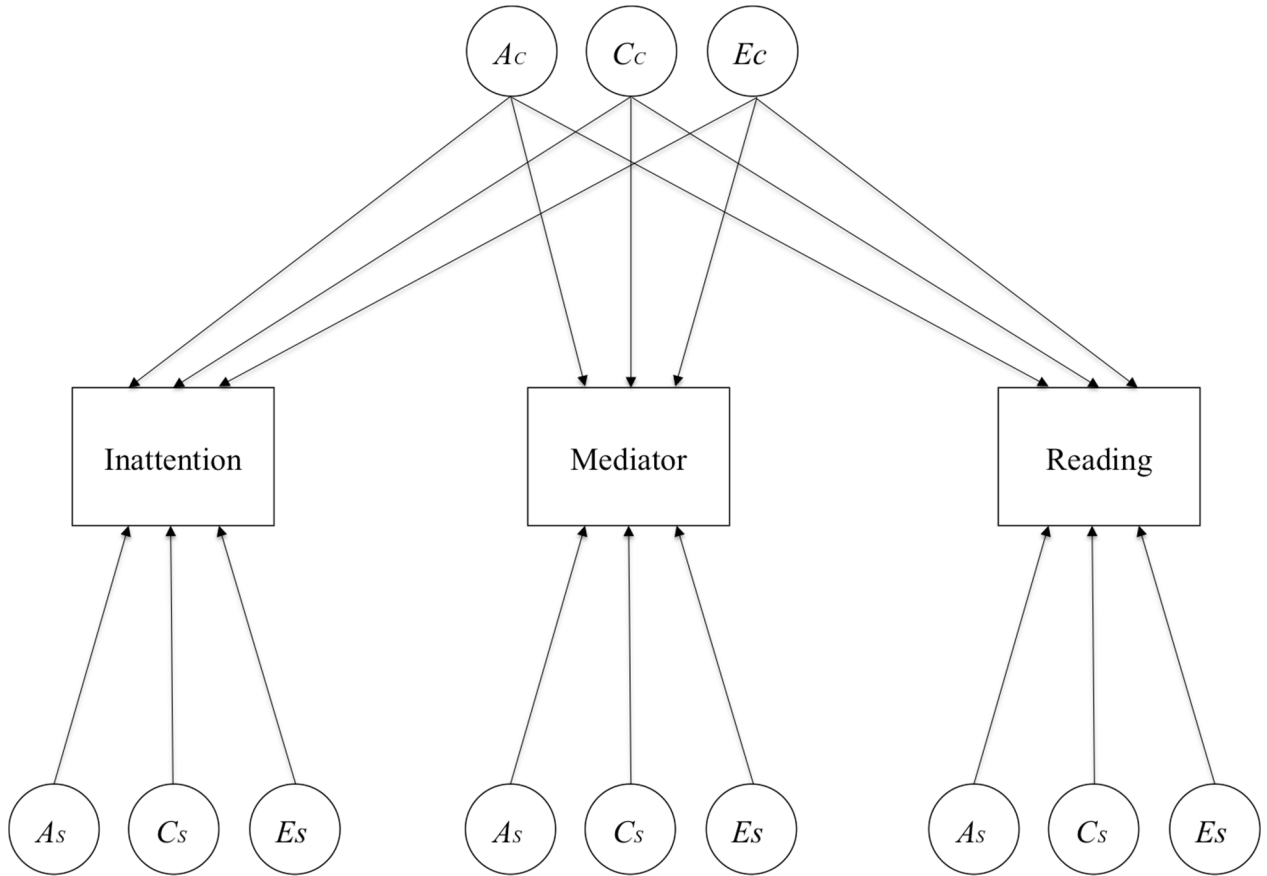


Figure 2. Independent pathway model.

Chapitre 5 : Conclusion générale

5.1 Retour sur les questions de recherche

La présente thèse s'inscrit dans la foulée du modèle à déficits cognitifs multiples « *Multiple cognitive deficit disorder* » proposé par Pennington en 2006. Ce modèle théorique postule que l'association entre deux phénotypes, soit leur cooccurrence chez un même individu, pourrait s'expliquer par des facteurs qu'ils ont en commun et qui pourraient se situer à quatre niveaux différents : étiologique, neural, cognitif et symptomatique. L'objectif général de la thèse était donc de mieux comprendre certains facteurs à la base des associations phénotypiques entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture à l'enfance et à l'adolescence, en étudiant les facteurs génétiques et cognitifs impliqués dans ces associations. La thèse a donc permis un test empirique d'une partie de ce modèle théorique.

D'abord, il a été question d'étudier les associations phénotypiques et génétiques entre chaque dimension du TDAH (inattention et hyperactivité/impulsivité) et différentes habiletés en lecture (décodage et compréhension en lecture) au début du primaire (6-8 ans), à savoir si ces associations diffèrent selon l'habileté en lecture. Les résultats obtenus ont montré des associations phénotypiques modestes, mais significatives entre la dimension d'inattention, mais pas celle d'hyperactivité/impulsivité, et les deux habiletés en lecture, le décodage et la compréhension. De plus, ils ont montré que ces associations s'expliquent principalement par des facteurs génétiques que l'inattention et la lecture auraient en commun. Cette étude est la première (1) à tester séparément les associations phénotypiques et génétiques entre l'inattention et ces deux habiletés en lecture au début du primaire et (2) à répliquer les résultats phénotypiques auprès de deux larges échantillons (jumeaux et singletons).

Ensuite, les associations phénotypiques entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture (lecture de mots et fluidité en lecture) ont été étudiées à l'adolescence (14-15 ans) pour voir si elles persistent à cet âge. Le cas échéant, l'implication de facteurs génétiques et environnementaux dans ces associations était documentée. Les résultats ont montré que les associations phénotypiques entre l'inattention et les habiletés en lecture persistent à l'adolescence. De plus, ces associations s'expliquent partiellement par des facteurs génétiques que l'inattention et la lecture ont en commun, mais l'influence de ces

facteurs devient négligeable lorsque le vocabulaire est considéré, suggérant que les facteurs génétiques impliqués seraient aussi partagés avec le vocabulaire. Il s'agit de la première étude à utiliser un échantillon populationnel de jumeaux et à tester les associations phénotypiques et génétiques entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture à cette période du développement, période marquée par des changements dans la symptomatologie du TDAH et par une stabilisation des habiletés en lecture.

Enfin, des habiletés cognitives potentiellement impliquées comme médiateurs ou tierces variables dans l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture au début du primaire (6-8 ans) ont été étudiées. Cet examen permettait de voir si elles diffèrent selon l'habileté en lecture, notamment le décodage et la compréhension. De plus, un examen des facteurs génétiques et environnementaux partagés entre l'inattention, les habiletés en lecture et ces habiletés cognitives était réalisé pour comprendre l'étiologie de leur association. Cet examen permettait d'étoffer notre compréhension des mécanismes sous-jacents à l'association entre l'inattention et la lecture à cette période du développement. Les résultats ont montré que la conscience phonologique, la vitesse de dénomination et le vocabulaire sont potentiellement des médiateurs cognitifs communs aux associations entre l'inattention et le décodage et entre l'inattention et la compréhension en lecture. Le traitement temporel bimodal est un médiateur de l'association entre l'inattention et le décodage uniquement. De plus, à l'exception du vocabulaire, ces médiateurs ont des facteurs génétiques en commun avec l'inattention et le décodage indiquant que les mécanismes cognitifs en cause sont potentiellement de nature génétique. Ce n'est pas le cas pour la compréhension en lecture ou du moins, les analyses réalisées n'ont pas été en mesure de le détecter. Cette étude effectuée auprès d'un échantillon populationnel de jumeaux est novatrice par le fait de (1) tester des modèles de médiation multiple, c'est-à-dire qui prennent en compte plusieurs médiateurs ou tierces variables potentielles pour détecter leurs contributions uniques, séparément pour le décodage et la compréhension en lecture et (2) départager les facteurs génétiques et environnementaux communs entre ces habiletés cognitives, l'inattention et les habiletés en lecture et pouvant rendre compte de mécanismes à la base de leurs associations.

La section qui suit discute les résultats et aborde les implications en recherche et en clinique de la présente thèse. Ses forces et limites sont ensuite présentées, pour terminer avec un aperçu de futures avenues de recherche pour poursuivre l'examen des facteurs sous-jacents à l'association entre les dimensions du TDAH et la lecture à la fois sur le plan normatif, mais aussi sur le plan clinique.

5.2 Discussion des résultats et implications pour la recherche

5.2.1 Distinguer les deux dimensions du TDAH

Les études cliniques appuient depuis maintenant environ 25 ans la présence d'une cooccurrence entre le TDAH et la dyslexie. Toutefois, même si l'inattention et l'hyperactivité sont associées sur le plan phénotypique et qu'elles constituent ensemble un seul diagnostic, elles sont également différentes sur le plan conceptuel. Notamment, l'inattention a possiblement une contribution plus importante aux habiletés en lecture que l'hyperactivité. Plusieurs études cliniques et populationnelles avaient d'ailleurs montré des associations plus grandes entre l'inattention et les habiletés en lecture qu'entre l'hyperactivité et les habiletés en lecture (Germanò et al., 2010; Sexton et al., 2011). Cependant, ces études corrélationnelles ne considéraient que très rarement la variance partagée entre l'inattention et l'hyperactivité, ce qui fait qu'on ne connaissait pas encore bien la contribution unique de chaque dimension du TDAH aux habiletés en lecture.

La présente thèse vient répliquer les résultats antérieurs, mais vient aussi montrer qu'à l'enfance et à l'adolescence, seule l'inattention a une contribution unique aux habiletés en lecture. Autrement dit, les associations préalablement observées entre l'hyperactivité et les habiletés en lecture semblent s'expliquer par la variance que l'hyperactivité partage avec l'inattention. Sur le plan de la recherche, ces résultats soulignent la pertinence de considérer séparément les dimensions d'inattention et d'hyperactivité et d'évaluer leurs contributions uniques en contrôlant pour la variance qu'elles partagent lorsqu'on étudie leur cooccurrence ou leur association avec d'autres phénotypes. Même si ces dimensions sont associées sur les plans phénotypique et génétique et qu'elles constituent ensemble un seul

trouble neurodéveloppemental, elles sont associées différemment à la lecture. C'est donc de ce côté qu'il faut chercher à comprendre le lien TDAH-lecture.

5.2.2 Associations similaires entre l'inattention et le décodage et entre l'inattention et la compréhension en lecture à l'enfance

Plusieurs appuis empiriques de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture sont disponibles (Ebejer et al., 2010; Paloyelis et al., 2010; Rabiner & Coie, 2000), mais trop peu d'études ont comparé l'association entre l'inattention et différentes habiletés en lecture (Greven et al., 2011). Notamment, le décodage et la compréhension, bien qu'interreliés, sont deux habiletés qui font appel à des processus cognitifs différents. Entre autres, la compréhension en lecture requiert non seulement que le lecteur décode les mots (dans la thèse, le terme décodage est utilisé de façon générique pour faire référence à la lecture de mots, qu'elle soit réalisée par adressage ou assemblage), mais aussi qu'il en dégage un sens, ce qui implique une plus grande demande cognitive pour le lecteur (Dalpé et al., 2010). Ainsi, il est possible que son association avec l'inattention soit plus grande que celle avec le décodage.

Les résultats de la thèse suggèrent qu'au début du primaire, l'inattention est associée de façon similaire au décodage et à la compréhension en lecture. Ce résultat est contraire à l'hypothèse de départ qui proposait plutôt des associations plus élevées entre l'inattention et la compréhension en lecture. Toutefois, étant donné que les habiletés en lecture ont été évaluées au début de l'apprentissage de la lecture quand le décodage n'est pas encore automatisé, il est possible que le décodage mobilise autant les capacités cognitives que la compréhension en lecture à cette période du développement (Samuelsson et al., 2004), ce qui pourrait expliquer les résultats obtenus. Une explication alternative pourrait être que l'association entre l'inattention et la compréhension en lecture au début du primaire s'explique par les habiletés de décodage, qui sont fortement associées à la compréhension à cet âge. Toutefois, dans la thèse, l'association entre l'inattention et la compréhension en lecture demeure même une fois les habiletés de décodage prises en compte, indiquant qu'une partie de l'association entre l'inattention et la compréhension en lecture est spécifique. Ces résultats suggèrent donc plutôt l'implication d'autres mécanismes, notamment génétiques et cognitifs, dans cette association. Ils soulignent également

l'importance de considérer séparément ces habiletés en lecture pour comprendre comment et pourquoi elles sont associées à l'inattention.

En ce qui a trait aux mécanismes impliqués dans ces associations, il semble que les facteurs génétiques y jouent un rôle important. Plus précisément, les associations génétiques sont centrales entre l'inattention et les deux habiletés en lecture, mais un peu plus élevées dans l'association entre l'inattention et le décodage que dans celle avec la compréhension en lecture. À l'instar du modèle proposé par Pennington (2006), la thèse postule que des habiletés cognitives puissent être sous-jacentes à ces associations notamment en raison de facteurs génétiques en commun. Le dernier article de la thèse teste et appuie cette hypothèse. Il montre que la conscience phonologique, la vitesse de dénomination des chiffres et le traitement temporel bimodal partagent des facteurs génétiques avec l'inattention et le décodage. Toutefois, les facteurs génétiques que ces habiletés cognitives partagent avec la compréhension en lecture semblent négligeables, ou du moins n'ont pas pu être détectés possiblement en raison d'un manque de puissance statistique. Ces résultats suggèrent néanmoins que les facteurs génétiques impliqués semblent varier en fonction des habiletés cognitives et des habiletés en lecture étudiées, justifiant un examen des mécanismes propres à chacune.

5.2.3 Associations entre l'inattention et la lecture à l'adolescence

Il est difficile de généraliser les résultats obtenus au début du primaire à l'adolescence étant donné les changements développementaux généraux et spécifiques qui surviennent dans le TDAH et les habiletés en lecture avec l'âge (Shaywitz et al., 1999; Sibley et al., 2012). Il est donc possible que ces associations, ainsi que leurs facteurs génétiques et cognitifs sous-jacents, évoluent durant l'adolescence et présentent à la fois des différences et similarités avec l'enfance. Toutefois, aucune étude n'a spécifiquement examiné les associations entre les dimensions du TDAH et les habiletés en lecture au milieu de l'adolescence.

Ainsi, une autre contribution novatrice de la thèse est la démonstration que les associations phénotypiques entre l'inattention et les habiletés en lecture demeurent à l'adolescence et que la force de ces associations est similaire à celle qu'on observe à

l'enfance. De plus, ces associations demeurent après avoir pris en compte les habiletés verbales et non verbales, ce qui souligne leur robustesse et leur indépendance de ces compétences plus générales. Ces résultats devraient inciter à poursuivre les études sur cette cooccurrence et les mécanismes à sa base durant cette période spécifique du développement.

Un autre résultat novateur de cet examen est celui qui montre que les associations phénotypiques s'expliquent aussi en partie par des facteurs génétiques à l'adolescence. Quelques différences avec les résultats obtenus à l'enfance sont toutefois notables. D'abord, les corrélations génétiques à l'adolescence semblent plus faibles que celles à l'enfance. Il est possible que les facteurs génétiques soient plus importants à l'enfance et qu'ils le deviennent moins à l'adolescence. Ensuite, les facteurs de l'environnement unique impliqués dans ces associations semblent augmenter à cet âge. Par facteurs de l'environnement unique, on entend les facteurs environnementaux qui affectent différemment les individus, en particulier ici des jumeaux de la même famille. Plusieurs facteurs de l'environnement unique commencent d'ailleurs à occuper plus de place à l'adolescence, par exemple le fait de fréquenter des classes différentes et d'être exposé à des formes différentes d'instruction à l'école, les différents champs d'intérêts de chacun et leurs influences sur le développement, mais aussi les activités parascolaires et les différents cercles d'amis. Ces éléments pourraient avoir un plus grand impact sur les associations entre l'inattention et les habiletés en lecture à cet âge qu'à l'enfance.

Enfin, il y a une diminution notable des associations génétiques entre l'inattention et la lecture à l'adolescence, après avoir pris en compte le niveau de vocabulaire des adolescents. Le vocabulaire pourrait donc être un mécanisme cognitif sous-jacent aux associations génétiques entre l'inattention et la lecture à cet âge. Une hypothèse plus spécifique serait que le vocabulaire partage des facteurs génétiques ou environnementaux avec l'inattention et les habiletés en lecture notamment par le rôle que peut jouer le niveau de vocabulaire sur la fluence et l'exactitude de la lecture. D'ailleurs, le troisième article de la thèse montre qu'au primaire, le vocabulaire et la compréhension en lecture partagent des facteurs liés à l'environnement commun. Ceux-ci pourraient découler, par exemple, des pratiques parentales sur le plan de la stimulation du langage et de l'environnement familial

que partagent les enfants d'une même famille tôt à l'enfance. Comme les différences individuelles sur le plan du vocabulaire deviennent de plus en plus héritables à l'adolescence, il est possible que les facteurs environnementaux deviennent moins importants et que les facteurs génétiques deviennent plus importants et partagés avec les habiletés en lecture.

5.2.4 Apport de la thèse au modèle à déficits cognitifs multiples « Multiple cognitive deficit model »

La présente thèse montre la pertinence d'utiliser une approche dimensionnelle et d'intégrer différents niveaux d'étude afin de mieux comprendre la cooccurrence entre les manifestations du TDAH et les habiletés en lecture à l'enfance et à l'adolescence. Elle appuie empiriquement le modèle de Pennington (2006) qui propose que la cooccurrence entre les troubles neurodéveloppementaux s'explique par le partage de facteurs communs sur les plans étiologique, neural, cognitif et symptomatique. Les résultats de la présente thèse appuient également un modèle de médiation selon lequel l'inattention pourrait interférer avec l'acquisition de certaines habiletés cognitives, ce qui en retour pourrait interférer avec le développement des habiletés en lecture (Dally, 2006; Martinussen et al., 2014; Sims & Lonigan, 2013). Ce modèle et celui de Pennington (2006) ne sont pas mutuellement exclusifs : des habiletés cognitives pourraient agir comme médiateurs de la cooccurrence/association en raison de facteurs génétiques partagés avec l'inattention et les habiletés en lecture.

En ce sens, les résultats ont montré que certaines habiletés cognitives testées comme médiateurs entre l'inattention et le décodage partagent des facteurs génétiques en commun. Cependant, les facteurs génétiques partagés entre ces habiletés cognitives, l'inattention et la compréhension en lecture sont négligeables. En plus d'appuyer le modèle de Pennington, ces résultats appuient partiellement l'hypothèse des gènes généralistes (Plomin & Kovas, 2005), qui propose que des phénotypes sont associés en raison d'un partage de gènes qui ont un effet général sur ces phénotypes. Ainsi, des gènes généralistes pourraient avoir un effet sur l'inattention, les habiletés en lecture et certaines habiletés cognitives associées. Ces gènes impliqués dans les associations entre l'inattention et les habiletés en lecture

auraient possiblement un effet sur le plan du fonctionnement ou du développement cérébral, ce qui se répercuterait ensuite sur les plans cognitif et symptomatique.

Une approche complémentaire à la thèse dans les études futures serait d'identifier de possibles marqueurs génétiques impliqués dans ces associations à l'aide de la génétique moléculaire. Les études dans ce domaine mesurent directement des sources de variation dans le génome, soit des régions chromosomiques, des gènes ou des paires de bases sur un locus, et les associent aux manifestations cognitives ou comportementales. De récentes études ont identifié des marqueurs génétiques impliqués dans le TDAH (Franke, Neale, & Faraone, 2009 pour une revue) et la dyslexie (Carrion-Castillo, Franke, & Fisher, 2013 pour une revue). Peu de marqueurs ont toutefois été identifiés à ce jour, et ce, malgré la grande héritabilité des symptômes du TDAH et des habiletés en lecture. En raison du caractère multidimensionnel du TDAH et de la dyslexie, il semblerait que ces problématiques soient polygéniques, impliquant de multiples gènes ayant chacun un petit effet. Il serait donc difficile avec les méthodes statistiques actuelles d'identifier ces multiples marqueurs génétiques et leur mode d'action. D'ailleurs, l'héritabilité de plusieurs phénotypes est documentée sans qu'on puisse cibler les gènes précis impliqués.

Parmi les marqueurs génétiques identifiés pour chaque trouble, certains pourraient être impliqués dans leur cooccurrence. Ils auraient un effet pléiotropique, c'est-à-dire des effets sur de multiples phénotypes (Plomin, DeFries, McClearn, & McGuffin, 2008). Des études ont porté sur l'identification de marqueurs génétiques ayant un effet pléiotropique sur le TDAH et la dyslexie : le gène ADRA2A (Stevenson et al., 2005), les loci 14q32, 13q32, 20q11 (Gayán et al., 2005) et 6p (Couto et al., 2009; Willcutt et al., 2002) ont été identifiés. Toutefois, on n'en connaît encore peu sur les mécanismes biologiques (p. ex., migration neuronale et prolifération des neurones) régis par ces gènes et leur impact sur le plan cérébral. Une seule étude connue (Schambra, Mackensen, Stafford-Smith, Haines, & Schwinn, 2005) a fait le lien entre un gène ayant un effet pléiotropique sur le TDAH et la dyslexie (gène ADRA2; Stevenson et al., 2005) et son impact sur le plan cérébral en montrant que ce gène aurait un rôle à jouer sur le fonctionnement des neurones situés dans la région cérébelleuse. Cette région du cerveau pourrait donc être affectée chez les enfants

qui présentent un TDAH et une dyslexie, ce qui a d'ailleurs déjà été démontré (voir Germanò et al., 2010 pour une revue).

Il est également possible que ce gène joue un rôle dans les connexions reliant certains réseaux neuronaux au cervelet. D'ailleurs, les études s'intéressent de plus en plus aux réseaux neuronaux impliqués dans le TDAH et la dyslexie (TDAH : Konrad & Eickhoff, 2010; dyslexie : Finn et al., 2014). Stoodley (2014) a effectué une méta-analyse pour comparer où se situent les régions et réseaux cérébraux reliés au cervelet selon un diagnostic de TDAH ou de dyslexie. Les résultats montrent que ces régions et réseaux seraient différemment affectés selon la présence d'un TDAH ou d'une dyslexie, à l'exception que la connexion entre le cervelet et le réseau attentionnel ventral (régions fronto-temporo-pariétales) serait affectée autant chez les enfants avec un TDAH que chez ceux avec une dyslexie. Ainsi, il est possible que les connexions neuronales reliant les régions frontales aux régions occipitales et au cervelet soient plus fragiles chez les enfants qui présentent un TDAH et une dyslexie. Il est aussi possible que cette fragilité neuronale ait un impact sur certaines habiletés cognitives. D'ailleurs, quelques études ont montré l'implication des régions frontales, occipitales et du cervelet dans l'automatisation de différentes habiletés cognitives, dont la conscience phonologique, la vitesse de dénomination et le traitement temporel (Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001; Norton, Beach, & Gabrieli, 2015).

Combiné aux résultats de la présente thèse, ces études permettent d'émettre l'hypothèse que des facteurs génétiques généraux pourraient avoir un impact sur le plan cérébral, soit sur les réseaux neuronaux reliant les régions frontales aux régions occipitales et au cervelet et que ceci pourrait en retour (1) affecter différentes habiletés cognitives (comme la conscience phonologique, la vitesse de dénomination et le traitement temporel) agissant comme médiateurs ou tierces variables de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture et (2) augmenter le risque de présenter un TDAH et une dyslexie de façon cooccurrence. Cette hypothèse permet d'intégrer les différents modèles théoriques proposés (gènes généralistes, modèle de médiation et modèle de Pennington), en mettant de l'avant le possible impact des facteurs génétiques sur le plan cérébral, qui ensuite se répercuterait sur les plans cognitif et symptomatique. Toutefois, cette hypothèse n'est

probablement qu'une parcelle de l'explication multidimensionnelle de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture. Il est possible que d'autres régions et réseaux neuronaux soient touchés et que ces anomalies cérébrales soient modulées par d'autres facteurs génétiques ou environnementaux. Il est aussi possible que les gènes et régions cérébrales impliqués dans ces associations diffèrent selon l'habileté de lecture évaluée (p. ex., le décodage ou la compréhension). Ces hypothèses auront avantage à être testées dans un avenir rapproché.

5.3 Implications cliniques

Les résultats de la présente thèse permettent de proposer différentes pistes de réflexion sur le plan clinique. Avant de parler plus spécifiquement des implications en lien avec l'évaluation et l'intervention, il s'avère pertinent de discuter des facteurs génétiques et en quoi ils ont une pertinence sur le plan clinique.

D'abord, la présence de facteurs génétiques liés au TDAH, aux habiletés en lecture, leurs associations et certains construits cognitifs ne signifie pas que les facteurs environnementaux, voire une intervention environnementale, n'ont pas d'impact. Cela ne signifie pas non plus que les interventions n'ont pas d'impact positif chez les enfants qui présentent des diagnostics ou des difficultés avec une étiologie génétique marquée. Au contraire, les instructions et les opportunités d'apprentissage ont le potentiel d'être bénéfiques pour tous les enfants et adolescents, qu'ils aient ou non une disposition génétique à cette cooccurrence. Toutefois, il se pourrait que l'effet d'un traitement puisse différer en fonction du bagage génétique du patient, c'est-à-dire qu'il pourrait y avoir de possibles interactions gènes-environnement impliquées dans l'effet des traitements sur l'inattention et les habiletés en lecture. Par exemple, l'effet bénéfique d'un traitement médicamenteux du TDAH est plus faible chez des enfants avec un TDAH et une susceptibilité génétique que chez ceux sans cette susceptibilité génétique (Thakur, Grizenko, Sengupta, Schmitz, & Joobar, 2010). Ainsi, il s'avère important d'évaluer la présence de troubles ou symptômes similaires dans la famille étendue au moment de l'évaluation avec l'enfant/adolescent, sa famille et son entourage.

5.3.1 Évaluation

La présente thèse montre des associations entre l'inattention et les habiletés en lecture au primaire, ce qui souligne la nécessité d'agir dès le début de la période scolaire, voire avant, pour cibler les enfants à risque. De plus, étant donné le caractère multidimensionnel des associations entre l'inattention et les habiletés en lecture, il s'avère essentiel de procéder à une évaluation détaillée (p. ex., histoire de vie, symptômes de l'enfant, capacités d'apprentissage et fonctionnement cognitif) chez les enfants identifiés à risque afin de bien comprendre l'étiologie de leurs difficultés. Cibler les enfants à risque et les évaluer permettra de les aider le plus tôt possible dans leurs apprentissages et d'agir dans leur meilleur intérêt.

Dans la thèse, les symptômes du TDAH étaient évalués avec quelques questions aux enseignants au primaire et quelques questions aux parents au secondaire. Même si les mesures étaient relativement courtes, elles ont permis d'avoir des informations révélatrices des symptômes de TDAH chez le jeune. Ainsi, l'évaluation auprès des enseignants demeure une source d'information valide parmi d'autres pour détecter les enfants à risque et l'évaluation des parents demeure une source d'information valide à l'adolescence. En ce qui concerne la lecture, les résultats de la présente thèse soulignent l'importance d'inclure différentes mesures de lecture afin de non seulement évaluer les habiletés en décodage comme le font la majorité des études antérieures, mais aussi les habiletés de compréhension en lecture.

L'évaluation du TDAH et des habiletés en lecture à l'enfance permet entre autres de mettre en place des interventions adaptées au profil de l'enfant. De plus, la thèse confirme le maintien des associations entre l'inattention et les habiletés en lecture à l'adolescence, ce qui soutient que l'évaluation du TDAH et des habiletés en lecture a avantage à être poursuivi à cette période du développement. Ce faisant, il est possible d'adapter au profil de l'adolescent les stratégies, interventions et accommodations déjà instaurées et d'en proposer de nouvelles au besoin. Ces interventions et accommodations seront discutées dans la prochaine section.

Enfin, la présente thèse montre le rôle de plusieurs habiletés cognitives dans l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture, ce qui renforce l'importance d'évaluer ces habiletés chez les enfants et les adolescents touchés. L'évaluation neuropsychologique permet de tester plusieurs habiletés, comme la conscience phonologique, la vitesse de traitement verbale ou non verbale, en plus du fonctionnement intellectuel général. Ceci permet d'obtenir un portrait détaillé du profil cognitif de l'enfant ou de l'adolescent pour mieux comprendre où se situent les principales difficultés et en quoi elles sont liées à l'inattention et aux habiletés en lecture. Enfin, l'évaluation permet d'identifier les faiblesses, mais également les forces de l'enfant ou de l'adolescent, ce qui permet d'établir un diagnostic valide et de proposer des interventions adaptées à son profil global (Asbury & Plomin, 2014; Braun et al., 2011).

5.3.2 Intervention

La présente thèse permet de suggérer que les interventions pour les symptômes du TDAH et les difficultés en lecture peuvent être instaurées dès le début du primaire et poursuivies à l'adolescence. À ce jour, plusieurs études ont porté sur les interventions spécifiques au TDAH ou aux difficultés en lecture et ont permis d'établir des traitements basés sur les données probantes pour les deux diagnostics. Toutefois, très peu d'études d'intervention ont été effectuées auprès d'enfants ou d'adolescents qui cumulent les deux diagnostics.

En ce qui a trait au traitement du TDAH, une approche multimodale, qui combine des traitements psychosociaux et la médication et qui s'ajuste en fonction de la réponse au traitement du patient, est recommandée (Sadek, 2014). Parmi les traitements psychosociaux, on retrouve la psychoéducation (p. ex., informer les parents sur le diagnostic de TDAH), les interventions basées sur la famille (p. ex., enseigner aux parents des méthodes de gestion de comportement), ainsi qu'une approche comportementale avec l'enfant (p. ex., instaurer un système de renforcement des comportements) (Sadek, 2014). Concernant les difficultés en lecture et la dyslexie, il s'agit également d'adopter un traitement à multiples composantes, qui utilise une approche systématique et qui travaille les aspects difficiles en lecture (p. ex., conscience phonologique, relier les sons aux lettres) avec de l'instruction directe, des exercices pratiques et de la révision (Snowling, 2013). De

plus, Snowling (2013) propose de considérer les limites attentionnelles que le patient peut présenter. Par exemple, la durée des exercices pratiques peut être réduite, mais leur nombre augmenté pour tenir compte des capacités attentionnelles.

Il y a peu de lignes directrices sur l'approche à adopter chez un enfant ou un adolescent qui présentent les deux diagnostics. Taylor (2011) propose que ces enfants et adolescents doivent recevoir un traitement différent de celui qu'on réserve à ceux qui présentent un seul diagnostic et que les deux diagnostics doivent être traités indépendamment. À son avis, il serait faux de croire que le traitement d'un des diagnostics est suffisant pour traiter simultanément le TDAH et les difficultés en lecture. Il préconise plutôt la combinaison d'interventions spécifiques au TDAH et d'interventions spécifiques aux difficultés en lecture. Ainsi, un traitement de l'inattention basé sur les données probantes (p. ex., thérapie cognitive-comportementale et médication), effectué simultanément avec un traitement des difficultés en lecture basé sur les données probantes pourrait être bénéfique et optimal chez ces enfants et adolescents. À notre connaissance, cette approche combinée n'a toutefois pas été évaluée. Les résultats de la thèse suggèrent qu'on pourrait aussi intégrer dans ces interventions un travail sur des habiletés cognitives associées à l'inattention et la lecture. D'ailleurs, certaines de ces habiletés, par exemple la conscience phonologique et la vitesse de dénomination, font déjà partie intégrante de certaines interventions préconisées pour les difficultés en lecture (Snowling, 2013).

Enfin, même les meilleurs traitements ont leurs limites et il peut être nécessaire de mettre en place des accommodations pour les enfants qui cumulent un TDAH et des difficultés en lecture. Par exemple, la thèse montre que la vitesse de dénomination est un possible médiateur du lien entre l'inattention et la lecture à l'enfance et que l'inattention demeure associée à la vitesse de lecture d'un texte à voix haute à l'adolescence. Des accommodations pourraient être mises en place pour notamment donner plus de temps aux enfants et aux adolescents afin d'obtenir leur meilleur rendement en lecture. Malgré le peu d'études appuyant les accommodations (voir Raggi & Chronis, 2006 pour une revue), elles sont un complément de traitement à considérer pour fournir un enseignement et un contexte scolaire mieux adapté.

5.3.3 Approche interdisciplinaire

En dernier lieu, les résultats de la thèse soulignent la pertinence de travailler en équipe interdisciplinaire (développement, génétique, imagerie) pour mieux comprendre chaque patient qui a cette cooccurrence, et ce, tout au long de leur développement. Le travail interdisciplinaire permet une évaluation multidimensionnelle détaillée, qui favorise une prise en charge intégrative du patient. Que ce soit en recherche ou en clinique, l'intégration des connaissances développementales, médicales, génétiques, neurologiques, neuropsychologiques et psychosociales sera bénéfique pour poursuivre le développement des connaissances théoriques et l'utilisation de ces connaissances dans un contexte clinique. Un travail de concert entre chercheurs en développement, psychologues, neuropsychologues, médecins, neurologues, orthophonistes, généticiens et statisticiens permettra de remplir cet objectif.

5.4 Forces et limites

La présente thèse comporte des forces et des limites qui peuvent être reliées aux concepts de validité interne et de validité externe. Brièvement, la validité interne réfère à la robustesse méthodologique de l'étude permettant d'exclure des explications méthodologiques alternatives des résultats alors que la validité externe réfère à la généralisation des résultats à la population générale (Windle, 2012).

En ce qui concerne la validité interne, la thèse comprend des analyses principalement de nature corrélationnelle, très rigoureuses sur le plan statistique et qui ont tenu compte des données manquantes et de la non-indépendance des données chez les jumeaux provenant d'une même famille. De plus, plusieurs analyses statistiques novatrices ont été utilisées pour répondre aux questions de recherche de la thèse et pour tester les niveaux symptomatique, génétique et cognitif du modèle de Pennington (2006). Des modèles génétiques multivariés à facteurs corrélés ont été utilisés dans les deux premiers articles alors des modèles de médiation multiple à une étape et des modèles génétiques « independent pathway » ont été testés dans le troisième article. La combinaison de ces stratégies statistiques est un apport novateur de la thèse.

D'autres éléments ajoutent à la validité interne de l'étude. Notamment, toutes les mesures utilisées, que ce soit pour mesurer les dimensions du TDAH, les habiletés en lecture, les construits cognitifs ou les variables de contrôle, ont été validées préalablement auprès d'échantillons d'enfants et d'adolescents (voir par exemple Lefavrais, 2005; Pépin & Loranger, 1999; Tremblay, Desmarais-Gervais, Gagnon, & Charlebois, 1987; Wechsler, 1989, 1991, 2005). De plus, diverses habiletés en lecture, habiletés cognitives et variables de contrôle ont été mesurées, ce qui a permis de comparer les associations avec l'inattention et plusieurs habiletés en lecture, tout en étudiant plusieurs médiateurs cognitifs possibles et en excluant de possibles variables confondantes. Toutefois, la mesure des symptômes du TDAH comprend seulement trois items pour l'inattention et cinq items pour l'hyperactivité, ce qui peut avoir réduit la validité de construit et augmenté l'erreur de mesure. De plus, chaque variable étudiée est traduite par une seule mesure, ce qui peut faire en sorte que les résultats obtenus soient influencés par le choix de la mesure (p. ex., voir Cutting & Scarborough, 2006; Keenan et al., 2008, pour une discussion des différences entre les mesures de compréhension en lecture). Donc, bien que les études aient été réalisées avec le souci de maintenir un haut niveau de validité interne, le contexte de la recherche, notamment l'évaluation d'un grand nombre d'enfants, explique les limites en lien avec les mesures administrées.

En ce qui concerne la validité externe, les études de la présente thèse ont été effectuées avec un nombre élevé d'enfants et d'adolescents représentatifs de la population dont ils sont issus. De plus, la première étude a été répliquée dans deux échantillons, un échantillon de singletons et un échantillon de jumeaux, ce qui appuie la généralisation des résultats à la population générale dont sont issus ces enfants. La thèse a aussi privilégié une approche dimensionnelle, soit d'étudier la cooccurrence en considérant tout le continuum des dimensions du TDAH et des habiletés en lecture chez les enfants. Cette approche permet de couvrir une plus grande variance des phénotypes étudiés sans se limiter uniquement aux cas cliniques (i.e. approche catégorielle). Cette approche permet néanmoins d'étudier des mécanismes étiologiques et d'informer les pratiques cliniques actuelles (Sorlie & Wei, 2011). Une attrition est présente dans ces deux échantillons, ce qui peut influencer la représentativité des données disponibles. Toutefois, la gestion des données manquantes sur le plan statistique minimise l'impact de l'attrition.

Un autre élément ajoute à la validité externe. La présente thèse a étudié les associations entre les dimensions du TDAH à l'enfance (articles 1 et 3) et à l'adolescence (article 2), ce qui permet de généraliser les résultats obtenus à deux périodes développementales, soit entre 6 et 8 ans (au début du primaire) et à 14-15 ans (au milieu du secondaire). Peu d'études portent sur cette cooccurrence à l'adolescence. Ceci est une force de la thèse, car les changements dans l'expression des comportements et des difficultés dans le temps ne permettent pas de généraliser les résultats obtenus à l'enfance à l'adolescence (Hudziak, Achenbach, Althoff, & Pine, 2007). Toutefois, étant donné les différences entre les mesures utilisées à l'enfance et à l'adolescence, la présente thèse ne comprend pas d'analyses longitudinales, ce qui ne permet pas d'évaluer directement la stabilité, les changements, ni la prédiction de ces associations dans le temps (Windle, 2012).

Enfin, une dernière force de la thèse est l'utilisation d'un échantillon de jumeaux, ce qui a permis non seulement d'étudier des associations phénotypiques, mais aussi de départager leur étiologie génétique et environnementale. En comparant des jumeaux monozygotes et dizygotes, il est possible de départager les contributions génétiques de celles qui sont attribuables à l'environnement. En effet, les études de jumeaux montrent que les associations entre phénotypes ne peuvent pas être attribuées uniquement à des mécanismes environnementaux (socioculturel par exemple) et que des mécanismes génétiques sont aussi impliqués (Turkheimer, 2000). Toutefois, la juste compréhension des résultats nécessite d'apporter les bonnes nuances. Par exemple, si la compréhension en lecture est héritable à 70 %, cela signifie que 70 % des différences individuelles en compréhension en lecture dans la population étudiée sont expliquées par des facteurs génétiques et non que 70 % des habiletés de compréhension en lecture d'un individu s'expliquent par des gènes (Segal, 2011).

L'utilisation des études de jumeaux comporte d'importants avantages, mais aussi quelques inconvénients. Une limite des études de jumeaux est l'impossibilité d'identifier les facteurs génétiques et environnementaux précis impliqués dans l'étiologie des différences individuelles. De plus, dans la thèse, les facteurs de l'environnement unique ne peuvent être dissociés de l'erreur de mesure. Et comme une grande portion de la variation

individuelle sur des traits s'explique par des facteurs de l'environnement unique (Turkheimer, 2000), on ne connaît pas encore quels sont ces facteurs non partagés entre jumeaux et s'ils sont reliés ou non à la famille.

5.5 Études futures

Plusieurs avenues de recherche peuvent être envisagées à la lumière des résultats de la thèse. Ces études auront avantage à intégrer différents niveaux d'analyses, à utiliser une approche dimensionnelle pour mesurer les phénotypes et à favoriser une approche collaborative d'expertise. Elles pourraient d'abord s'attarder à poursuivre l'examen des mécanismes étiologiques sous-jacents aux associations entre l'inattention et les habiletés en lecture. Les résultats de la première étude qui ont montré l'association entre l'inattention et la compréhension en lecture devraient être répliqués avec d'autres mesures de compréhension. Les résultats de la seconde étude devraient être répliqués et la compréhension en lecture pourrait être étudiée. Les résultats de la troisième étude auraient avantage à être répliqués avec plusieurs mesures des mêmes construits cognitifs (conscience phonologique, vitesse de dénomination, traitement temporel et vocabulaire), mais il serait pertinent aussi d'ajouter d'autres construits cognitifs, comme la mémoire de travail et les fonctions exécutives, possiblement affectés par les symptômes d'inattention et impliqués dans le développement des habiletés en lecture. Ces habiletés cognitives de plus haut niveau pourraient d'ailleurs jouer un rôle plus important dans la compréhension en lecture que dans les habiletés de décodage. Cette hypothèse doit toutefois être vérifiée.

En plus de répliquer les résultats de la présente thèse, une autre avenue de recherche serait d'utiliser différentes méthodes d'analyse pour intégrer différents niveaux du modèle de Pennington (2006) dans la même étude. Par exemple, il pourrait y avoir une investigation des marqueurs génétiques pouvant avoir un effet pléiotropique sur l'inattention et les difficultés en lecture, mais également sur les habiletés cognitives sous-jacentes. Il pourrait également y avoir des études des réseaux neuronaux possiblement impliqués dans l'association entre l'inattention, des habiletés cognitives et la lecture. Ces études pourraient être réalisées auprès d'échantillons représentatifs, mais aussi avec un

suréchantillonnage d'enfants avec des troubles cliniques, ce qui permettrait de vérifier si de potentiels marqueurs génétiques sont impliqués dans ces associations à la fois sur le plan normatif et sur le plan clinique.

En ce qui concerne l'étiologie génétique et environnementale, les résultats montrent que l'inattention et les habiletés en lecture ne présentent pas une héritabilité de 100 % et que leurs associations ne s'expliquent pas entièrement par des facteurs génétiques. C'est donc que des facteurs environnementaux sont aussi impliqués dans cette cooccurrence. D'ailleurs, des facteurs de risque environnementaux sont impliqués dans le TDAH et les difficultés en lecture, mais peu d'études ont considéré leurs possibles interactions avec les facteurs génétiques (Nikolas, Klump, & Burt, 2015). Plus précisément, les interactions gène-environnement peuvent être définies comme étant la possibilité que le bagage génétique module l'impact de l'environnement ou inversement, que l'environnement module l'expression du bagage génétique (Meaney, 2010; Nikolas et al., 2015; Michael Rutter, Moffitt, & Caspi, 2006). Les études de jumeaux peuvent être utilisées pour étudier ces interactions. À ce jour, un groupe de chercheurs (Pennington et al., 2009; Rosenberg, Pennington, Willcutt, & Olson, 2012) a montré une plus grande héritabilité du TDAH quand le niveau d'éducation des parents est moins élevé. Ceci réfère au modèle diathèse-stress, selon lequel les facteurs génétiques auraient un effet plus grand dans un environnement défavorable. Néanmoins, Nikolas, Klump et Burt (2015) ont plutôt montré une plus grande héritabilité du TDAH lorsque l'implication parentale était favorable. Ceci soutient un modèle d'interaction bioécologique, selon lequel les facteurs génétiques auraient un effet plus grand dans un environnement favorable. Enfin, l'héritabilité de la dyslexie serait plus grande quand le niveau d'éducation des parents est plus élevé (Pennington et al., 2009; Rosenberg et al., 2012), ce qui réfère aussi au modèle d'interaction bioécologique. Ces résultats divergents ne permettent pas de conclure sur le rôle modérateur des facteurs environnementaux dans la cooccurrence du TDAH et de la dyslexie. Toutefois, ils soulignent l'importance de poursuivre ce type d'études et d'inclure des variables environnementales mesurées (p. ex., le nombre d'activités structurées à la maison) et de vérifier la possibilité d'interaction gènes-environnement.

Une autre avenue de recherche prometteuse serait l'étude des associations longitudinales entre l'inattention et les habiletés en lecture, en impliquant différents niveaux d'études, sur les plans étiologique, neural, cognitif et symptomatique. Une proposition serait d'étudier de possibles facteurs de risque génétiques, neuraux et cognitifs à l'enfance dans la cooccurrence entre le TDAH et la dyslexie à l'adolescence, ce qui permettrait de cibler les mécanismes impliqués dans cette cooccurrence dès un jeune âge. De plus, en suivant les mêmes individus jusqu'à l'âge adulte, il serait possible de tracer différentes trajectoires de développement et de proposer des interventions ayant un possible impact à long terme. D'ailleurs, les études longitudinales qui ont suivi des individus de l'enfance à l'âge adulte montrent que le TDAH et les troubles d'apprentissage persistent (Morris, Schraufnagel, Chudnow, & Weinberg, 2009; Tervo, Michelsson, Launes, & Hokkanen, 2014). Toutefois, ces études n'ont pas considéré la cooccurrence entre le TDAH et la dyslexie et elles n'incluaient pas la prise en compte de plusieurs niveaux (p. ex., génétique, neuronaux et cognitifs) à l'enfance et l'âge adulte pour comprendre lequel de ces niveaux est principalement en cause dans leur persistance à long terme. Malgré leurs limites, ces résultats soulignent l'importance de poursuivre les études longitudinales de nature multidimensionnelle.

Une dernière avenue de recherche concerne la poursuite des études de traitement chez les enfants et les adolescents avec un TDAH et une dyslexie, afin de déterminer quels traitements sont à privilégier. Pour ce faire, des études d'intervention pourraient avoir lieu en milieu scolaire, ce qui permettrait d'inclure des enfants et adolescents avec des niveaux cliniques et sous-cliniques de symptômes. Ces études devraient comprendre une évaluation neuropsychologique pré-traitement incluant plusieurs mesures cognitives, des mesures de lecture et des mesures des symptômes du TDAH. Cette évaluation pré-traitement permettrait de faire des comparaisons post-traitement plus rigoureuses. De plus, l'intégration de mesures génétiques et cérébrales permettrait de voir l'effet des interventions à ce niveau (p. ex., voir Barquero, Davis, & Cutting, 2014 pour un exemple d'étude de traitement de la lecture avec des changements cérébraux post-traitement). Le protocole pourrait être développé de sorte à tester des enfants et adolescents avec symptômes du TDAH et de difficultés en lecture, symptômes du TDAH seuls, difficultés en lecture seules, et des participants contrôles, assignés aléatoirement à l'un des trois

traitements : un traitement combiné (traitement basé sur des données probantes pour l'inattention, les habiletés en lecture et les habiletés cognitives), un traitement alternatif (interventions générales sur l'attention et la lecture) et un traitement contrôle (activités éducatives générales). Un suivi dans le temps après l'exposition au traitement permettrait de voir si les effets du traitement se maintiennent dans le temps et si les gains se généralisent aux situations de la vie quotidienne. Enfin, ces études permettraient de faire des propositions pour des traitements efficaces avec des enfants et adolescents qui présentent cette cooccurrence.

5.6 Conclusion

La présente thèse soutient une étiologie génétique et cognitive de l'association entre l'inattention et les habiletés en lecture, autant à l'enfance qu'à l'adolescence. Elle apporte également plusieurs réflexions cliniques entourant la considération des facteurs génétiques et cognitifs lors de l'évaluation et de l'intervention auprès des enfants et adolescents présentant des symptômes du TDAH et des difficultés en lecture. Enfin, les études futures à ce sujet permettront de poursuivre l'examen de l'étiologie de cette association et de faire le pont entre les connaissances théoriques et les applications cliniques chez les enfants et les adolescents.

Références (introduction et conclusion générale)

- Adams, M. J. (1990). *Beginning to Read: Thinking and Learning about Print*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Anderson, J. C., Williams, S., McGee, R., & Silva, P. A. (1987). DSM-III Disorders in preadolescent children: Prevalence in a large sample from the general population. *Archives of General Psychiatry*, 44, 69–76. <http://doi.org/10.1001/archpsyc.1987.01800130081010>
- Angold, A., Costello, E. J., & Erkanli, A. (1999). Comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40(1), 57–87. <http://doi.org/10.1111/1469-7610.00424>
- Arnett, A., Pennington, B., Willcutt, E., Dmitrieva, J., Byrne, B., Samuelsson, S., & Olson, R. (2012). A cross-lagged model of the development of ADHD inattention symptoms and rapid naming speed. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 40(8), 1–14. <http://doi.org/10.1007/s10802-012-9644-5>
- Asbury, K., & Plomin. (2014). *G is for genes : The impact of genetics on education and achievement*. West Sussex, UK: John Wileys & Sons, Inc.
- American Psychiatric Association - APA (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (Fifth Edition)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Barquero, L. A., Davis, N., & Cutting, L. E. (2014). Neuroimaging of reading intervention: A systematic review and activation likelihood estimate meta-analysis. *PLoS ONE*, 9(1), 1–16. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0083668>
- Betjemann, R. S., Willcutt, E. G., Olson, R. K., Keenan, J. M., DeFries, J. C., & Wadsworth, S. J. (2008). Word reading and reading comprehension: stability, overlap and independence. *Reading and Writing*, 21(5), 539–558. <http://doi.org/10.1007/s11145-007-9076-8>

- Biederman, J., Mick, E., & Faraone, S. V. (2000). Age-dependent decline of symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: impact of remission definition and symptom type. *The American Journal of Psychiatry*, *157*(5), 816–818.
- Boada, R., Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2012). Understanding the comorbidity between Dyslexia and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Topics in Language Disorders*, *32*(3), 264–284. <http://doi.org/10.1097/TLD.0b013e31826203ac>
- Brasseur-Hock, I. F., Hock, M. F., Kieffer, M. J., Biancarosa, G., & Deshler, D. D. (2011). Adolescent struggling readers in urban schools : Results of a latent class analysis. *Learning and Individual Differences*, *21*(4), 438–452. <http://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.008>
- Brault, M.-C., & Lacourse, E. (2012). Prevalence of prescribed attention-deficit hyperactivity disorder medications and diagnosis among Canadian preschoolers and school-age children: 1994-2007. *Canadian Journal of Psychiatry*, *57*(2), 93–101.
- Braun, M., Tupper, D., Kaufmann, P., Mccrea, M., Postal, K., Westerveld, M., ... Deer, T. (2011). Neuropsychological assessment: a valuable tool in the diagnosis and management of neurological, neurodevelopmental, medical, and psychiatric disorders. *Cognitive and Behavioral Neurology*, *24*(3), 107–114. <http://doi.org/10.1097/WNN.0b013e3182351289>
- Brock, S. E., & Knapp, P. K. (1996). Reading comprehension abilities of children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Attention Disorders*, *1*(3), 173–185. <http://doi.org/10.1177/108705479600100305>
- Byrne, B., Coventry, W. L., Olson, R. K., Samuelsson, S., Corley, R., Willcutt, E. G., ... DeFries, J. C. (2009). Genetic and environmental influences on aspects of literacy and language in early childhood: Continuity and change from preschool to Grade 2. *Journal of Neurolinguistics*, *22*(3), 219–236. <http://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2008.09.003>

- Byrne, B., Samuelsson, S., Wadsworth, S., Hulslander, J., Corley, R., DeFries, J., ... Olson, R. (2007). Longitudinal twin study of early literacy development: Preschool through Grade 1. *Reading and Writing, 20*, 77–102. <http://doi.org/10.1007/s11145-006-9019-9>
- Caron, C., & Rutter, M. (1991). Comorbidity in child psychopathology: concepts, issues and research strategies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines, 32*(7), 1063–1080. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1991.tb00350.x>
- Carrion-Castillo, A., Franke, B., & Fisher, S. E. (2013). Molecular genetics of Dyslexia: An overview. *Dyslexia, 19*(4), 214–240. <http://doi.org/10.1002/dys.1464>
- Carroll, J. M., Maughan, B., Goodman, R., & Meltzer, H. (2005). Literacy difficulties and psychiatric disorders: Evidence for comorbidity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 46*, 524–532. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00366.x>
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: the search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience, 3*(8), 617–628. <http://doi.org/10.1038/nrn896>
- Chang, Z., Lichtenstein, P., Asherson, P. J., & Larsson, H. (2013). Developmental twin study of attention problems: high heritabilities throughout development. *JAMA Psychiatry, 70*(3), 311–318. <http://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.287>
- Cirino, P. T., Romain, M. A., Barth, A. E., Tolar, T. D., Fletcher, J. M., & Vaughn, S. (2013). Reading skill components and impairments in middle school struggling readers. *Reading and Writing, 26*, 1059–1086. <http://doi.org/10.1007/s11145-012-9406-3>
- Conners, C. K. (2000). *Conners' continuous performance test (2nd ed.)*. North Tonawanda NY: Multi-Health Systems.

- Conners, C. K., Sitarenios, G., Parker, J. D. A., & Epstein, J. N. (1998). The Revised Conners' Parent Rating Scale (CPRS-R): Factor structure, reliability, and criterion validity. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *26*(4), 257–268. <http://doi.org/10.1023/a:1022602400621>
- Couto, J. M., Gomez, L., Wigg, K., Ickowicz, A., Pathare, T., Malone, M., ... Barr, C. L. (2009). Association of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder with a candidate region for reading disabilities on chromosome 6p. *Biological Psychiatry*, *66*(4), 368–375. <http://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.02.016>
- Cutting, L. E., & Scarborough, H. S. (2006). Prediction of reading comprehension: Relative contributions of word recognition, language proficiency, and other cognitive skills can depend on how comprehension is measured. *Scientific Studies of Reading*, *10*, 277–299. <http://doi.org/10.1207/s1532799xssr1003>
- Dally, K. (2006). The influence of phonological processing and inattentive behavior on reading acquisition. *Journal of Educational Psychology*, *98*(2), 420–437. <http://doi.org/10.1037/0022-0663.98.2.420>
- Dalpé, V., Giroux, C., Lefebvre, P., & St-Pierre, M.-C. (2010). Composantes de la lecture et de l'écriture. In M.-C. St-Pierre, V. Dalpé, P. Lefebvre, & C. Giroux (Eds.), *Difficultés de lecture et d'écriture: démarche de prévention et d'évaluation orthophonique* (pp. 29–45). Québec, Québec: Presse de l'Université du Québec.
- Denckla, M. B., & Rudel, R. (1974). Rapid “automatized” naming of pictured objects, colors, letters, and numbers by normal children. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *10*(2), 186–202.
- Denton, C. A., Barth, A. E., Fletcher, J. M., Wexler, J., Vaughn, S., Cirino, P. T., ... Francis, D. J. (2011). The relations among oral and silent reading fluency and comprehension in middle school: Implications for identification and instruction of students with reading difficulties. *Scientific Studies of Reading*, *15*, 109–135. <http://doi.org/10.1080/10888431003623546>

- Dice, J. L., & Schwanenflugel, P. (2012). A structural model of the effects of preschool attention on kindergarten literacy. *Reading and Writing, 25*, 2205–2222. <http://doi.org/10.1007/s11145-011-9354-3>
- DiLalla, L. F., Mullineaux, P. Y., & Elam, K. K. (2009). Twins. In J. B. Benson & Haith, M. M. (Ed.), *Language, Memory, and Cognition in Infancy and Early Childhood* (pp. 508–518). San Diego, CA: Academic Press.
- Dionne, G., & Ouellet, E. (2011). Retard de langage et TDAH: Émergence du lien à la petite enfance. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (ANAE), 23*(114), 335–343.
- Ebejer, J. L., Coventry, W. L., Byrne, B., Willcutt, E. G., Olson, R. K., Corley, R., & Samuelsson, S. (2010). Genetic and environmental influences on inattention, hyperactivity-impulsivity, and reading: Kindergarten to grade 2. *Scientific Studies of Reading, 14*(4), 293–316. <http://doi.org/10.1080/10888430903150642>
- Faraone, S. V, Biederman, J., Lehman, B. K., Keenan, K., Norman, D., Seidman, L. J., ... Chen, W. J. (1993). Evidence for the independent familial transmission of attention deficit hyperactivity disorder and learning disabilities: results from a family genetic study. *American Journal of Psychiatry, 150*, 891–895.
- Faraone, S. V, Biederman, J., & Mick, E. (2006). The age-dependent decline of attention deficit hyperactivity disorder: a meta-analysis of follow-up studies. *Psychological Medicine, 36*, 159–165. <http://doi.org/10.1017/S003329170500471X>
- Feinstein, A. R. (1970). The pre-therapeutic classification of co-morbidity in chronic disease. *Journal of Chronic Diseases, 23*(7), 455–468. [http://doi.org/10.1016/0021-9681\(70\)90054-8](http://doi.org/10.1016/0021-9681(70)90054-8)
- Finn, E. S., Shen, X., Holahan, J. M., Scheinost, D., Lacadie, C., Papademetris, X., ... Constable, R. T. (2014). Disruption of functional networks in Dyslexia: A whole-brain, data-driven analysis of connectivity. *Biological Psychiatry, 76*(5), 397–404. <http://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.08.031>

- Franke, B., Neale, B. M., & Faraone, S. V. (2009). Genome-wide association studies in ADHD. *Human Genetics*, *126*(1), 13–50. <http://doi.org/10.1007/s00439-009-0663-4>
- Frazier, T. W., Youngstrom, E. A., Glutting, J. J., & Watkins, M. W. (2007). ADHD and achievement: Meta-analysis of the child, adolescent, and with college students. *Journal of Learning Disabilities*, *40*(1), 49–65.
- Friedman, M. C., Chhabildas, N., Budhiraja, N., Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2003). Etiology of the comorbidity between RD and ADHD: Exploration of the non-random mating hypothesis. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*, *120B*(1), 109–115. <http://doi.org/10.1002/ajmg.b.20029>
- Furrie, A., Armstrong, C. D., & Archer, A. (2007). *Executive Summary of Putting a Canadian Face on Learning Disabilities Study (PACFOLD)*. Learning Disabilities Association of Canada.
- Gayán, J., Willcutt, E. G., Fisher, S. E., Francks, C., Cardon, L. R., Olson, R. K., ... DeFries, J. C. (2005). Bivariate linkage scan for Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder localizes pleiotropic loci. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*(10), 1045–1056. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01447.x>
- Germanò, E., Gagliano, A., & Curatolo, P. (2010). Comorbidity of ADHD and Dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, *35*(5), 475–493. <http://doi.org/10.1080/87565641.2010.494748>
- Ghelani, K., Sidhu, R., Jain, U., & Tannock, R. (2004). Reading comprehension and reading related abilities in adolescents with reading disabilities and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Dyslexia*, *10*(4), 364–84. <http://doi.org/10.1002/dys.285>
- Giannopulu, I., Escolano, S., Cusin, F., Citeau, H., & Dellatolas, G. (2008). Teachers' reporting of behavioural problems and cognitive-academic performances in children aged 5–7 years. *British Journal of Educational Psychology*, *78*(1), 127–147. <http://doi.org/10.1348/000709907x204372>

- Gooch, D., Snowling, M., & Hulme, C. (2011). Time perception, phonological skills and executive function in children with Dyslexia and/or ADHD symptoms. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(2), 195–203. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02312.x>
- Greven, C. U., Harlarr, N., Dale, P. S., & Plomin, R. (2011). Genetic Overlap between ADHD Symptoms and Reading. *Journal of Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 20, 6–14.
- Greven, C. U., Rijdsdijk, F. V., Asherson, P., & Plomin, R. (2012). A longitudinal twin study on the association between ADHD symptoms and reading. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(3), 234–242. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02445.x>
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 561–582. <http://doi.org/10.3758/APP>
- Harlaar, N., Hayiou-Thomas, M. E., & Plomin, R. (2005). Reading and general cognitive ability: A multivariate analysis of 7-year-old twins. *Scientific Studies of Reading*, 9(3), 197–218. http://doi.org/10.1207/s1532799xssr0903_2
- Harlaar, N., Spinath, F. M., Dale, P. S., & Plomin, R. (2005). Genetic influences on early word recognition abilities and disabilities: a study of 7-year-old twins. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(4), 373–384. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00358.x>
- Hayes, A. F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical Mediation Analysis in the New Millennium. *Communication Monographs*, 76, 408–420. <http://doi.org/10.1080/03637750903310360>
- Hock, M. F., Brasseur, I. F., Deshler, D. D., Catts, H. W., Marquis, J. G., Mark, C. A., & Stribling, J. W. (2009). What is the reading component skill profile of adolescent

struggling readers in urban schools? *Learning Disability Quarterly*, 32, 21–38. doi: 10.2307/25474660

Huang, J., Yang, B., Zou, X., Jing, J., Pen, G., McAlonan, G. M., & Chan, R. C. K. (2012). Temporal processing impairment in children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 33(2), 538–48. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.10.021>

Hudziak, J. J., Achenbach, T. M., Althoff, R. R., & Pine, D. S. (2007). A dimensional approach to developmental psychopathology. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 16, 16–23. <http://doi.org/10.1002/mpr.217>

Hurks, P. P. M., & Hendriksen, J. G. M. (2010). Retrospective and prospective time deficits in childhood ADHD: The effects of task modality, duration, and symptom dimensions. *Child Neuropsychology*, 17(1), 34–50. <http://doi.org/10.1080/09297049.2010.514403>

Johnston, T., & Kirby, J. (2006). The contribution of naming speed to the simple view of reading. *Reading and Writing*, 19(4), 339–361. <http://doi.org/10.1007/s11145-005-4644-2>

Joshi, R. M., & Aaron, P. G. (2000). The component model of reading: Simple view of reading made a little more complex. *Reading Psychology*, 21, 85–97. <http://doi.org/10.1080/02702710050084428>

Kaplan, B., Crawford, S., Cantell, M., Kooistra, L., & Dewey, D. (2006). Comorbidity, co-occurrence, continuum: what's in a name? *Child: Care, Health and Development*, 32(6), 723–731. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2006.00689.x>

Keenan, J. M., Betjemann, R. S., & Olson, R. K. (2008). Reading comprehension tests vary in the skills they assess: differential dependence on decoding and oral comprehension. *Scientific Studies of Reading*, 12(3), 281–300. <http://doi.org/10.1080/10888430802132279>

- Keenan, J. M., Betjemann, R. S., Wadsworth, S. J., DeFries, J. C., & Olson, R. K. (2006). Genetic and environmental influences on reading and listening comprehension. *Journal of Research in Reading, 29*(1), 75–91. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2006.00293.x>
- Kessler, R. (1994). The National Comorbidity Survey of the United States. *International Review of Psychiatry, 6*, 365–376. <http://doi.org/10.3109/09540269409023274>
- Kessler, R. C., McGonagle, K. A., Zhao, S., Nelson, C. B., Hughes, M., Eshleman, S., ... Kendler, K. S. (1994). Lifetime and 12-month prevalence of DSM-III-R psychiatric disorders in the United States: Results from the National Comorbidity Survey. *Arch Gen Psychiatry, 51*, 8–19. <http://doi.org/10.1001/archpsyc.1994.03950010008002>
- Kim, Y.-S., Wagner, R. K., & Foster, E. (2011). Relations among oral reading fluency, silent reading fluency, and reading comprehension: A latent variable study of first-grade readers. *Scientific Studies of Reading, 15*(4), 338–362. <http://doi.org/10.1080/10888438.2010.493964>
- Kirby, J. R., Desrochers, A., Roth, L., & Lai, S. S. V. (2008). Longitudinal predictors of word reading development. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne, 49*(2), 103–110. <http://doi.org/10.1037/0708-5591.49.2.103>
- Konrad, K., & Eickhoff, S. B. (2010). Is the ADHD brain wired differently? A review on structural and functional connectivity in attention deficit hyperactivity disorder. *Human Brain Mapping, 31*(6), 904–916. <http://doi.org/10.1002/hbm.21058>
- Lange, K. W., Reichl, S., Lange, K. M., Tucha, L., & Tucha, O. (2010). The history of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Attention Deficit and Hyperactivity Disorders, 2*(4), 241–55. <http://doi.org/10.1007/s12402-010-0045-8>
- Larsson, H., Lichtenstein, P., & Larsson, J.-O. (2006). Genetic contributions to the development of ADHD subtypes from childhood to adolescence. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 45*(8), 973–981. <http://doi.org/10.1097/01.chi.0000222787.57100.d8>

- Lefavrais, P. (2005). Test de l'Alouette - Révisée. Paris, France: Centre de Psychologie Appliquée.
- Levy, F., Hay, D. A., McStephen, M., Wood, C., & Waldman, I. (1997). Attention-Deficit Hyperactivity Disorder: A category or a continuum? Genetic analysis of a large-scale twin study. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *36*(6), 737-744.
- Little, C. W., Hart, S. A., Schatschneider, C., & Taylor, J. (2014). Examining associations among ADHD, homework behavior, and reading comprehension: A twin study. *Journal of Learning Disabilities*, online publication, 1–14. <http://doi.org/10.1177/0022219414555715>
- Loe, I. M., Balestrino, M. D., Phelps, R. A., Kurs-Lasky, M., Chaves-Gnecco, D., Paradise, J. L., & Feldman, H. M. (2008). Early histories of school-aged children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Child Development*, *79*(6), 1853–1868. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2008.01230.x>
- Lyon, G., Shaywitz, S., & Shaywitz, B. (2003). A definition of Dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *53*(1), 1–14. <http://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9>
- Malenfant, N., Grondin, S., Boivin, M., Forget-Dubois, N., Robaey, P., & Dionne, G. (2012). Contribution of temporal processing skills to reading comprehension in 8-year-olds: Evidence for a mediation effect of phonological awareness. *Child Development*, *83*(4), 1332–1346. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01777.x>
- Marshall, C. M., Snowling, M. J., & Bailey, P. J. (2001). Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with Dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *44*(4), 925-940. [http://doi.org/10.1044/1092-4388\(2011/073\)](http://doi.org/10.1044/1092-4388(2011/073))
- Martinussen, R., Grimbos, T., & Ferrari, J. L. S. (2014). Word-level reading achievement and behavioral inattention: Exploring their overlap and relations with naming speed

- and phonemic awareness in a community sample of children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 29, 680–690. <http://doi.org/10.1093/arclin/acu040>
- Maughan, B., & Carroll, J. (2006). Literacy and mental disorders. *Current Opinion in Psychiatry*, 19(4), 350-354. doi:10.1097/01.yco.0000228752.79990.41
- Mayes, S. D., Calhoun, S. L., & Crowell, E. W. (2000). Learning disabilities and ADHD: Overlapping spectrum disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 33(5), 417–424. <http://doi.org/10.1177/002221940003300502>
- McGrath, L. M., Pennington, B. F., Shanahan, M. A., Santerre-Lemmon, L. E., Barnard, H. D., Willcutt, E. G., ... Olson, R. K. (2011). A multiple deficit model of Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: searching for shared cognitive deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(5), 547–557. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02346.x>
- Mcloughlin, G., Ronald, A., Kuntsi, J., Asherson, P., & Plomin, R. (2007). Genetic support for the dual nature of Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Substantial genetic overlap between the inattentive and hyperactive – impulsive components. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 35, 999–1008. <http://doi.org/10.1007/s10802-007-9149-9>
- Meaney, M. J. (2010). Epigenetics and the biological definition of gene x environment interactions. *Child Development*, 81, 41–79.
- Miles, T., Haslum, M., & Wheeler, T. (1998). Gender ratio in Dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 48(1), 27–55. <http://doi.org/10.1007/s11881-998-0003-8>
- Morris, M. A., Schraufnagel, C. D., Chudnow, R. S., & Weinberg, W. A. (2009). Learning disabilities do not go away: 20- to 25-year study of cognition, academic achievement, and affective illness. *Journal of Child Neurology*, 24(3), 323–332. <http://doi.org/10.1177/0883073808324218>

- National Reading Panel (2000). *Teaching children to read: An Evidence-Based Assessment of the Scientific Research Literature on Reading and Its Implications for Reading Instruction*. National Institute of Health.
- Neale, M. C., & Kendler, K. S. (1995). Models of comorbidity for multifactorial disorders. *American Journal of Human Genetics*, *57*, 935–953.
- National Early Literacy Panel - NELP (2008). *Developing early literacy: Report of the National Early Literacy Panel*. Washington, DC: National Institute for Literacy.
- Neuhaus, G. F., Roldan, L. W., Boulware-Gooden, R., & Swank, P. R. (2006). Parsimonious reading models: Identifying teachable subskills. *Reading Psychology*, *27*(1), 37–58. <http://doi.org/10.1080/02702710500468724>
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). A TINS debate – Hindbrain versus the forebrain : a case for cerebellar deficit Dyslexia : the cerebellar deficit hypothesis. *TRENDS in Neuroscience*, *24*(9), 508–511.
- Nigg, J. T., Hinshaw, S. P., Carte, E. T., & Treuting, J. J. (1998). Neuropsychological correlates of childhood attention-deficit/hyperactivity disorder: explainable by comorbid disruptive behavior or reading problems? *Journal of Abnormal Psychology*, *107*(3), 468–480. <http://doi.org/10.1037/0021-843X.107.3.468>
- Nikolas, M. A., & Burt, S. A. (2010). Genetic and environmental influences on ADHD symptom dimensions of inattention and hyperactivity: a meta-analysis. *Journal of Abnormal Psychology*, *119*(1), 1-17. doi: 10.1037/a0018010.
- Nikolas, M. A., Klump, K. L., & Burt, S. A. (2015). Parental involvement moderates etiological influences on Attention Deficit Hyperactivity Disorder behaviors in child twins. *Child Development*, *86*(1), 224–240. <http://doi.org/10.1111/cdev.12296>
- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. D. E. (2015). Neurobiology of Dyslexia. *Current Opinion in Neurobiology*, *30*, 73–78. <http://doi.org/10.1016/j.conb.2014.09.007>

- Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, *63*, 427–452. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100431>
- Nunes, T., Bryant, P., & Barros, R. (2012). The development of word recognition and its significance for comprehension and fluency. *Journal of Educational Psychology*, *104*(4), 959–973. <http://doi.org/10.1037/a0027412>
- Paige, D. D., Rasinski, T. V., & Magpuri-lavell, T. (2012). Is fluent, expressive reading important for high school readers? *Journal of Adolescent and Adult Literacy*, *56*, 67–76. <http://doi.org/10.1002/JAAL.00103>
- Paloyelis, Y., Rijdsdijk, F., Wood, A., Asherson, P., & Kuntsi, J. (2010). The genetic association between ADHD symptoms and reading difficulties: The role of inattentiveness and IQ. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *38*(8), 1083–1095. <http://doi.org/10.1007/s10802-010-9429-7>
- Pastor, P. N., & Reuben. (2008). Diagnosed Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Learning Disability: United States, 2004 – 2006. *National Center for Health Statistics. Vital Health Stat*, *10*(237), 1–14.
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, *101*(2), 385–413. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>
- Pennington, B. F., Groisser, D., & Welsh, M. C. (1993). Contrasting cognitive deficits in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder versus Reading Disability. *Developmental Psychology*, *29*(3), 511–523. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.29.3.511>
- Pennington, B. F., McGrath, L. M., Rosenberg, J., Barnard, H., Smith, S. D., Willcutt, E. G., ... Olson, R. K. (2009). Gene X environment interactions in Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Developmental Psychology*, *45*(1), 77–89. <http://doi.org/10.1037/a0014549>

- Pennington, B. F., Willcutt, E., & Rhee, S. H. (2005). Analyzing comorbidity. In R. Kail (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 33, pp. 263–304). Oxford: Elsevier B.V. [http://doi.org/10.1016/S0065-2407\(05\)80010-2](http://doi.org/10.1016/S0065-2407(05)80010-2)
- Peper, J. S., & Dahl, R. E. (2013). The teenage brain: Surging hormones-brain-behavior interactions during puberty. *Current Directions in Psychological Science*, 22(2), 134–139. <http://doi.org/10.1177/0963721412473755>
- Pépin, M., & Loranger, M. (1999). Le Test d'habiletés en lecture (THAL): Guide d'utilisation (version 1.0). Sainte-Foy, Québec: Réseau Psychotech.
- Perfetti, C. A., Landi, N., & Oakhill, J. (2005). The acquisition of reading comprehension skill. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The science of reading: A handbook* (pp. 227–247). Oxford: Blackwell Publishers.
- Petrill, S., Deater-Deckard, K., Thompson, L. A., Schatschneider, C., DeThorne, L., & Vandenberg, D. (2007). Longitudinal genetic analysis of early reading: The Western Reserve Reading Project. *Reading and Writing*, 20(1), 127–146. <http://doi.org/10.1007/s11145-006-9021-2>
- Pham, A. V. (2013). Differentiating behavioral ratings of inattention, impulsivity, and hyperactivity in children: Effects on reading achievement. *Journal of Attention Disorders*, online publication. <http://doi.org/10.1177/1087054712473833>
- Pikulski, J. J., & Chard, D. J. (2005). Fluency: The bridge from decoding to reading comprehension. *The Reading Teacher*, 58(6), 510-519. doi: 10.1598/RT.58.6.2
- Plomin, R., DeFries, J. C., McClearn, G. E., & McGuffin, P. (2008). *Behavioral genetics* (4th ed.). New York, NY: Worth Publishers.
- Plomin, R., & Kovas, Y. (2005). Generalist genes and learning disabilities. *Psychological Bulletin*, 131(4), 592–617. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.131.4.592>
- Plourde, V., Boivin, M., Forget-Dubois, N., Brendgen, M., Vitaro, F., Marino, C., ... Dionne, G. (2015). Phenotypic and genetic associations between reading

- comprehension, decoding skills, and ADHD dimensions: Evidence from two population-based studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 56(10), 1074-82. <http://doi.org/10.1111/jcpp.12394>
- Plourde, V., Dionne, G., Brendgen, M., Vitaro, F., Tremblay, R. E., & Boivin, M. (2012). Différences garçons – filles quant à l'inattention (I) et l'hyperactivité (H) des enfants avec des difficultés en lecture (DL). Dans *2e colloque international de langue française sur le TDAH*. Québec, Québec.
- Polanczyk, G., Silva de Lima, M., Lessa Horta, B., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: A systematic review and metaregression analysis. *American Journal of Psychiatry*, 164(6), 942–948. doi: 10.1176/appi.ajp.164.6.942
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Contemporary approaches to assessing mediation in communication research. In A. F. Hayes, M. D. Slater, & L. B. Snyder (Eds.), *The Sage sourcebook of advanced data analysis methods for communication research* (pp. 13–54). Thousand Oakes, CA: Sage Publications.
- Price, K. W., Meisinger, E. B., Louwse, M. M., & D'Mello, S. (2015). The contributions of oral and silent reading fluency to reading comprehension. *Reading Psychology*, (June), 1–35. <http://doi.org/10.1080/02702711.2015.1025118>
- Purcell, S. (2008). Statistical methods in behavioral genetics. In R. Plomin, J. DeFries, G. McClearn, & P. McGuffin (Eds.), *Appendix in behavioral genetics*. New York, NY: Worth Publishers.
- Purvis, K. L., & Tannock, R. (2000). Phonological processing, not inhibitory control, differentiates ADHD and Reading Disability. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 39(4), 485–494. <http://doi.org/10.1097/00004583-200004000-00018>
- Rabiner, D., & Coie, J. D. (2000). Early attention problems and children's reading achievement: A longitudinal investigation. *Journal of the American Academy of*

Child and Adolescent Psychiatry, 39(7), 859–867. <http://doi.org/10.1097/00004583-200007000-00014>

Raggi, V. L., & Chronis, A. M. (2006). Interventions to address the academic impairment of children and adolescents with ADHD. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 9(2), 85–111. <http://doi.org/10.1007/s10567-006-0006-0>

Rasinski, T., Rikli, A., & Johnston, S. (2009). Reading fluency : More than automaticity? More than a concern for the primary grades? *Literacy Research and Instruction*, 48, 350–361. <http://doi.org/10.1080/19388070802468715>

Rasinski, T. V, Padak, N. D., Mckeon, C. A., Wilfong, L. G., Friedauer, J. A., & Heim, P. (2005). Is reading fluency a key for successful high school reading? *Journal of Adolescent and Adult Literacy*, 49(1), 22–27. <http://doi.org/10.1598/JAAL.49.1.3>

Richardson, S. O. (1992). Historical perspectives on Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25(1), 40–47.

Ricketts, J., Nation, K., & Bishop, D. V. M. (2007). Vocabulary is important for some, but not all reading skills. *Scientific Studies of Reading*, 11(3), 235–257. <http://doi.org/10.1080/10888430701344306>

Rodriguez, A., Jarvelin, M.-R., Obel, C., Taanila, A., Miettunen, J., Moilanen, I., ... Olsen, J. (2007). Do inattention and hyperactivity symptoms equal scholastic impairment? evidence from three European cohorts. *BMC Public Health*, 7(1), 327.

Rogers, M., Hwang, H., Toplak, M., Weiss, M., & Tannock, R. (2011). Inattention, working memory, and academic achievement in adolescents referred for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Child Neuropsychology*, 17, 444–458. <http://doi.org/10.1080/09297049.2010.544648>

Rosenberg, J., Pennington, B. F., Willcutt, E. G., & Olson, R. K. (2012). Gene by environment interactions influencing Reading Disability and the inattentive symptom dimension of attention deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(3), 243–251. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02452.x>

- Rucklidge, J. J., & Tannock, R. (2002). Neuropsychological profiles of adolescents with ADHD: effects of reading difficulties and gender. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43(8), 988–1003. <http://doi.org/10.1111/1469-7610.00227>
- Rutter, M., Caspi, A., Fergusson, D., Horwood, L. J., Goodman, R., Maughan, B., ... Carroll, J. (2004). Sex differences in developmental Reading Disability. *JAMA Psychiatry*, 291(16), 2007–2012. <http://doi.org/10.1001/jama.291.16.2007>
- Rutter, M., Moffitt, T. E., & Caspi, A. (2006). Gene-environment interplay and psychopathology: Multiple varieties but real effects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(3-4), 226–261. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01557.x>
- Sadek, J. (2014). *A clinician's guide to ADHD – 2nd edition*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Samuelsson, S., Lundberg, I., & Herkner, B. (2004). ADHD and Reading Disability in male adults: Is there a connection? *Journal of Learning Disabilities*, 37(2), 155–168. <http://doi.org/10.1177/00222194040370020601>
- Savage, R., Cornish, K., Manly, T., & Hollis, C. (2006). Cognitive processes in children's reading and attention: the role of working memory, divided attention, and response inhibition. *British Journal of Psychology*, 97, 365–385. <http://doi.org/10.1348/000712605X81370>
- Schambra, U. B., Mackensen, G. B., Stafford-Smith, M., Haines, D. E., & Schwinn, D. A. (2005). Neuron specific α -adrenergic receptor expression in human cerebellum: Implications for emerging cerebellar roles in neurologic disease. *Neuroscience*, 135(2), 507–523. <http://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.06.021>
- Segal, N. L. (2011). The Value of Twin Studies: A Response to Slate Magazine / Research Reviews / Twin News Worth Noting. *Twin Research and Human Genetics*, 14, 593–597. <http://doi.org/10.1375/twin.14.6.593>
- Sexton, C. C., Gelhorn, H., Bell, J., & Classi, P. (2011). The Co-occurrence of Reading Disorder and ADHD: Epidemiology, Treatment, Psychosocial Impact, and Economic

- Burden. *Journal of Learning Disabilities*, 45(6), 538-564.
<http://doi.org/10.1177/0022219411407772>
- Shanahan, M., Pennington, B., Yerys, B., Scott, A., Boada, R., Willcutt, E., ... DeFries, J. (2006). Processing speed deficits in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder and Reading Disability. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 34(5), 584–601.
<http://doi.org/10.1007/s10802-006-9037-8>
- Shatil, E., & Share, D. L. (2003). Cognitive antecedents of early reading ability: A test of the modularity hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 86(1), 1–31.
[http://doi.org/10.1016/s0022-0965\(03\)00106-1](http://doi.org/10.1016/s0022-0965(03)00106-1)
- Shaywitz, S. E. (1998). Current concepts: Dyslexia. *The New England Journal of Medicine*, 338(5), 307–312.
- Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Maruch, R. (1992). Evidence that Dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *The New England Journal of Medicine*, 326(3), 145-150.
- Shaywitz, S. E., Fletcher, J. M., Holahan, J. M., Shneider, A., Marchione, K. E., Stuebing, K. K., ... Shaywitz, B. A. (1999). Persistence of Dyslexia: The Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics*, 104, 1351–1359.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., ... Gore, J. C. (2003). Neural systems for compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry*, 54, 25–33. [http://doi.org/10.1016/S0006-3223\(03\)01836-X](http://doi.org/10.1016/S0006-3223(03)01836-X)
- Shemmassian, S., & Lee, S. (2012). Comparing four methods of integrating parent and teacher symptom ratings of Attention-deficit/hyperactivity Disorder (ADHD). *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 34(1), 1–10.
<http://doi.org/10.1007/s10862-011-9262-5>
- Sibley, M. H., Pelham, W. E., Molina, B. S. G., Gnagy, E. M., Waschbusch, D. A., Garefino, A. C., ... Karch, K. M. (2012). Diagnosing ADHD in adolescence. *Journal*

- of Consulting and Clinical Psychology*, 80(1), 139–150.
<http://doi.org/10.1037/a0026577>
- Sims, D. M., & Lonigan, C. J. (2013). Inattention, hyperactivity, and emergent literacy: Different facets of inattention relate uniquely to preschoolers' reading-related skills. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 42, 208–219.
<http://doi.org/10.1080/15374416.2012.738453>
- Snowling, M. J. (2013). Early identification and interventions for Dyslexia: A contemporary view. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 13(1), 7–14.
<http://doi.org/10.1111/j.1471-3802.2012.01262.x>
- Sorlie, P., & Wei, G. S. (2011). Population-based cohort studies: Still relevant? *Journal of the American College of Cardiology*, 58(19), 2010–2013.
<http://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.020>
- Sprenger-Charolles, L. & Colé, P. (2013). *Lecture et Dyslexie: Approche cognitive* (seconde edition). Paris: Dunod.
- Stephenson, K. A., Parrila, R. K., Georgiou, G. K., & Kirby, J. R. (2008). Effects of home literacy, parents' beliefs, and children's task-focused behavior on emergent literacy and word reading skills. *Scientific Studies of Reading*, 12, 24–50.
<http://doi.org/10.1080/10888430701746864>
- Stevenson, J., Langley, K., Pay, H., Payton, A., Worthington, J., Ollier, W., & Thapar, A. (2005). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder with Reading Disabilities: Preliminary genetic findings on the involvement of the ADRA2A gene. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(10), 1081–1088. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01533.x>
- Stoodley, C. J. (2014). Distinct regions of the cerebellum show gray matter decreases in autism, ADHD, and developmental Dyslexia. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 92. <http://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00092>

- Tallal, P., & Benasich, A. A. (2002). Developmental language learning impairments. *Development and Psychopathology*, *14*(3), 559–579. <http://doi.org/doi:10.1017/S0954579402003097>
- Taylor, E. (2011). Commentary: Reading and attention problems - How are they connected? Reflections on reading McGrath et al. (2011). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *52*(5), 558–559. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02403.x>
- Tervo, T., Michelsson, K., Launes, J., & Hokkanen, L. (2014). A prospective 30-Year follow-up of ADHD associated with perinatal risks. *Journal of Attention Disorders*, online publication, 1–12. <http://doi.org/10.1177/1087054714548036>
- Thakur, G. A., Grizenko, N., Sengupta, S. M., Schmitz, N., & Joobar, R. (2010). The 5-HTTLPR polymorphism of the serotonin transporter gene and short term behavioral response to methylphenidate in children with ADHD. *BMC Psychiatry*, *10*, 50-59. <http://doi.org/10.1186/1471-244X-10-50>
- Tirosh, E., & Cohen, A. (1998). Language deficit with Attention-Deficit Disorder: A prevalent comorbidity. *Journal of Child Neurology*, *13*(10), 493–497. <http://doi.org/10.1177/088307389801301005>
- Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: Findings to date and new methods. *Journal of Neuroscience Methods*, *151*(1), 15–29. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.09.018>
- Tremblay, R. E., Desmarais-Gervais, L., Gagnon, C., & Charlebois, P. (1987). The Preschool Behaviour Questionnaire: Stability of its factor structure between cultures, sexes, ages and socioeconomic classes. *International Journal of Behavioral Development*, *10*(4), 467–484. <http://doi.org/10.1177/016502548701000406>
- Trzesniewski, K. H., Moffitt, T. E., Caspi, A., Taylor, A., & Maughan, B. (2006). Revisiting the association between reading achievement and antisocial behavior: New

- evidence of an environmental explanation from a twin study. *Child Development*, 77(1), 72–88. <http://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00857.x>
- Turkheimer, E. (2000). Three laws of behavior genetics and what they mean. *Current Directions in Psychological Science*, 9(5), 160–164. <http://doi.org/10.1111/1467-8721.00084>
- Vellutino, F. R., Tunmer, W. E., Jaccard, J. J., & Chen, R. (2007). Components of reading ability: Multivariate evidence for a convergent skills model of reading development. *Scientific Studies of Reading*, 11(1), 3–32. http://doi.org/10.1207/s1532799xssr1101_2
- Verhoeven, L., & van Leeuwe, J. (2008). Prediction of the development of reading comprehension: a longitudinal study. *Applied Cognitive Psychology*, 22(3), 407–423. <http://doi.org/10.1002/acp.1414>
- Walker, K. M. M., Hall, S. E., Klein, R. M., & Phillips, D. P. (2006). Development of perceptual correlates of reading performance. *Brain Research*, 1124, 126–141. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.09.080>
- Warner-Rogers, J., Taylor, A., Taylor, E., & Sandberg, S. (2000). Inattentive Behavior in Childhood: Epidemiology and Implications for Development. *Journal of Learning Disabilities*, 33(6), 520–536. <http://doi.org/10.1177/002221940003300602>
- Wechsler, D. (1989). Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1991). Wechsler Intelligence Scale for Children (3d ed.). San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2005). Wechsler Individual Achievement Test 2nd Edition - Test de rendement individuel de Wechsler 2e édition (WIAT-II). London: The Psychological Corporation.

- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2010). Etiology and neuropsychology of comorbidity between RD and ADHD: The case for multiple-deficit models. *Cortex*, *46*(10), 1345–1361. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.06.009>
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., Pennington, B. F., Olson, R. K., Defries, J. C., & Wadsworth, S. J. (2007). Longitudinal Study of Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Implications for Education. *Mind, Brain, and Education*, *1*(4), 181–192.
- Willcutt, E. G., Nigg, J. T., Pennington, B. F., Solanto, M. V, Rohde, L. A, Tannock, R., ... Lahey, B. B. (2012). Validity of DSM-IV Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder symptom dimensions and subtypes. *Journal of Abnormal Psychology*, *121*(4), 991–1010. <http://doi.org/10.1037/a0027347>
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000a). Comorbidity of Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Differences by gender and subtype. *Journal of Learning Disabilities*, *33*(2), 179–191. <http://doi.org/10.1177/002221940003300206>
- Willcutt, E. G., & Pennington, B. F. (2000b). Psychiatric comorbidity in children and adolescents with Reading Disability. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *41*(8), 1039–1048. <http://doi.org/10.1111/1469-7610.00691>
- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Boada, R., Ogline, J. S., Tunick, R. A., Chhabildas, N. A., & Olson, R. K. (2001). A comparison of the cognitive deficits in Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, *110*(1), 157–172. <http://doi.org/10.1037/0021-843x.110.1.157>
- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., & DeFries, J. C. (2000). Etiology of inattention and hyperactivity/impulsivity in a community sample of twins with learning difficulties. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *28*(2), 149–59.

- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson, R. K., Chhabildas, N., & Hulslander, J. (2005). Neuropsychological analyses of comorbidity between Reading Disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: In search of the common deficit. *Developmental Neuropsychology*, 27(1), 35–78. http://doi.org/10.1207/s15326942dn2701_3
- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Smith, S. D., Cardon, L. R., Gayán, J., Knopik, V. S., ... DeFries, J. C. (2002). Quantitative trait locus for Reading Disability on chromosome 6p is pleiotropic for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *American Journal of Medical Genetics*, 114(3), 260–268. <http://doi.org/10.1002/ajmg.10205>
- Windle, M. (2012). Longitudinal data analysis. In H. Cooper (Ed.), *APA handbook of research methods in psychology, Vol 3: Data analysis and research publication*. American Psychological Association. <http://doi.org/10.1037/13621-000>
- Wood, A. C., Asherson, P., van der Meere, J. J., & Kuntsi, J. (2010). Separation of genetic influences on Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder symptoms and reaction time performance from those on IQ. *Psychological Medicine*, 40(6), 1027-1037. doi:10.1017/S003329170999119X
- Woolley, G. (2011). Reading comprehension. In G. Woolley (Ed.), *Reading comprehension: Assisting children with learning difficulties* (pp. 15–34). New York: Springer.