



Université de Montréal

**Évaluation de la cognition sociale : Étude du raisonnement moral  
chez l'enfant neurotypique et avec lésion cérébrale focale**

par

Vincent Labelle-Chiasson

Département de psychologie

Faculté des arts et sciences

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D)  
en Psychologie – Recherche et Intervention  
option Neuropsychologie clinique

Septembre, 2017

© Vincent Labelle-Chiasson, 2017

## Résumé

Chaque jour, l'être humain évolue dans un monde social hautement complexe dans lequel il doit détecter les intentions d'autrui, respecter des normes sociales et exercer son jugement. Naviguer dans ce monde social nécessite une machinerie cognitive sophistiquée connue sous le terme de « cognition sociale », un regroupement de fonctions qui permet de traiter, comprendre et évaluer les situations sociales ainsi que d'y répondre. Le raisonnement moral (RM) est parmi les capacités de cognition sociale les plus évoluées de l'être humain et contribue aux comportements sociaux appropriés. Durant les dernières décennies, des recherches dans plusieurs domaines ont tenté de mieux définir ce construit et d'investiguer sa progression durant l'enfance. Ces études suggèrent qu'un RM mature progresse d'une perspective égocentrique vers une compréhension plus globale et repose sur une intégration sophistiquée des mécanismes cérébraux, cognitifs et émotionnels. Il reste toutefois beaucoup à comprendre sur les périodes du développement qui s'exposent aux changements les plus importants du RM et leur vulnérabilité à une atteinte cérébrale. Des rapports anecdotiques de manque de jugement et de pauvre décision morale suite à une lésion cérébrale frontale ont marqué l'histoire de la neuropsychologie classique sans toutefois pouvoir s'appuyer sur des données quantitatives. Malgré ces lacunes, ces études démontrent l'intérêt préexistant pour comprendre l'impact d'une lésion cérébrale sur les habiletés sociales, notamment le RM. Un obstacle à la poursuite d'études en neuropsychologie sur le développement typique et atypique du RM a longtemps été l'absence d'outils de mesure écologiques conçus pour les enfants et limitant les facteurs cognitifs confondants. L'émergence récente de modèles de la compétence sociale applicables à la neuropsychologie, la cartographie du cerveau social et l'enthousiasme généré par la création d'outils de cognition sociale offrent désormais de nouvelles avenues pour étudier le RM, et ce, autant dans le contexte d'un développement sain, que suite à une atteinte cérébrale.

Le premier article de thèse présente une étude basée sur un outil novateur pour évaluer le RM des enfants et des adolescents, le Socio-Moral Reasoning Aptitude Level (So-Moral, Beauchamp et al., 2013). Par le biais de cet outil, l'objectif était d'identifier les changements reliés à l'âge durant une grande étendue développementale (6 à 20 ans), d'investiguer la

présence de différences de genre et en parallèle d'explorer la sensibilité développementale du So-Moral. L'étude démontre des différences de groupe significatives au niveau de la maturité du RM entre l'enfance (6-8 ans) et la pré-adolescence (9-11 ans), de même qu'entre le début (12-14 ans) et le milieu (15-17 ans) de l'adolescence, ainsi que des différences de genre en faveur des filles à travers toutes les périodes développementales. Ces résultats sont interprétés à la lueur du développement cérébral et des théories cognitivo-développementales du RM. Ils permettent de démontrer que le So-Moral possède une sensibilité développementale adéquate et fournissent des informations sur le développement typique du RM pouvant éventuellement servir de comparaison avec des populations cliniques.

Le second article visait à investiguer la cognition sociale (RM, prise de décision morale et empathie) et les habiletés sociocomportementales des enfants avec une lésion cérébrale focale (LCF) au niveau des régions frontales ou temporales. Les résultats ont démontré des capacités sociocognitives réduites chez les enfants ayant une LCF comparativement à des participants contrôles appariés, notamment en ce qui a trait à leur niveau de RM. Des liens entre l'empathie et le RM ont aussi été mis en lumière chez les enfants avec une LCF. Enfin, ceux-ci présentaient davantage de problèmes sociocomportementaux.

Ensemble, les données des études contribuent à une meilleure compréhension du développement typique et atypique du RM et suggèrent qu'il est utile d'évaluer la cognition sociale chez des enfants avec une lésion cérébrale par le biais d'outils conçus dans un souci de validité écologique. Au plan neurodéveloppemental, les études permettent d'extrapoler des périodes sensibles du développement du RM et appuient la notion selon laquelle la cognition sociale serait vulnérable suite à une LCF. Enfin, les résultats contribuent à démontrer la sensibilité développementale de l'outil So-Moral.

**Mots-clés** : cognition sociale, raisonnement moral, empathie, lésion cérébrale focale, évaluation, enfance, adolescence

## **Abstract**

Every day, humans evolve in a highly complex social world in which they have to infer others' intentions, respect social norms and exercise their judgment. Navigating this social world requires sophisticated cognitive machinery, better known under the term of « social cognition », a group of functions dedicated to processing, understanding and responding to social situations. Moral reasoning (MR) is one of the most advanced social cognitive skills of human kind and is the cornerstone of appropriate social behaviors. In the past decades, research in many academic domains has tried to clarify this construct and track its development during childhood and adolescence. Most current results suggest that mature moral abilities progress from an egocentric perspective to a more global comprehension of the social world, emerging from a sophisticated integration of cerebral, cognitive and emotional mechanisms. However, many questions are left unanswered regarding the most important period of changes in terms of MR and their vulnerabilities to cerebral insult. Anecdotal reports of poor moral decision-making and lack of judgment following frontal brain lesion have long been reported in classical neuropsychological literature. However, these observations have not, until now, been supported by quantitative data. Despite their shortcomings, these studies highlight the relevance of understanding the impact of cerebral lesions on social skills, particularly MR. Until recently, one obstacle to pursuing such research in neuropsychology on the typical and atypical development of MR has been the lack of ecological tools designed for children, and that limit cognitive confounds. The recent emergence of models of social competence applicable to neuropsychology, the mapping of the “social brain”, as well as the enthusiasm generated by the creation of innovative social cognition tools offers novel opportunities to study MR both in the context of healthy development and also following brain insult.

The first thesis article presents a study using an innovative neuropsychological tool designed to evaluate everyday MR in children and adolescents, the Socio-Moral Reasoning Aptitude Level (So-Moral). Using this tool, the objective was to identify age-related changes in MR during an extended developmental period (6 to 20 years), investigate the existence of sex differences and, in parallel, explore the developmental sensitivity of the So-Moral tool.

The study results demonstrate significant group differences in MR maturity between childhood (6-8 years) and preadolescence (9-11 years), as well as between early adolescence (12-14 years) and middle adolescence (15-17 years). Further, sex differences favoring girls were found across all developmental periods. These results are to be interpreted in light of cerebral development and cognitive development theories of MR. They indicate that the So-Moral has adequate developmental sensitivity and can support a model of healthy MR development, thus enabling future comparisons with clinical groups.

The objective of the second article was to investigate social cognition (MR, moral decision-making and empathy) and socio-behavioral problems in children with early focal brain insult (EBI) to the frontal or temporal regions. The results demonstrate reduced socio-cognitive abilities in these children when compared to paired controls, most notably in terms of MR maturity. Links between empathy and MR were also found in children with focal EBI. Finally, results indicated that these individuals displayed more socio-behavioral problems than their peers.

This thesis furthers our understanding of typical and atypical MR development and suggests that it is useful to evaluate social cognition in children with focal EBI with appropriate tools designed with an ecological approach. From a neurodevelopmental perspective, these studies suggest the presence of sensitive periods for the development of MR and support the idea that social cognition is vulnerable following focal EBI. Finally, the results contribute to knowledge of the developmental sensitivity of the So-Moral tool.

**Keywords** : social cognition, moral reasoning, empathy, focal brain lesion, assessment, childhood, adolescence

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>vii</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>viii</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>x</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>xii</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Contexte théorique</b> .....	<b>3</b>
Compétence sociale.....	3
Cognition sociale .....	6
La moralité.....	11
Substrats neuronaux.....	18
Lésions cérébrales .....	22
Lésions cérébrales focales.....	24
Outils d'évaluation de la cognition sociale et du RM .....	27
Position du problème et objectifs de la thèse.....	29
<b>Article 1</b> .....	<b>32</b>
<b>Article 2</b> .....	<b>60</b>
<b>Discussion</b> .....	<b>89</b>
Retour sur l'étude 1.....	89
Retour sur l'étude 2.....	91
Considérations théoriques.....	93
Considérations neurodéveloppementales .....	96
Considérations méthodologiques en lien avec l'outil.....	100
Considérations cliniques.....	102

Directions futures .....	107
Forces et limitations .....	108
Conclusion.....	110
<b>Bibliographie.....</b>	<b>111</b>
<b>Annexe .....</b>	<b>i</b>

# Liste des tableaux

## Introduction

Tableau 1. Définitions des termes couramment utilisés dans l'étude de la moralité.....11

## Article 1

Table 1. Brief description of So-Moral coding and examples.....42

Table 2. Characteristics of sample and outcome of the So-Moral.....43

## Article 2

Table 1. Characteristics of the Focal EBI patients and their scores on the So-Moral.....67

Table 2. Brief description of So-Moral coding and examples.....70

Table 3. Means (SD) and paired-sample t-tests comparing group means on main measures...72

Table 4. Distribution of participants according to MR maturity stage.....74

Table 5. Correlations between main variables in the Focal EBI group.....75

# Liste des figures

## Introduction

Figure 1. Modèle du traitement de l'information sociale simplifié de Crick et Dodge (1994) modifié par Lemerise & Arsenio (2000).....	4
Figure 2. Le Modèle d'intégration des habiletés sociocognitives (SOCIAL, Beauchamp & Anderson, 2010).....	6
Figure 3. Exemple des étapes nécessaires au développement de l'empathie (Happé, et al., 2017).....	8
Figure 4. Représentation schématique des régions qui contribuent au cerveau social (Beauchamp & Anderson, 2010).....	19

## Article 1

Figure 1. Exemple item from the SoMoral task – adolescent male version (Beauchamp, Dooley, & Anderson, 2013).....	41
Figure 2. Performance of girls and boys on the So-Moral task from 6 to 20 years.....	44
Figure 3. Age-related changes in moral reasoning from 6 to 20 years as assessed using the So-Moral task.....	45

## Article 2

Figure 1. Examples of focal lesions identified in study participants via magnetic resonance imaging.....	67
Figure 2. Exemple item from the So-Moral task.....	69
Figure 3. Regression lines and scatterplot of distribution of scores for MR maturity as assessed by the So-Moral for patients with focal EBI and controls across age.....	74

## Annexe

Figure 1. Technique de l'imagerie par résonance magnétique (IRM).....	viii
Figure 2. Croissance de la matière blanche (Giedd et al., 1999).....	x

Figure 3. Croissance de la matière grise (Lenroot et Giedd, 2006).....xiii

Figure 4. Représentation schématique des régions cérébrales contribuant au cerveau social (Beauchamp & Anderson, 2010).....xix

Figure 5. Patrons d'activation lors d'une tâche de perception faciale (Casey et al., 2008).....xx

Figure 6. Comparaison des patrons d'activation impliquant le réseau cérébral de la théorie de l'esprit entre des adultes et des adolescents (Burnett & Blakemore, 2009).....xxii

## **Liste des abréviations**

EBI : Early brain insult

LCF : Lésion cérébrale focale

MR : Moral reasoning

RM : Raisonnement moral

SNM : Système des neurones miroirs

TCC : Traumatismes crânio-cérébraux

TSA : Trouble du spectre de l'autisme

*À la mémoire de  
Stéphanie Labelle (1990-2014)*

## Remerciements

J'aimerais d'abord remercier ma directrice de recherche, Miriam Beauchamp. Merci de m'avoir fait confiance pour ce projet d'été en 2011. Ce fut le début d'une aventure des plus enrichissantes qui allait me permettre de me dépasser au plan personnel et d'apprendre les rudiments de la recherche auprès d'une mentore d'exception. Ta passion, ton intelligence, ta productivité et tes qualités humaines n'ont jamais cessé de me surprendre durant ces six dernières années. J'espère avoir la chance de poursuivre une collaboration au-delà de ma carrière d'étudiant.

Je remercie également l'équipe de neurochirurgie de l'Hôpital Ste-Justine, notamment Dr. Louis Crevier, Dr. Alexandre Weil et Lior Elkaim pour leur précieuse collaboration à la réalisation de ce projet et l'obtention des données d'imagerie. Un merci tout spécial à Émilie Nouvel et Maude Beaulieu-Lahaie pour les efforts de recrutement et l'intérêt démontré à l'égard du projet.

Je remercie l'ensemble des familles rencontrées durant ma thèse, certaines m'ayant même ouvert la porte de leur domicile le temps d'une évaluation. Malgré la charge des rendez-vous médicaux pour certains ou encore le fait de revenir sur des moments plus difficiles, c'est grâce à votre ouverture que ce projet a pu voir le jour. Merci à ces enfants d'avoir accepté de participer, merci pour votre belle curiosité et tout votre courage. Vous êtes une grande source d'inspiration pour moi et me poussez à vouloir continuer à faire une différence à vos côtés.

Merci à tous les membres de la merveilleuse équipe du Laboratoire ABCs. Tout particulièrement Evelyn et Anne ; mes chères complices de l'équipe So-Moral qui ont su enrichir ma compréhension théorique durant tout le doctorat. Nos séances de testing aux quatre coins du Québec sont des souvenirs que je vais chérir pour longtemps. Merci à Hélène Audrit pour la relecture attentive de la thèse et Élizabel Leblanc pour l'aide précieuse à la saisie de données.

Merci à la cohorte Neuropsych 2012-2017 auprès de qui j'ai pu bâtir de belles amitiés qui, je l'espère, sauront être à l'épreuve du temps. Je ne pouvais espérer côtoyer un meilleur groupe pour passer les cinq années les plus importantes de mon parcours universitaire.

Merci à mes superviseuses cliniques à Sacré-Cœur, Dre. Hélène Roy et Dre. Nadia Lessard. Merci de m'avoir transmis votre passion pour la neuropsychologie, mais aussi d'avoir eu une ouverture pour que j'intègre, humblement, mon bagage acquis en cognition sociale à la compréhension clinique des cas rencontrés. Ce fut un merveilleux tremplin pour concilier la recherche et la clinique.

Merci à Dre. Stéphanie Sylvain-Roy et Dre. Sylvie Daigneault, mes superviseuses d'internats à l'Hôpital Montréal pour Enfants pour vos encouragements et votre souplesse dans les derniers milles de la thèse. Grâce à vous, j'ai eu la chance d'échanger mon chapeau d'étudiant-chercheur pour celui de clinicien auprès d'enfants avec une atteinte neurologique. Ce fut six mois de précieux apprentissages dans la plus belle atmosphère de travail qui soit.

Enfin, je n'aurais pu accomplir tout ce travail sans le soutien de ma famille. Merci papa et maman pour vos encouragements perpétuels et votre soutien dans la poursuite de mes aspirations. Merci de me démontrer chaque jour votre fierté. Enfin, merci à la femme de ma vie, Vicky, d'avoir été présente à mes côtés depuis le tout début. Les mots sont insuffisants pour te remercier de tout ton amour et ton support inconditionnel.

## Introduction

L'introduction par Alfred Binet des mesures objectives et standardisées d'intelligence au début du 20<sup>ème</sup> siècle a posé les jalons de l'évaluation neuropsychologique en offrant une description plus précise du fonctionnement cognitif normal et altéré (Boake, 2002; Stuss & Levine, 2002). À ce jour, l'évaluation de la cognition demeure l'apanage des neuropsychologues, comme en témoigne l'abondance d'outils standardisés disponibles à travers les différents domaines cognitifs. Toutefois, l'identification récente des régions cérébrales impliquées dans le fonctionnement social et la reconnaissance d'atteintes sociocognitives au sein de plusieurs troubles neurodéveloppementaux, neurologiques et pédopsychiatriques soulignent la pertinence d'élargir le champ d'évaluation et d'inclure des mesures de cognition sociale en neuropsychologie (Henry, von Hippel, Molenberghs, Lee, & Sachdev, 2016). Cette importance est maintenant formellement reconnue dans la cinquième édition du DSM (Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders) qui inclut la cognition sociale en tant qu'un des six domaines neurocognitifs principaux à considérer dans le diagnostic. La cognition sociale réfère aux habiletés permettant à l'individu de percevoir, interpréter et comprendre l'information sociale et de générer des réponses sociales. Il existe plusieurs sous-composantes à la cognition sociale. Ces habiletés dites « sociocognitives » vont de simples (ex. : reconnaissance des émotions faciales) à complexes (ex. : attribution d'états mentaux à autrui) et se développent tout au long de l'enfance et de l'adolescence (Beauchamp & Anderson, 2010). Parmi celles-ci figure le raisonnement moral (RM), une habileté complexe de haute importance pour le développement de relations sociales harmonieuses et le maintien de l'ordre social. Des déficits au niveau du RM ont d'ailleurs été associés à une recrudescence de comportements sociaux mésadaptés (Chudzik, 2007; Nelson, Smith, & Dodd, 1990; Raaijmakers, Engels, & Van Hoof, 2005; Stams et al., 2006) ce qui appuie son importance dans l'établissement de la compétence sociale, et ont aussi été identifiés chez des adultes avec des lésions cérébrales diffuses et/ou focales (Ciaramelli, Braghittoni, & di Pellegrino, 2012; Eslinger, Flaherty-Craig, & Benton, 2004; Martins, Faisca, Esteves, Muresan, & Reis, 2012). Nous en savons toutefois peu sur la façon dont le RM est affecté par une atteinte cérébrale en bas âge, de même que sur les liens existants avec les autres fonctions

sociocognitives. De plus, la plupart des études s'étant intéressées au développement du RM l'ont fait au sein d'une petite fenêtre développementale, ne permettant pas un aperçu global des changements à tous les âges et négligeant souvent la période de l'enfance (6-12 ans). L'une des raisons expliquant ces lacunes au sein de la littérature est l'absence d'outils de RM écologiques, sensibles aux conditions cliniques, robustes au niveau psychométrique et conçus à la fois pour les enfants et les adolescents. Afin de remédier à ce constat, un outil novateur a été utilisé dans ce projet de recherche, le Socio-Moral Reasoning Aptitude Level (So-Moral) (Beauchamp, Dooley, & Anderson, 2013; Chiasson, Vera-Estay, Lalonde, Dooley, & Beauchamp, 2017; Dooley, Beauchamp, & Anderson, 2010). Celui-ci offre une mesure de la prise de décision et du RM des enfants et des adolescents. Les objectifs principaux de cette thèse sont donc 1) d'investiguer les changements liés à l'âge dans le RM durant l'enfance et l'adolescence afin d'identifier les périodes sensibles de maturation et 2) d'évaluer la cognition sociale (RM, prise de décision morale et empathie) et le fonctionnement sociocomportemental chez des enfants ayant subi une lésion cérébrale focale durant le développement. Le projet, par le fait même, visait à démontrer la sensibilité du So-Moral à détecter des différences en fonction de l'âge et de l'intégrité cérébrale.

Dans l'introduction qui suit, un aperçu des modèles de la compétence sociale sera d'abord présenté avant de discuter des aspects théoriques et développementaux en lien avec la cognition sociale et tout particulièrement le RM. Les conséquences d'une lésion cérébrale focale seront ensuite abordées avec un intérêt pour la sphère sociale. Enfin, des considérations méthodologiques en lien avec l'évaluation de la cognition sociale seront exposées suivies des objectifs et hypothèses de la thèse. Suite à l'introduction, deux études seront présentées en tant qu'articles scientifiques publiés et leurs résultats feront l'objet d'une discussion au sujet des considérations théoriques, neurodéveloppementales, méthodologiques et cliniques à l'issue du projet.

# Contexte théorique

## 1. Compétence sociale

Le développement de la compétence sociale émerge dès les premières interactions du nourrisson et continue à se raffiner tout au long de la vie, permettant une adaptation sociale adéquate. La compétence sociale réfère au niveau d'habileté qu'un individu possède lorsqu'il doit engager des processus sociocognitifs et démontrer des comportements sociaux (Beauchamp & Anderson, 2010; Iarocci, Yager, & Elfers, 2007). Être compétent socialement implique, notamment, de partager les sentiments d'autrui, comprendre leurs états mentaux et intégrer les règles et les codes sociaux de façon à participer positivement au sein de la société et prendre des décisions morales appropriées (Semrud-Clikeman, 2007). Tout au long de la vie, un fonctionnement social adéquat est associé à plusieurs conséquences favorables telles que le succès dans les relations interpersonnelles (Steinberg, 2008a), un plus haut taux de réussite scolaire (Buhs & Ladd, 2001; Romano, Babchishin, Pagani, & Kohen, 2010), une meilleure estime de soi (Frankel & Myatt, 1996; Jamison & Schuttler, 2015) et une meilleure santé mentale (Clausen, 1991; Spitzberg, 2003), offrant du même coup une qualité de vie accrue aux individus faisant preuve de bonnes habiletés sociales (Szemere & Jokeit, 2015). La compétence sociale agit également en tant que facteur de protection lorsque les enfants expérimentent des périodes de stress en aidant à promouvoir un ajustement psychologique positif face aux demandes contextuelles (Clarke, 2006; Masten et al., 1999; Reijntjes, Stegge, & Terwogt, 2006). Par contraste, une plus faible compétence sociale est un facteur de risque pour des issues négatives telles que les idéations suicidaires (King et al., 2001), le rejet des pairs (Newcomb, Bukowski, & Pattee, 1993), ainsi que les problèmes de comportement internalisés (ex. : dépression) et externalisés (ex. : agressivité, comportements déviants) (Bornstein, Hahn, & Haynes, 2010; Burt, Obradovic, Long, & Masten, 2008; Fine, Izard, Mostow, Trentacosta, & Ackerman, 2003).

Plusieurs facteurs peuvent influencer la compétence sociale d'un individu. Pour mieux comprendre la variabilité individuelle associée au développement social typique et atypique, il est utile de se référer à des modèles théoriques du fonctionnement social. Par exemple, le modèle du traitement de l'information sociale (Social Information Processing (SIP) Model)

mis de l'avant par Crick and Dodge (1994) est prépondérant afin d'interpréter les comportements mésadaptés (ex. : agressivité) ou immoraux en lien avec les habiletés de cognition sociale. Selon ce modèle une réponse sociale mésadaptée serait donnée suite à des difficultés à l'une ou plusieurs des cinq étapes du traitement de l'information sociale : 1) encodage des indices sociaux; 2) interprétation des indices; 3) clarification du but; 4) accès à une réponse comportementale; et 5) production du comportement sélectionné. À l'opposé, un traitement adéquat à chaque étape du processus mènerait à des comportements socialement compétents.

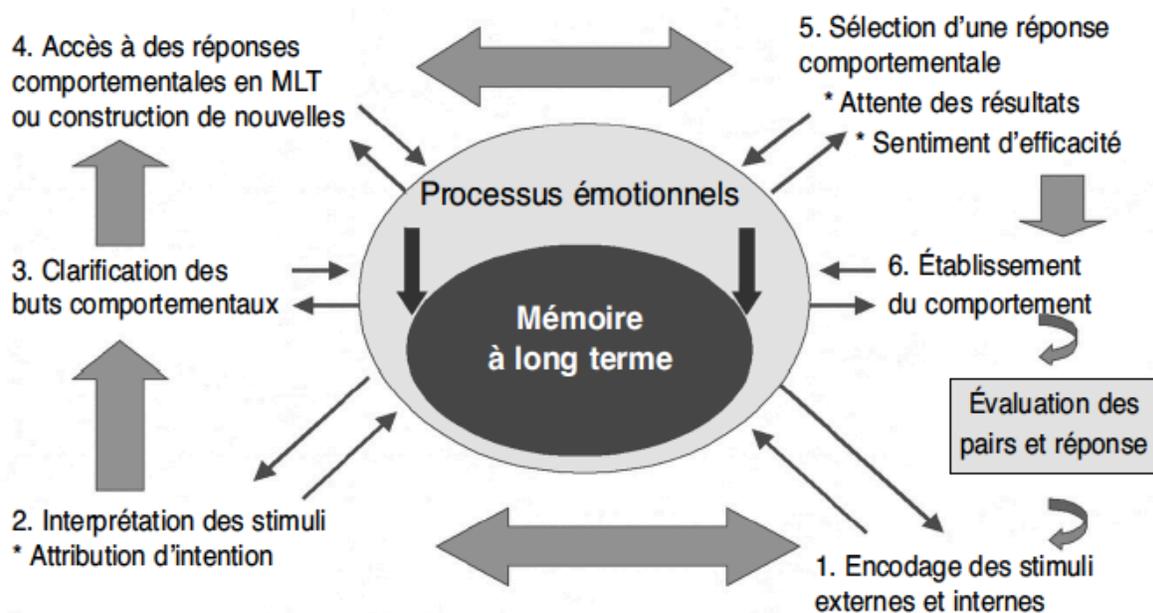


Figure 1. Modèle du traitement de l'information sociale simplifié de Crick et Dodge (1994) modifié par Lemerise & Arsenio (2000).

Une révision du modèle SIP a été proposée par Lemerise and Arsenio (2000) afin d'y intégrer les processus émotionnels à la prise de décision sociale. Ce modèle révisé décrit en six étapes la façon avec laquelle l'enfant traite une situation sociale en commençant par l'encodage des stimuli externes et internes jusqu'à l'établissement du comportement sélectionné (voir Figure 1). Toutes ces étapes se font en rétroaction constante avec les processus émotionnels (tempérament, humeur et régulation des émotions) et le contenu de la mémoire à long terme (règles acquises, connaissances sociales et schémas de raisonnement). Un traitement adéquat de l'information à chacune de ces étapes relève de l'intégrité de

plusieurs fonctions neuropsychologiques (attention, fonctions exécutives et cognition sociale) et conduit ultimement à l'adoption d'un comportement relevant d'une bonne compétence sociale (Lemerise & Arsenio, 2000). Les avantages des modèles du traitement de l'information sociale sont de mettre en correspondance comportement et cognition sociale (Huré, Fontaine, & Kubiszewski, 2015) et d'offrir la possibilité d'identifier le ou les stades du traitement de l'information faisant défaut et d'orienter les interventions en conséquence (Beauchamp & Anderson, 2010). Ces modèles demeurent toutefois essentiellement théoriques étant donné l'absence de schèmes d'évaluation pour les différentes étapes et n'ont pas été appliqués à des populations présentant une atteinte neurobiologique.

En revanche, des modèles plus récents ont combiné les approches en psychologie développementale (Parker, Rubin, Erath, Wojlawowicz, & Buskirk, 2006; Rubin, Bukowski, & Parker, 2006) et en neurosciences sociales (Cacioppo, Berntson, Sheridan, & McClintock, 2000; Oschner & Lieberman, 2001) afin d'offrir un cadre d'études pour l'origine des dysfonctions sociales au sein des populations cliniques. C'est le cas du « Modèle intégrateur de la compétence sociale des enfants avec lésions cérébrales » proposé par Yeates et al. (2007). Ce dernier met l'emphase sur les déficits sociaux associés à une lésion cérébrale acquise et suggère que les habiletés sociales sont modulées par des processus socioaffectifs (fonctions exécutives dites « chaudes ») et des processus cognitivo-exécutifs (fonctions exécutives dites « froides ») sous-tendus par un réseau cérébral spécifique (« cerveau social »). Ce modèle demeure toutefois plus difficile à généraliser étant donné qu'il a été conçu spécifiquement pour l'étude des populations avec atteintes cérébrales et qu'il ne permet pas de rendre compte de l'influence des facteurs socioculturels et internes (tempérament et génétique) propres à l'individu.

Le besoin d'un modèle intégré, multidimensionnel et applicable à un large éventail de populations a donné naissance au modèle d'intégration d'habiletés sociocognitives (SOCIAL) proposé par Beauchamp and Anderson (2010). Celui-ci s'inscrit dans un cadre bio-psycho-social et postule que le développement de la compétence sociale peut être compris à partir de l'interaction des dimensions biologiques, cognitives, socioémotionnelles, communicatives et environnementales durant le développement (voir Figure 2). Ancré dans la recherche empirique et basé sur des principes cliniques, le modèle SOCIAL permet d'apprécier la

complexité des facteurs qui agissent comme médiateurs de la compétence sociale de l'enfant. La première classe de médiateurs inclut les facteurs internes (ex. : la personnalité, le tempérament et les caractéristiques physiques) et externes (ex. : le fonctionnement familial, le niveau socioéconomique et la culture). L'autre médiateur principal est le développement cérébral dont l'intégrité s'avère crucial pour la maturation des fonctions cognitives nécessaires à un fonctionnement social adéquat (ex. : fonctions exécutives, communication, cognition sociale). Une atteinte au développement cérébral peut être le résultat de plusieurs mécanismes pathophysiologiques tels qu'un trouble neurodéveloppemental, un désordre génétique, des expériences traumatiques, une condition psychiatrique ou des processus dégénératifs. L'applicabilité du modèle SOCIAL et l'interaction entre ses différentes composantes ont d'ailleurs été illustrées via différents modèles cliniques reconnus pour être associés à des atteintes au niveau de la cognition sociale (Trouble du spectre de l'autisme (TSA), schizophrénie et traumatisme cranio-cérébral) (Beauchamp & Anderson, 2010).

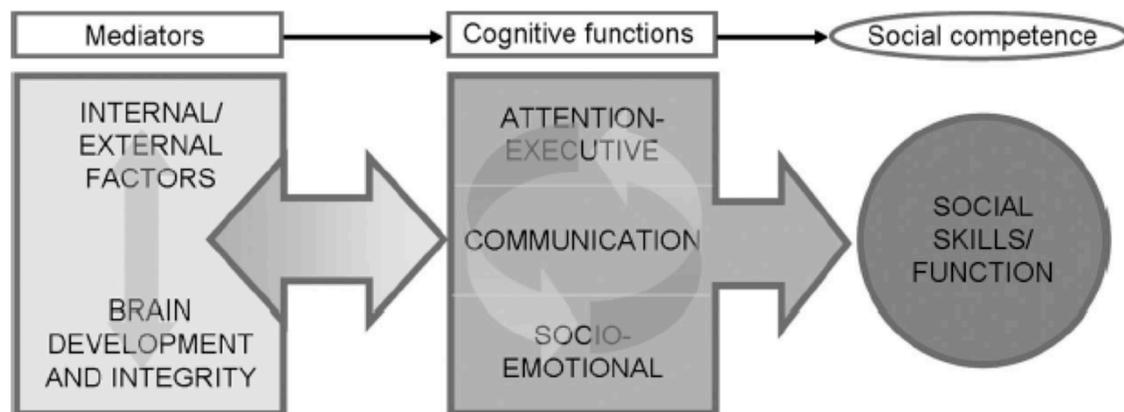


Figure 2. Le Modèle d'intégration des habiletés sociocognitives (SOCIAL, Beauchamp & Anderson, 2010)

## 2. Cognition sociale

Le terme cognition sociale regroupe l'ensemble des processus mentaux et des capacités cognitives qui permettent de percevoir et traiter l'information sociale et d'interagir dans le monde social (Happé & Conway, 2016; Scourfield, Martin, Lewis, & McGuffin, 1999; Sharp, Fonagy, & Goodyer, 2008). Parmi celles-ci, nous retrouvons, notamment, la reconnaissance

émotionnelle, l'empathie, la théorie de l'esprit et le RM. La cognition sociale représente un niveau d'analyse différent des autres aspects de la cognition dite « non-sociale » bien qu'elle présente certains parallèles (Ostrom, 1984; Penn, Corrigan, Bentall, Racenstein, & Newman, 1997). En guise d'illustration, lorsque l'individu interagit avec l'environnement il est reconnu dans la tradition cognitiviste que cela débute par l'input sensoriel. Par exemple, les sensations (ex. : lumière à une longueur d'ondes spécifique) sont détectées par nos organes sensoriels, dans le cas présent les yeux, et transformées en perception (ex. : la couleur d'un fruit) sur la base de nos connaissances préalables et du contexte. Ensuite, une décision est prise en réponse à ces perceptions (ex. : le fruit-il est mûr? peut-il être mangé?). Enfin une action est planifiée et l'output est généré sous la forme d'un mouvement moteur (ex. : prendre le fruit). Il en va de même pour nos actions en situation sociale qui répondent à ce modèle de stimulus-réponse, mais à un niveau de complexité largement supérieur (Frith, 2008). Des processus s'occupent de percevoir les stimuli sociaux (ex. : lire les expressions faciales), de réfléchir à la décision sociale (ex. : devrais-je aider cette personne? qu'est-ce qu'elle attend de moi?) et de générer une réponse sociale (ex. : venir en aide à la personne). Comparé aux objets, l'humain est un agent causal et donc une cible complexe de cognition; il s'ajuste en étant perçu, suscite des émotions et nécessite l'inférence de plusieurs attributs importants (Fiske & Taylor, 2013; Penn, et al., 1997). C'est en grande partie grâce aux habiletés sociocognitives que l'individu parvient à naviguer dans ce monde complexe et entretenir des rapports sociaux harmonieux.

Bien que l'humain vienne au monde avec la propension à s'engager au sein d'interactions sociales, il ne naît pas avec un ensemble complet de connaissances concernant les mouvements, les actions, les buts et les intentions des agents sociaux qui l'entourent. C'est pourquoi il est suggéré qu'une hiérarchie fonctionnelle sous-tend le développement de la cognition sociale allant des fonctions de base (ex. : attention conjointe, soit le partage d'une information avec autrui via le regard) à des processus complexes de plus haut niveau tels que le RM (Beauchamp & Anderson, 2010). La figure 3 montre un exemple de ce développement en étapes en illustrant que l'acquisition des capacités empathiques est rendue possible par des précurseurs sociocognitifs tels que le traitement du visage et la reconnaissance des émotions (Happé, Cook, & Bird, 2017). Le développement d'un fonctionnement social harmonieux repose ainsi sur des fonctions sociocognitives bien actualisées qui émergent à différents stades

de l'enfance et de l'adolescence et qui continuent à évoluer à l'âge adulte en parallèle avec la maturation cérébrale et l'expérience sociale (Decety & Howard, 2013).

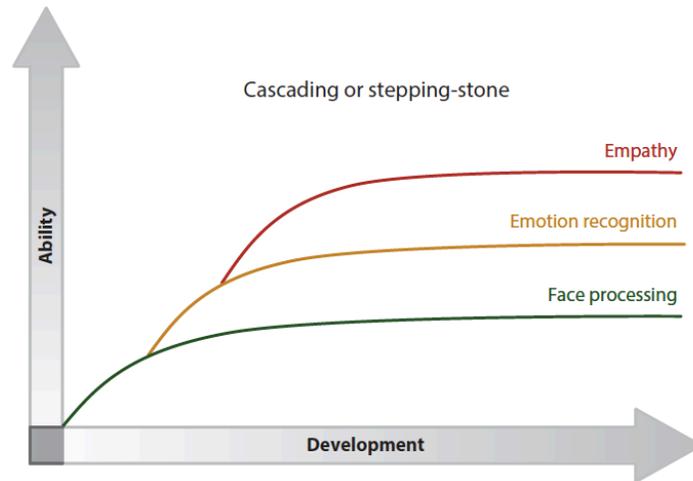


Figure 3. Exemple des étapes nécessaires au développement de l'empathie (Happé, et al., 2017)

Étant donné la complexité du monde social, il n'est pas surprenant qu'il existe une vaste étendue de processus cognitifs impliqués dans le traitement de l'information sociale et que ceux-ci recrutent un réseau étendu de régions cérébrales (voir section 4). Il n'existe toutefois pas à ce jour une taxonomie consensuelle en ce qui a trait aux différentes sous-composantes de la cognition sociale et leurs interactions (Happé, et al., 2017). Des efforts sont néanmoins en cours afin d'uniformiser le vocabulaire, dresser la structure factorielle de la cognition sociale et du même coup favoriser son application clinique. Reconnaisant la prévalence élevée des atteintes sociocognitives au sein des troubles neuropsychiatriques, neurodéveloppementaux et neurodégénératifs, Henry, et al. (2016) identifient quatre aspects principaux de la cognition sociale qu'ils recommandent d'incorporer à l'évaluation neuropsychologique : la théorie de l'esprit, l'empathie, la perception sociale et le comportement social. Happé & Frith (2014) proposent pour leur part une ébauche d'une carte conceptuelle des différentes fonctions sociocognitives et leurs interrelations. Elles identifient neuf fonctions centrales, considérées comme des nœuds principaux au sein du schéma, parmi lesquelles figurent le traitement des émotions (ex.: visages), l'empathie et la théorie de l'esprit. Ces habiletés contribuent de manière critique au développement de la compétence sociale

(Ketelaar, Rieffe, Wiefferink, & Frijns, 2013; Trentacosta & Fine, 2010; Weightman, Air, & Baune, 2014) et sont celles ayant reçu jusqu'à maintenant le plus d'attention dans la recherche en cognition sociale (Weightman, et al., 2014).

*Traitement des émotions* : La reconnaissance des émotions est une habileté cruciale en contexte social qui intègre de façon multimodale plusieurs indices tels que la voix, la prosodie, les gestes, la posture et les expressions faciales. En guise d'exemple, dès son jeune âge l'enfant est attiré par les visages (Johnson, Dziurawiec, Ellis, & Morton, 1991), ceux-ci permettant d'extraire de nombreuses informations cruciales pour interagir socialement et bien interpréter les situations telles que l'identité, les intentions, les émotions et la direction du regard d'autrui (Calder & Young, 2005; Hassin & Trope, 2000; Smith, Cottrell, Gosselin, & Schyns, 2005; Todorov, Baron, & Oosterhof, 2008; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Cette habileté se développe rapidement entre la naissance de l'enfant et la petite enfance (Herba, Landau, Russell, Ecker, & Phillips, 2006) et continue à se raffiner durant l'enfance, l'adolescence et même à l'âge adulte (Durand, Gallay, Seigneuric, Robichon, & Baudouin, 2007; Thomas, De Bellis, Graham, & LaBar, 2007). Une dysfonction du traitement des expressions faciales a été associée à plusieurs désordres psychologiques, notamment le TSA (Baron-Cohen, Golan, & Ashwin, 2009; Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002) et la psychopathie (Bowen, Morgan, Moore, & van Goozen, 2014; M. E. Hastings, Tangney, & Stuewig, 2008).

*Empathie* : L'empathie est l'habileté à reconnaître et partager les émotions d'autrui tout en les distinguant de nos propres émotions (Davis, 1983; Eisenberg & Eggum, 2009; Shamay-Tsoory, 2011). L'empathie comprend une composante cognitive et affective. La composante cognitive renvoie à la capacité à reconnaître et comprendre ce que l'autre ressent alors que la composante affective se définit comme l'expérience de partage des émotions d'autrui (Uzefovsky & Knafo-Noam, 2017). Ces deux composantes engageraient des réseaux neuronaux différents (de Vignemont & Singer, 2006; Decety & Jackson, 2004; Vollm et al., 2006) et joueraient un rôle critique dans le développement de la moralité étant donné le chevauchement entre les régions cérébrales impliquées dans les émotions et dans le RM (Decety & Cowell, 2014; Decety & Howard, 2013). Martin Hoffman, un influent théoricien de l'empathie, suggère que l'empathie se développe en parallèle avec les fonctions cognitives

(Hoffman, 2000). Son développement emprunterait une trajectoire allant de purement émotionnelle à cognitivement contrôlée, donc d'une réponse automatique et intuitive à des processus complexes d'auto-régulation et de contrôle ascendant du traitement de l'information. Sa théorie décrit cinq stades du développement de l'empathie au sein desquels la différenciation entre soi-même et autrui est le moteur d'évolution durant l'enfance. Pour Hoffman (2000) l'empathie est la pierre d'assise des comportements prosociaux et moraux en nous liant émotionnellement à l'expérience subjective d'autrui.

*Théorie de l'esprit* : La théorie de l'esprit est la capacité d'attribuer des états mentaux à autrui (Frith & Frith, 2006). Contrairement à l'empathie cognitive qui se consacre spécifiquement à l'attribution des *émotions* chez l'autre, la théorie de l'esprit comprend de façon plus large l'inférence des croyances, intentions, désirs et émotions d'autrui. La théorie de l'esprit possède une forte base développementale. Elle émerge durant la période préscolaire et continue à se développer tout au long de l'enfance et l'adolescence (Brune & Brune-Cohrs, 2006; Kilford, Garrett, & Blakemore, 2016). Autour de l'âge de six ans, les enfants ont typiquement acquis le sens que d'autres individus puissent avoir des sentiments ou des pensées différents des leurs (Rieffe, Terwogt, & Cowan, 2005; Rieffe, Terwogt, Koops, Stegge, & Oomen, 2001). L'un des aspects les plus représentatifs de cette étape est la capacité de comprendre que nos croyances sur la réalité (et celles des autres) peuvent être erronées, ce qu'est appelée une « fausse croyance » (Wellman, Cross, & Watson, 2001). En parallèle avec le développement cognitif, l'enfant progresse jusqu'à l'adolescence au travers des niveaux de représentations mentales de la théorie de l'esprit (de 1<sup>er</sup> à 3<sup>ème</sup> ordre) reflétant l'augmentation de la complexité des relations sociales (Pons, Lawson, Harris, & de Rosnay, 2003; Wellman & Liu, 2004).

En somme, au cours du développement de l'enfant, différentes capacités sociocognitives émergent, se complexifient et s'intègrent de manière plus synchronisée au traitement de l'information sociale, facilitant la production de comportements sociaux et moraux appropriés. À ce propos, la carte conceptuelle de Happé & Frith (2014) illustre que l'empathie et la théorie de l'esprit sont liées à la moralité en permettant l'extraction d'informations cruciales au sujet des intentions, des motivations et des émotions d'autrui, tous des aspects clés dans l'élaboration d'un RM mature (Baird & Astington, 2004; Vera-Estay,

Seni, Champagne, & Beauchamp, 2016). Le RM fera d'ailleurs l'objet d'une présentation détaillée dans les prochaines sections, car il constitue la principale variable à l'étude dans cette thèse.

### 3. La moralité

#### *Définitions et évolution théorique*

Les dernières décennies ont été marquées par une expansion de la recherche sur la moralité. Autrefois un domaine exclusif à la philosophie, il s'agit aujourd'hui d'un champ d'études abordé par une diversité de disciplines telles que la psychologie, les neurosciences, l'économie et l'éducation. Cette expansion a pavé la voie à un élargissement des perspectives théoriques et méthodologiques afin d'aborder les différentes composantes du fonctionnement moral. Il en résulte que le champ d'études de la moralité regorge de termes, certains interchangeable alors que d'autres reflètent des différences plus subtiles ou des cadres théoriques spécifiques (Christensen & Gomila, 2012). Le tableau 1 présente une liste des termes communément rencontrés dans la littérature et leur définition. Afin d'éviter toute confusion terminologique, soulignons d'emblée que les variables à l'étude dans cette thèse seront le RM, principalement, et la prise de décision morale.

Tableau 1. Définitions des termes couramment utilisés dans l'étude de la moralité

Terme	Définition	Références
Cognition morale	Étude des processus cognitifs qui sous-tendent la moralité	(Casebeer, 2003)
Comportement moral	Comportement qui se conforme aux attentes et aux standards moraux personnels et/ou partagés par une communauté	(Reynolds & Ceranic, 2007)
Émotions morales	Émotions qui sont liées aux intérêts et au mieux-être de la société ou d'autrui	(Haidt, 2003)
Identité morale	Degré auquel être une personne morale est important pour l'identité d'un individu	(Hardy & Carlo, 2011)
Jugement moral	Type de jugement basé sur une évaluation de l'adéquation de son comportement ou celui d'autrui par rapport aux idées véhiculées par la société du bien et du mal	(Moll, Zahn, de Oliveira-Souza, Krueger, & Grafman, 2005)
Prise de décision morale	<b>Habilité à choisir une action parmi des alternatives au sein d'un système de normes et de valeurs</b>	<b>(Reniers et al., 2012)</b>

<b>Raisonnement moral</b>	<b>Mécanismes cognitifs par lesquels une prise de décision morale est atteinte</b>	<b>(Gibbs, 1991b)</b>
Valeurs morales	Concepts et attitudes ancrés dans la culture qui guident les préférences et les standards personnels et sociaux	(Edwards, 1987)

Durant des siècles, l'étude de la moralité fut l'apanage de la philosophie, donnant lieu à trois grandes théories au sein de la tradition occidentale, soit la théorie des vertus, l'utilitarisme et la déontologie (Casebeer, 2003). Chacune à leur façon, ces théories ont tenté d'expliquer comment l'être humain distinguait le bien et le mal et ce qui déterminait une action moralement correcte. Les principaux courants en psychologie au début du 20<sup>ème</sup> siècle n'ont abordé que partiellement la moralité. Pour les behavioristes, le comportement moral était un ensemble d'apprentissages dérivé du processus de socialisation et asservi aux lois du conditionnement opérant (Skinner, 1971). Pour les psychanalystes, le jugement moral était essentiellement issu de la résolution d'un conflit entre des motivations et des désirs inconscients (le « ça ») et notre conscience morale (le « surmoi ») (Freud, 1960; Haidt, 2001). Avec la révolution cognitive au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, l'étude de la moralité trouve sa place au sein des théories centrées sur le traitement de l'information et la cognition permettant une perspective nouvelle orientée sur l'analyse des opérations mentales sous-jacentes au RM. Les psychologues cognitivistes postulent que la moralité est basée sur le raisonnement et se développe avec la maturation des fonctions cognitives et les opportunités de socialisation (Kohlberg, 1969; Piaget, 1932; Turiel, 1983). D'autres, comme Bandura (1991) dans sa théorie d'apprentissage sociale, mettent davantage l'emphase sur l'importance du renforcement de l'adulte et l'imitation. Les travaux dans la lignée cognitivo-développementale de Piaget (1932) et Kohlberg (1976) constituent une étape importante dans l'étude de la moralité en proposant un modèle de développement du RM par stades allant d'une moralité basé sur la peur des conséquences à une moralité basé sur l'internalisation d'un système de valeurs sociétales (voir plus bas pour une présentation des niveaux de RM). Ce modèle pionnier a inspiré la majorité des recherches subséquentes sur le développement du RM, lesquelles ont apporté des modifications ou redéfinitions à la théorie originale et, dans certains cas, donné naissance à de nouvelles conceptions théoriques.

Parmi ces conceptions nouvelles, soulignons l'apport théorique de Gilligan (1982) qui fait état d'un biais de genre dans la théorie initiale de Kohlberg et remet en question la prépondérance des idéaux de justice et d'équité par rapport aux valeurs prosociales plus typiquement féminines. Les réflexions issues de cette position dissidente ont contribué à l'élaboration de concepts nouveaux tels que la théorie de justice distributive de Damon (1975), le RM prosocial, proposé par Eisenberg (1986), associé aux motivations et comportements altruistes, et le modèle des quatre composantes de Rest (1979), selon lequel l'occurrence d'une prise de décision morale est influencée par la sensibilité éthique, la motivation morale, le caractère moral et le jugement moral. La théorie des domaines sociaux (*Social Domain Theory*) de Turiel (1983) permet pour sa part de mieux comprendre certaines irrégularités observées dans le modèle développemental du RM par stades de Kohlberg. Dans leurs travaux, Nucci and Turiel (1978) démontrent que l'enfant peut différencier en bas âge les transgressions morales des conventions sociales et donc qu'il ne s'agit pas d'une caractéristique exclusive aux stades supérieurs de RM. Au lieu de stades universels du RM, ils proposent l'existence de trois domaines de connaissance : 1) la moralité; 2) les conventions sociales; 3) le domaine psychologique qui suivent des voies de développement parallèles plutôt qu'une seule. Le domaine moral serait centré autour des considérations de nos actions sur le bien-être d'un autre individu à la lueur des concepts de justice, d'équité et des droits. Les conventions sociales offrirait aux individus des attentes en ce qui a trait aux comportements appropriés dans différents contextes sociaux et faciliterait un fonctionnement efficace du système social (Smetana, 2013). Enfin, le domaine psychologique concernerait la compréhension qu'un individu a d'une autre personne et de soi-même en tant que système psychologique avec une personnalité, une identité et des préférences (Nucci, 2001).

Plus récemment, les approches théoriques ont positionné le RM au sein d'un cadre élargi sous la prémisse que la prise de décision morale serait influencée par bien d'autres facteurs que seul le RM. C'est pourquoi une nouvelle approche centrée sur l'influence des émotions sur la moralité a pris de l'ampleur dans les dernières années donnant naissance à l'hypothèse des marqueurs somatiques de A. R. Damasio (1996) et le modèle intuitionniste social de Haidt (2001). Selon la théorie de Haidt (2001), le cerveau humain aurait deux voies d'accès vers une prise de décision morale, soit un système rapide, instinctif, hautement

automatisé et phylogénétiquement adapté permettant de réagir émotionnellement face aux situations moralement conflictuelles ainsi qu'un système plus lent, conscient, verbal et évolué permettant une analyse rationnelle des conflits moraux. Les études en neuroimagerie appuient l'apport conjugué des composantes affective et cognitive dans la prise de décision morale (Fumagalli & Priori, 2012; Moll, de Oliveira-Souza, & Eslinger, 2003; Prehn et al., 2008; Sommer et al., 2010; Youssef et al., 2012). L'étude du RM, tel qu'effectué dans ce projet de recherche, se concentre davantage sur ce second système dit cognitif et rationnel sans toutefois nier l'importance de la composante émotionnelle et l'apport d'autres facteurs dans la prise de décision morale. Gibbs (2006) soutient d'ailleurs que, même lors des décisions plus instinctives et émotionnelles, les schémas de raisonnement peuvent être activés de façon automatique, surtout lorsque nous avons été exposés à la situation préalablement ou avons considéré suffisamment un enjeu moral (ex. : situation d'injustice).

### ***Développement du raisonnement moral***

Le RM réfère aux mécanismes de la pensée à partir duquel l'être humain analyse et évalue les situations sociales afin d'établir un jugement moral et réguler son comportement (Gibbs, 2013; Moll et al., 2005). Ayant ainsi défini le RM en tant que processus cognitif et généralement conscient, il est pertinent de s'intéresser à la façon dont celui-ci évolue durant la période développementale. Alors que quelques études se sont intéressées au développement du RM sur la base de l'utilisation de domaines ou catégories spécifiques (Nucci & Turiel, 2009; Turiel, 1983), plusieurs s'inscrivent dans une approche cognitivo-développementale en employant des niveaux hiérarchiques de RM permettant ainsi d'apprécier l'évolution en fonction de l'âge. Piaget (1932) fut le premier à suggérer un modèle de développement du RM qu'il a divisé en deux stades, soit la moralité hétéronome généralement observée entre 4 et 7 ans et la moralité autonome de 7 à 12 ans. Dans le premier stade, l'enfant perçoit les règles comme inflexibles, immuables et imposées par une autorité alors que dans le second l'enfant est en mesure de s'assouplir et d'intégrer le point de vue d'autrui. Kohlberg (1984) a par la suite repris la théorie piagétienne en proposant un modèle développemental plus étendu du RM pouvant s'appliquer aux adolescents et aux adultes et en mettant l'emphase sur l'importance du processus de socialisation dans la construction d'un RM mature. En effet, l'interaction sociale est pour Kohlberg l'élément primordial dans l'acquisition des schémas de

RM plus complexes en rendant possible l'accès aux pensées et à la perspective d'autrui ainsi que la différenciation de son propre point de vue dans les situations quotidiennes de coopération, de négociation et de résolution des conflits (Greene & Haidt, 2002; Mason & Gibbs, 1993; Schonert-Reichl, 1999). Selon la *théorie des six stades du raisonnement moral* de Kohlberg (1976), l'individu construit graduellement son RM en progressant à travers une séquence de trois niveaux de maturité invariables, chacun constitué de deux stades prédéfinis :

**Niveau préconventionnel :** La moralité est basée sur des principes hétéronomes et égocentriques. La régulation du comportement s'appuie sur l'obéissance aux règles imposées par les figures d'autorité et l'évitement des punitions (Stade 1) ou par la recherche d'échanges pragmatiques avec les autres afin d'obtenir des bénéfices personnels (Stade 2). Les études de Kohlberg montrent que ce premier niveau est généralement surpassé au début de l'adolescence.

**Niveau conventionnel :** À ce niveau, la personne développe la conscience qu'elle appartient à un groupe ou une communauté dans laquelle elle peut jouer plusieurs rôles (ami, élève, etc.) et accorde une importance accrue à la perspective d'autrui et aux attentes interpersonnelles. L'évaluation des comportements sociaux se base sur des principes moraux comme l'empathie, l'entraide et la protection (Stade 3). Cette perspective est par la suite élargie à la société plutôt qu'à l'entourage direct. La conduite de l'individu devient motivée par le respect des lois imposées par la société et la préoccupation du maintien du système social existant (Stade 4). Kohlberg affirme qu'un tel niveau de RM se consolide entre la fin de l'adolescence et l'âge adulte (Lehalle, Aris, Buelga, & Gonzalo, 2004).

**Niveau post-conventionnel :** Ce niveau de RM est caractérisé par une relativisation de la référence aux normes collectives. L'individu a construit son propre système de valeurs qui guide son comportement tout en ayant conscience des conventions sociales, de façon à faire preuve de flexibilité dans l'exercice de son RM. La prise de décision est ainsi basée sur le meilleur consensus entre les valeurs personnelles et les normes sociales (Stade 5). Les décisions peuvent aussi être orientées vers des principes librement choisis et un engagement envers des valeurs humaines universelles, et ce, même si elles ne sont pas en adéquation avec les normes sociales (Stade 6). Le niveau post-conventionnel n'a été observé qu'au sein d'une

minorité d'individus, ce qui est tributaire de la complexité du raisonnement qu'il met en jeu (Chen & Howitt, 2007; Lehalle, et al., 2004; Wainryb, 2004).

La théorie de Kohlberg constituait à l'époque un progrès remarquable quant à la compréhension du développement ontogénétique du RM en proposant l'existence d'une séquence de transformation des schémas de raisonnement à partir desquels les dilemmes moraux sont analysés. Au fil des années, l'apport des autres chercheurs dans le domaine a permis d'ajouter des nuances et des corrections à ce modèle afin d'offrir une compréhension plus intégrée du développement du RM sans toutefois nier sa pertinence.

Eisenberg and Mussen (1989) considèrent pour leur part que le modèle de Kohlberg manque de souplesse et suggèrent que le RM de l'enfant est peu prévisible puisqu'il peut raisonner à différents niveaux plutôt qu'un seul et qu'il ne fait pas que progresser invariablement à travers une séquence de stades. Ils soulignent, en guise d'exemple, une recrudescence des réponses égocentriques à l'adolescence. Plutôt que d'aborder la moralité sous l'angle de « briser ou non une règle », l'emphase est mise sur « aider quelqu'un dans le besoin ». C'est ainsi qu'Eisenberg développe son propre modèle de développement du RM *prosocial* qui est composé de cinq niveaux et qui accorde une place importante aux émotions morales (Eisenberg, 1986).

Gibbs, un chercheur néo-kohlbergien, conserve pour sa part l'idée générale d'un modèle développemental du RM par stades, mais y incorpore des éléments en lien avec la théorie du traitement de l'information sociale (Gibbs, 2013) et le développement de l'empathie (Hoffman, 2000). Sa « Théorie des stades sociomoraux » suggère que le RM progresse d'un niveau immature (stade 1 : centrations et stade 2 : échanges pragmatiques) vers un niveau mature (stade 3 : mutualités et stade 4 : systèmes). Le niveau immature (aussi appelé « superficiel ») est caractérisé par un RM issu d'une évaluation égocentrée des situations, l'enfant ayant tendance à se baser sur l'information la plus saillante (sa propre perspective) et à considérer les conséquences sur lui-même. Ce schéma de raisonnement est typique de l'enfance, période au cours de laquelle la capacité d'analyser plusieurs points de vue est encore rudimentaire. Lors de la transition vers l'adolescence, l'individu acquiert un RM de niveau mature en passant des schémas de raisonnement égocentré vers une prise de perspective morale qui tient compte des intérêts d'autrui et de l'ensemble de la société.

L'acquisition de cette capacité de décentration est rendue possible grâce au développement des fonctions cognitives supérieures (abstraction, fonctions exécutives, métacognition, etc.), à la maturation des régions cérébrales liées à la cognition sociale ainsi qu'à l'augmentation des rapports sociaux à l'extérieur du milieu familial (Blakemore & Choudhury, 2006; Choudhury, Blakemore, & Charman, 2006; Vera-Estay, Beauchamp, & Dooley, 2014). Les nombreux travaux de Gibbs ont également été parmi les premiers à démontrer un lien entre les niveaux inférieurs de RM et des comportements sociaux inappropriés, tels que la délinquance juvénile (Basinger, Gibbs, & Fuller, 1995; Gibbs, 1991a; Gibbs, Arnold, Ahlborn, & Cheesman, 1994). Des études subséquentes abondent dans le même sens en suggérant que des délais de RM chez les enfants neurotypiques peuvent mener à des comportements antisociaux et de l'agressivité et qu'un échec à se conformer aux normes morales est proéminent dans les comportements déviants qui mènent à la criminalité, la violence et la délinquance (Chudzik, 2007; Cohn, Bucolo, Rebellon, & Van Gundy, 2010; Raaijmakers, et al., 2005; Raine, 2002; Stadler, Rohrmann, Knopf, & Poustka, 2007; Stams, et al., 2006). Une méta-analyse a d'ailleurs démontré une forte association entre le RM et le récidivisme chez les populations juvéniles et adultes (Van Vugt et al., 2011).

### ***Données quantitatives du développement du RM***

En support à l'existence d'une trajectoire développementale du RM, quelques études se sont penchées sur l'influence de l'âge sur cette fonction. Un petit nombre d'études longitudinales appuie la séquence développementale de stades proposée par l'approche cognitivo-développementale (Colby, Kohlberg, Gibbs, & Lieberman, 1983; Walker, 1982, 1989). Eisenberg, Lennon, and Roth (1983) ont pour leur part évalué les mêmes enfants de 4½ ans à 7½ ans et observé un déclin constant des biais égocentriques dans le RM prosocial de ces derniers. Bien que ces études longitudinales permettent d'observer la variation intra-individuelle (mouvement de changements des stades de RM), elles demeurent sensibles aux effets test-retest et n'ont pas permis à ce jour de saisir les effets d'âge sur une longue période possiblement en raison 1) des obstacles méthodologiques, tels que la nécessité d'une tâche appropriée et sensible à tous les âges; et 2) des coûts liés à un devis à long-terme, tels que l'investissement en temps, la logistique requise et les taux typiquement élevés de perte de participants. Les études transversales s'étant intéressées au développement du RM démontrent

généralement une progression curvilinéaire du RM tout au long de la vie avec une augmentation rapide durant l'enfance, une augmentation modérée au début de l'âge adulte et une stabilisation par la suite (Armon & Dawson, 1997; Bakken & Ellsworth, 1990; Bielby & Papalia, 1975; Pratt, Golding, & Hunter, 1983). Toutefois, en plus d'employer des petits échantillons (Min : N=44; Max : N=94), ces études ne se sont pas attardées spécifiquement à la période développementale (0 à 18 ans) où les changements sont les plus rapides, notamment en raison du fait que les outils traditionnels d'évaluation du RM ont été conçus pour des adultes (voir section 7). De plus, les découvertes en neurosciences sociales permettent désormais de juxtaposer la maturation du RM avec le développement cérébral afin d'offrir des pistes d'interprétation nouvelles.

#### **4. Substrats neuronaux**

##### ***Cerveau social***

L'avènement des neurosciences sociales dans les deux dernières décennies a permis d'enrichir notre compréhension des substrats neuronaux de la cognition sociale, du développement normal et atypique des fonctions y étant associées et de l'effet complexe de l'expérience sociale sur la structure du cerveau humain. L'hypothèse d'un « cerveau social » tire son origine des études comparatives qui ont démontré à travers les espèces animales une relation entre la complexité sociale et la taille de certaines régions du cerveau suggérant que le cerveau humain aurait grossi et développé des modules spécialisés en réponse aux demandes posées par la socialisation au cours de l'évolution (Adolphs, 2009; Brothers, 1990; Dunbar, 2009). La combinaison des études de lésions et de neuroimagerie fonctionnelle a subséquemment permis de cartographier les zones cérébrales qui sous-tendent le fonctionnement social et fournir des appuis additionnels à l'hypothèse d'un cerveau social (Eslinger, et al., 2004; Kennedy & Adolphs, 2012). Il est désormais reconnu que le cerveau social comprend plusieurs régions cérébrales, notamment aux niveaux frontal et temporal (voir figure 4), qui fonctionnent à la façon d'un réseau intégré aux interconnexions dynamiques au même titre que l'attention ou la mémoire (Beauchamp & Anderson, 2010).

Certaines régions cérébrales sont impliquées préférentiellement dans le traitement social de base (ex. : reconnaissance faciale ou perception des émotions) et sont fonctionnelles tôt durant le développement alors que d'autres évoluent progressivement au cours de l'enfance et l'adolescence et sous-tendent les fonctions de plus haut niveau (ex. : RM) (Blakemore, 2008). Par exemple, la reconnaissance faciale a été associée au gyrus fusiforme (B) et au sulcus temporal supérieur (A) (Posamentier & Abdi, 2003) alors que la perception des émotions regroupe un système davantage diffus qui inclut l'amygdale (G), le striatum ventral et l'insula (Adolphs, 2003; Adolphs, Tranel, & Damasio, 2003; Phillips, Drevets, Rauch, & Lane, 2003). Les études démontrent également que la régulation émotionnelle se distingue de la simple perception ou expérience d'une émotion en recrutant des processus phylogénétiquement plus évolués. Ainsi, la régulation émotionnelle dépendrait de l'interaction entre les régions frontales et les aires du cortex limbique, notamment le gyrus cingulaire antérieure (E) (Ahmed, Bittencourt-Hewitt, & Sebastian, 2015; Etkin, Egner, & Kalisch, 2011; Ochsner & Gross, 2005).

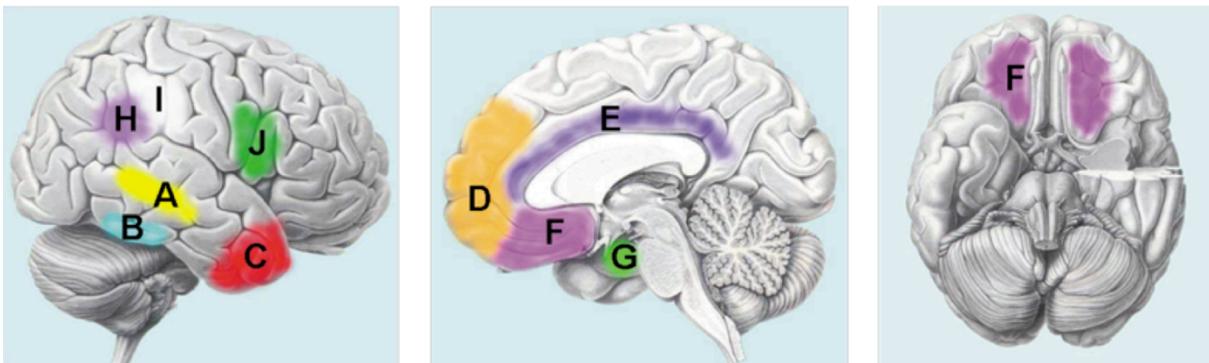


Figure 4. Représentation schématique des régions qui contribuent au « cerveau social »: A) sulcus temporal supérieur; B) gyrus fusiforme; C) pôle temporal; D) cortex préfrontal et pôle frontal; E) cortex cingulaire; F) cortex orbitofrontal; G) amygdale; H) jonction temporopariétale; I) cortex pariétal inférieur; J) cortex frontal inférieur; insula (pas représenté) (Beauchamp & Anderson, 2010).

Certaines représentations du cerveau social font aussi référence au système des neurones miroirs (SNM). Ce dernier a été introduit suite à la découverte de l'activation homologue de neurones du cortex cérébral d'un singe ou d'un humain en réaction à l'observation d'un autre exécutant une action motrice (Fadiga, Fogassi, Pavesi, & Rizzolatti,

1995; Gangitano, Mottaghy, & Pascual-Leone, 2004; Hamilton & Grafton, 2006; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Depuis, l'intérêt pour le SNM s'est transposé au-delà de la recherche en motricité sous la prémisse que les neurones miroirs pourraient jouer un rôle dans la cognition sociale en raison de leur potentiel à fournir des informations sur les buts et les intentions d'autrui (Kaplan & Iacoboni, 2006; Rizzolatti & Fabbri-Destro, 2008). Bien que cette proposition ait attiré son lot de critiques de la part de certains neuroscientifiques (Dinstein, 2008; Hickok, 2009; Steinhorst & Funke, 2014), un nombre croissant d'études supporte l'idée selon laquelle le SNM jouerait un rôle dans les fonctions sociocognitives de haut niveau et se développerait progressivement au sein du cerveau humain (Bonini, 2016; Bonini & Ferrari, 2011; Keysers & Gazzola, 2009; Marshall & Meltzoff, 2011; Shaw & Czekoova, 2013; Woodward & Gerson, 2014).

### ***Cerveau moral***

Le RM recrute pour sa part un vaste réseau neuronal tributaire de la complexité des processus cognitifs et affectifs qu'il engage (Sevinc & Spreng, 2014). Le consensus qui émerge des études en neuroimagerie est que les régions orbitale et ventro-médiane du cortex préfrontal sont impliquées dans les décisions morales émotionnelles (Harenski & Hamann, 2006; Moll et al., 2002), tandis que le cortex préfrontal dorsolatéral rivalise avec celles-ci en agissant comme modérateur de la réponse (Greene, Nystrom, Engell, Darley, & Cohen, 2004; Young & Koenigs, 2007). Ces processus antagonistes seraient régulés par le cortex cingulaire antérieur (Amodio & Frith, 2006; Greene, et al., 2004) qui, avec le sulcus temporal supérieur (Allison, Puce, & McCarthy, 2000) et la jonction temporo-pariétale (Young & Saxe, 2008), est crucial pour les fonctions impliquées dans la théorie de l'esprit, soit l'attribution des intentions et des croyances envers autrui. Les autres régions telles que les portions médiane et antérieure du lobe temporal, le cortex cingulaire postérieur et le lobe pariétal inférieur semblent jouer un rôle plus complémentaire en étant recrutées pour des processus cognitifs généraux engagés lors des tâches de RM (ex. : contrôle cognitif ou mémoire de travail) (Pascual, Rodrigues, & Gallardo-Pujol, 2013). D'un autre côté, les régions telles que l'amygdale joueraient un rôle important dans le traitement des émotions impliquées dans le RM (Decety, Michalska, & Kinzler, 2012; Mendez, 2006) alors que le cortex insulaire serait recruté durant les processus d'empathie (Decety, et al., 2012; Greene, et al., 2004). Globalement, ces résultats supportent

l'hypothèse selon laquelle le réseau neuronal qui sous-tend le RM n'est pas un module unique, mais représente plutôt un large réseau commun impliqué dans la cognition sociale (Bzdok et al., 2012; Casebeer, 2003; Fumagalli & Priori, 2012; Greene & Haidt, 2002; Sevinc & Spreng, 2014; Sommer et al., 2014).

### ***Maturation cérébrale***

Les régions du cerveau social enregistrent une augmentation de la connectivité fonctionnelle au cours du développement, notamment entre les régions frontales et limbiques, traduisant un changement graduel avec l'âge de l'intégration complexe entre les processus cognitifs et affectifs impliqués dans le RM (Decety & Howard, 2013; Ernst & Fudge, 2009; Lenroot & Giedd, 2006). Une phase particulièrement importante pour la maturation du cerveau social est l'adolescence, période au cours de laquelle les relations sociales se complexifient et les enjeux d'acceptation par les pairs prédominent (Steinberg & Morris, 2001). De nombreuses études ont d'ailleurs démontré que les corrélats neuronaux du RM représentent des aires cérébrales qui sont soumises à un développement prolongé jusqu'au début de l'âge adulte, et ce, tant au niveau structurel que fonctionnel (Blakemore, 2008; Blakemore & Mills, 2014; Casey, Jones, & Hare, 2008; Lenroot & Giedd, 2006). Il a d'ailleurs été proposé que l'impact de la puberté sur l'éveil des pulsions émotionnelles et comportementales surviendrait avant même que la maturation des lobes frontaux ne soit complétée (Bava & Tapert, 2010; Crews, He, & Hodge, 2007; Steinberg, 2005). Cet écart en début d'adolescence créerait une période d'hyper-vulnérabilité aux problèmes de régulation émotionnelle et comportementale et serait associé à plus de prises de risque et de comportements allant à l'encontre des normes morales (Steinberg, 2005, 2008b). La maturation progressive des lobes frontaux au cours de l'adolescence viendrait par la suite pallier ces problèmes. Le chapitre de livre présenté en annexe explique en détail la maturation cérébrale et son implication sur le plan de la cognition sociale (Ansado, Chiasson, & Beauchamp, 2014).

## **5. Lésions cérébrales**

### ***Plasticité versus vulnérabilité***

La survenue d'une lésion cérébrale durant l'enfance est susceptible de perturber le délicat équilibre entre le développement neuronal et cognitif et d'entraver du même coup l'acquisition d'habiletés sociales (V. Anderson, Spencer-Smith, & Wood, 2011; Yeates, et al., 2007). Alors que la croyance selon laquelle le jeune cerveau lésé est plastique et capable de réorganisation sans impact fonctionnel a longtemps prévalu (Aram & Ekelman, 1986; Stiles, Reilly, Paul, & Moses, 2005), les recherches dans les dernières années ont plutôt démontré de pires conséquences à plusieurs égards pour les lésions subies en bas âge (V. Anderson & Moore, 1995; Duval et al., 2008). L'un des premiers défenseurs de la théorie de la vulnérabilité est Hebb (1949) qui proclamait que les théoriciens de la plasticité ignoraient la possibilité que la lésion cérébrale puisse avoir différentes conséquences à des moments différents durant le développement. Selon lui, une lésion cérébrale précoce peut être plus dommageable qu'une lésion tardive puisque certains aspects du développement cognitif dépendent de façon critique de l'intégrité de structures cérébrales cibles à des moments précis du développement. Ainsi, si une région cérébrale est endommagée et dysfonctionnelle à un stade critique du développement cognitif, il est possible que l'habileté cognitive qui en dépend soit irréversiblement atteinte. Plus récemment, de nombreux travaux, dont ceux d'Anderson (V. Anderson, Catroppa, Morse, Haritou, & Rosenfeld, 2005; V. Anderson et al., 2009), ont contribué à fournir des appuis à la perspective théorique de la vulnérabilité cérébrale tout en soulignant qu'aucune des deux théories ne permet d'expliquer la variabilité et l'étendue des conséquences fonctionnelles résultant d'une lésion précoce (V. Anderson, et al., 2011). La plasticité et la vulnérabilité seraient plutôt les deux extrêmes d'un continuum de récupération. L'endroit où l'enfant se situe sur ce continuum dépendrait de plusieurs facteurs en lien avec la blessure (sévérité, nature et âge) et les influences environnementales (famille, facteurs socio-démographiques et interventions) (V. Anderson, et al., 2011).

### ***Lésion focale versus lésion diffuse***

Parmi les facteurs susceptibles d'agir comme médiateur sur les conséquences de la lésion cérébrale figure la nature de la pathologie cérébrale (focale vs diffuse). Une lésion

cérébrale focale (LCF) consiste en une atteinte d'une région spécifique du cerveau en présence de dommages visibles aux tissus cérébraux telle que rencontrée suite à un accident cérébro-vasculaire, une tumeur ou une contusion (Gelb, 2005). Une lésion diffuse renvoie à des dommages plus largement étendus au sein du cerveau et qui ne sont pas toujours macroscopiquement visibles, tels que lors d'un traumatisme crânio-cérébral (c'est-à-dire, une blessure axonale diffuse) ou une infection cérébrale (Gennarelli, 1993; Meaney, Morrison, & Dale Bass, 2014). Récemment, les recherches ont démontré que le jeune cerveau était particulièrement vulnérable dans le contexte d'une blessure cérébrale diffuse sur la base qu'après un tel événement il resterait peu de régions saines au sein du cerveau pour soutenir une réorganisation neuronale (V. Anderson et al., 1997; V. Anderson, Catroppa, et al., 2005; Bittigau, Sifringer, Felderhoff-Mueser, & Ikonomidou, 2004). Traditionnellement, il a été avancé un pronostic plus favorable lorsque la lésion cérébrale précoce est de nature focale sous la prémisses qu'il existerait un potentiel de réorganisation neuronale et de prise en charge par les régions cérébrales épargnées (Aram & Ekelman, 1986; Stiles, et al., 2005). Les études demeurent toutefois très partagées sur cette question et certaines découvertes en neuroimagerie ont montré que le recrutement d'aires cérébrales additionnelles post-lésion ne reflétait pas nécessairement une amélioration de la fonction atteinte (D. P. Anderson et al., 2002; Hertz-Pannier et al., 2002; Raja Beharelle et al., 2010; Wilke et al., 2009). Des preuves constantes de remarquable préservation des fonctions langagières après une lésion à l'hémisphère gauche ont longtemps alimenté l'hypothèse de plasticité cérébrale après une LCF alors que des études plus récentes ont trouvé des déficits dans les aspects langagiers de plus haut niveau (discours, syntaxe complexe, inférences) qui émergent plus tard durant le développement (Chapman, Max, Gamino, McGlothlin, & Cliff, 2003; Hetherington & Dennis, 2004). Dans ce contexte, V. Anderson, et al. (2011) proposent que les fonctions de plus bas niveau telles que le langage simple ainsi que les habiletés visuelles et sensoriomotrices qui recrutent des réseaux cérébraux moins complexes sont plus susceptibles de démontrer une bonne récupération fonctionnelle. En revanche, la récupération des habiletés complexes recrutant des réseaux neuronaux diffus comme l'attention, les fonctions exécutives et la cognition sociale apparaît moins complète.

## **6. Lésions cérébrales focales**

### *Conséquences sociales*

Alors que les études chez les enfants avec une dysfonction neurologique se sont longtemps consacrées aux répercussions cognitives (V. Anderson, Jacobs, & Harvey, 2005; D'Argenzio et al., 2011; Jacobs & Anderson, 2002; Jacobs, Harvey, & Anderson, 2011; Long, Anderson, et al., 2011; Long, Spencer-Smith, et al., 2011; Westmacott, Askalan, MacGregor, Anderson, & Deveber, 2010) ou directement observables, telles que la motricité (Rey, Dellatolas, Bancaud, & Talairach, 1988; Vargha-Khadem, O'Gorman, & Watters, 1985) et les capacités langagières (Bates, Vicari, & Trauner, 1999; Levin, Song, Ewing-Cobbs, Chapman, & Mendelsohn, 2001), ce n'est que depuis récemment qu'une attention accrue est portée aux impacts sur la sphère sociale (V. Anderson & Beauchamp, 2012; Greenham, Spencer-Smith, Anderson, Coleman, & Anderson, 2010; Yeates, et al., 2007; Yeates et al., 2012). Ceci est particulièrement vrai pour le champ d'études des traumatismes cranio-cérébraux (TCC) qui a connu une expansion des recherches au niveau des conséquences sociales post-TCC dans les dernières années (voir Rosema, Crowe, & Anderson, 2012 pour une revue systématique). Les données demeurent toutefois plus rares suite à une LCF. Cette négligence du domaine social jusqu'à tout récemment est surprenante puisque 1) les jeunes enfants et leur famille se plaignent souvent que les problèmes sociaux sont les conséquences les plus dévastatrices de la lésion cérébrale (Greenham, et al., 2010) et 2) les dysfonctions sociales sont associés de façon significative à une réduction de la qualité de vie et un risque accru de problèmes de santé mentale (Rosema, et al., 2012; van Tol, Gorter, DeMatteo, & Meester-Delver, 2011). Parmi les explications potentielles des lents progrès dans le domaine social au sein d'une population neurologique, soulignons l'approche athéorique de la plupart des études sans recours à des modèles visant à conceptualiser les habiletés sociales (V. Anderson & Beauchamp, 2012) et le manque d'outils appropriés à l'âge et adéquat au niveau psychométrique pour mesurer les habiletés sociales des enfants (Rosema, et al., 2012). Ainsi, la vaste majorité des données à ce jour proviennent de questionnaires remplis par les parents et les enseignants ou d'entrevues qualitatives. Ceux-ci ont de façon générale investigué trois aspects qui constituent des manifestations de la compétence sociale, soit la participation sociale, l'ajustement social et les interactions sociales.

**Participation sociale :** La participation sociale est définie comme l'implication de l'enfant dans ses différents milieux de vie (ex : activités sportives ou communautaires) (Mikula et al., 2015). A ce sujet, il a été démontré que les enfants avec une LCF acquise présentent un niveau restreint d'intensité et de diversité d'activités auxquels ils participent, et ce, peu importe la catégorie : jeux avec des pairs, activités communautaires ou routines à la maison (V. Anderson et al., 2014; Bedell & Dumas, 2004).

**Ajustement social :** L'ajustement social réfère au degré auquel l'enfant s'entend avec ses pairs, s'engage dans des comportements sociaux compétents et inhibe les comportements aversifs (Crick & Dodge, 1994). Lors de l'étude de cette variable, la plupart des recherches ont utilisé des questionnaires mesurant les habiletés adaptatives, tels que le Vineland (Sparrow, Cicchetti, & Balla, 2005) et l'Adaptive Behavior Assessment System (Harrison & Oakland, 2003) ou les problèmes comportementaux tels que le Childhood Behavior Checklist (Achenbach & Rescorla, 2001). Plusieurs études ont décrit un ajustement social plus faible suite à une tumeur cérébrale (Aarsen et al., 2006; Carey, Barakat, Foley, Gyato, & Phillips, 2001; Sands et al., 2005). Mabbott et al. (2005) ont d'ailleurs noté que bien que l'ajustement social puisse paraître intact en phase aiguë, les problèmes ont tendance à augmenter plus tard suite au diagnostic.

**Interactions sociales :** Le concept d'interactions sociales réfère aux actions et réactions sociales entre les individus ou les groupes dans un contexte d'interaction entre partenaires. Quelques études se sont intéressées à la qualité des interactions sociales suite à un accident cérébro-vasculaire pédiatrique ou une tumeur cérébrale. De façon générale, sur la base de rapports qualitatifs ou de questionnaires, il est décrit une plus faible acceptation par les pairs, un nombre plus limité d'amis, une isolation sociale et dans certains cas de l'intimidation (Everts et al., 2008; Steinlein, Roellin & Scroth 2004; Barrera, Schulte & Spiegler, 2008).

En somme, un nombre croissant d'études a démontré une plus faible compétence sociale à travers plusieurs domaines chez l'enfant présentant une LCF. Il est possible que des difficultés d'ordre émotionnel contribuent à ces particularités puisque ces enfants semblent démontrer un plus haut taux de problématiques internalisées (Duval, et al., 2008). Certains auteurs ont aussi posé l'hypothèse que des déficits cognitifs (ex. : vitesse de traitement de l'information) rendent plus difficile la mise en place et l'efficacité des habiletés sociales dans

les situations quotidiennes (V. Anderson, Rosema, Gomes, & Catroppa, 2012). Une autre hypothèse qui émerge et qui fera l'objet d'une étude dans ce projet est que des déficits ou retards au niveau des habiletés de cognition sociale puissent expliquer une partie des particularités sociales observées au sein de cette population (Beauchamp & Anderson, 2010).

### ***Cognition sociale***

À ce jour, la vaste majorité des études en cognition sociale post-lésion cérébrale, sont issues d'une investigation qualitative, concernent des populations adultes et/ou consistent en des études de cas. Le cas bien connu de Phineas Gage, un travailleur de chemin de fer du 19<sup>ème</sup> siècle qui aurait développé des changements majeurs de personnalité suite à un dommage au lobe frontal, peut être considéré comme le premier exemple rapporté de perturbation de la cognition sociale suite à une lésion focale (Macmillan, 1996). Suite à son accident et selon les témoignages de son entourage, Gage avait plusieurs difficultés sociales, une prise de décision morale altérée et une absence de prise de perspective d'autrui (H. Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda, & Damasio, 1994). Les études contemporaines réalisées chez l'adulte ont démontré des déficits sur le plan de la cognition sociale suite à une lésion focale, notamment en ce qui concerne l'empathie (voir Hillis, 2014 pour une revue exhaustive), la reconnaissance des émotions (Wilkos, Brown, Slawinska, & Kucharska, 2015), la résolution de problèmes sociaux (Channon & Crawford, 2010) et le RM (Ciaramelli, et al., 2012). La littérature est nettement plus mince en ce qui a trait aux lésions développementales. Dans une revue de cas multiples avec dommage au lobe préfrontal durant l'enfance (N=10), Eslinger, et al. (2004) ont été parmi les premiers à suggérer une altération de la cognition sociale post-LCF qu'ils décrivent comme étant « *des difficultés au niveau des comportements réciproques et coopératifs limitant l'habileté à se conformer, négocier et s'entendre avec autrui sur des règles de conduite de base et à former des amitiés ou toute autre relation stable et constructive* » (traduction libre, page 99). Les auteurs suggèrent que le déficit sous-jacent s'explique notamment par des habiletés limitées au niveau des prises de rôle et de points de vue. Ceci contribuerait à une compréhension appauvrie de l'autre (ex : leurs intentions, croyances et expériences) et de soi-même en relation avec les autres, c'est-à-dire la « théorie de l'esprit ». Ils décrivent également chez la plupart des patients une compréhension morale concrète formulée autour de règles erratiques et de leurs propres besoins sur la base

d'observations qualitatives et du Moral Judgment Interview, un outil développé par Kohlberg (1958). Dans la même lignée, Couper, Jacobs et Anderson (2002) ont également documenté des niveaux plus bas de RM chez 14 patients avec une lésion frontale à l'aide du Socio-Moral Reflection Measure-Short Form (Gibbs, Basinger, & Fuller, 1992). Bien que ces études posent les jalons pour l'exploration du RM suite à une lésion focale, elles présentent certaines limitations, notamment 1) la présence de patients avec blessure focale issue d'un traumatisme crânien rendant possible la présence de dommage diffus confondants; 2) l'évaluation du RM à l'âge adulte chez certains participants avec une LCF précoce, ce qui ne renseigne pas sur le développement en soi et entraîne la présence de facteurs environnementaux et/ou neurologiques confondants; 3) l'absence de groupes comparatifs et/ou appariés; et 4) l'utilisation d'outils de mesure du RM peu appropriés pour une population pédiatrique et présentant des limitations méthodologiques.

## **7. Outils d'évaluation de la cognition sociale et du RM**

Malgré la prévalence des difficultés sociales rapportée à travers une multitude de problématiques neurodéveloppementales telles que le TSA, la schizophrénie, le trouble du déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) et le syndrome de Gilles de la Tourette (Abdi & Sharma, 2004; Demopoulos, Hopkins, & Davis, 2013; Groman & Barzman, 2014; McGuire, Langdon, & Brune, 2014; Moran et al., 2011; Pinkham & Penn, 2006) et la démonstration ci-haut des risques de dysfonctions sociales suite à une LCF, il existe actuellement peu d'outils standardisés pour évaluer la cognition sociale. Tel que soulevé par Beauchamp (sous presse), Vakil (2012) souligne avec justesse, dans un article sur les principes de l'évaluation neuropsychologique, que celle-ci « *est souvent considérée d'abord et avant tout comme une évaluation cognitive, possiblement car les habiletés cognitives peuvent être mesurées et quantifiées (...)* Pourtant, il importe de se rappeler que les lésions cérébrales peuvent aussi conduire à des changements au niveau de l'état émotionnel et du comportement et que ces changements doivent être évalués également » (traduction libre, page 142). Traditionnellement, l'évaluation de la sphère socioaffective en neuropsychologie a reposé sur des mesures indirectes et subjectives (ex. : questionnaire et entrevue) qui demeurent limitées en termes de validité écologique et sensibles à la désirabilité sociale. La plupart des outils de

cognition sociale développés à ce jour sont conçus soit 1) pour les adultes, limitant l'applicabilité aux enfants ; 2) pour le TSA, avec peu d'évidences de sensibilité auprès d'autres populations sujettes à des atteintes sociocognitives ; ou 3) pour la recherche expérimentale, rendant difficile l'implantation en contexte de pratique clinique (Beauchamp, sous presse). La mise en place d'outils de mesure directe et appropriée en cognition sociale est un défi de taille qui nécessite la considération de plusieurs facteurs à savoir le type et la qualité des stimuli, la perspective, la charge affective, la modalité et le temps de passation et l'âge de la population cible (Beauchamp, sous presse).

Ces défis sont particulièrement représentés dans l'historique du développement des outils de RM (voir article #1). Les outils développés successivement par Kohlberg et ses collaborateurs, soit le Moral Judgment Interview (MJI) (Kohlberg, 1958), le Defining Issues Test (DIT) (Rest, 1975) et le Socio-Moral Reflection Measure (SRM) (Gibbs, et al., 1992) présentent à divers degrés des limitations méthodologiques qui portent atteinte à leur applicabilité auprès d'une population pédiatrique et à leur validité écologique. Ces tests emploient également des dilemmes écrits ce qui réduit l'engagement dans la tâche et incorpore des variables confondantes dans la mesure du RM, telles que les capacités de lecture, d'attention et de mémoire de travail, pouvant affecter la performance des personnes ayant des difficultés dans ces domaines (Dooley, et al., 2010). D'autres mesures reposant moins sur la lecture et l'écriture ont été utilisées en psychologie développementale, telles que le « happy-victimizer paradigm » (Malti, Gummerum, Keller, & Buchmann, 2009) et le « prosocial moral reasoning interview » (Eisenberg, et al., 1983). Dans ces tâches, un petit nombre de dilemmes est présenté sous le format de bandes dessinées dans une perspective de troisième personne. Les participants doivent dire si ce que le protagoniste a fait était bien ou mal et justifier leurs réponses. Ces tâches représentent une avancée à certains égards puisqu'elles sont conçues pour des enfants et qu'elles utilisent des images de type bandes dessinées, un format démontré efficace pour susciter un plus grand investissement émotionnel dans la tâche (Orobio de Castro, Veerman, Koops, Bosch, & Monshouwer, 2002). Néanmoins, l'emploi de caricatures au lieu de véritables acteurs et le fait que les scénarios fictifs soient dépeints à la troisième personne au lieu de la première réduisent la valence émotionnelle de la tâche (Dooley, et al., 2010). La considération de la perspective dans laquelle sont présentés les stimuli (première vs

troisième) s'avère crucial dans l'évaluation de la cognition sociale puisque la réaction de l'individu risque de varier en fonction de s'il est impliqué personnellement dans le scénario ou pas (Beauchamp, sous presse). Ce constat est appuyé par de nombreuses études qui indiquent que les réponses neuronales et comportementales diffèrent en fonction de la perspective utilisée (Avram et al., 2014; Chisholm et al., 2014; Fehr, Ahtziger, Roth, & Struber, 2014; Ramsey, Hansen, Apperly, & Samson, 2013; Vogeley et al., 2004). C'est en considérant les limitations des outils de RM précédents, les recherches en neurosciences sociales et le besoin d'outils de cognition sociale en neuropsychologie clinique qu'un nouvel outil de RM a été conçu et utilisé dans le présent projet de recherche, le Socio-Moral Reasoning Aptitude Level task (So-Moral) (Beauchamp, et al., 2013; Dooley, et al., 2010; Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016).

## **8. Position du problème et objectifs de la thèse**

En résumé, malgré les avancées spectaculaires en neurosciences sociales au cours des dernières décennies, il existe un grand besoin dans le milieu clinique et de la recherche pour des outils de cognition sociale, particulièrement en ce qui a trait au RM. Le champ de la neuropsychologie démontre tout particulièrement un intérêt croissant à l'égard de l'inclusion de la cognition sociale dans le processus d'évaluation. Ceci n'est pas surprenant compte tenu 1) de l'émergence d'études démontrant la présence d'un réseau neuronal dédié aux habiletés sociales; 2) de l'inclusion dans le DSM-5 de la cognition sociale au sein des domaines cognitifs centraux au même titre que l'attention et le langage; et 3) des atteintes sociales répertoriées au sein de plusieurs problématiques neurodéveloppementales et suite à une blessure cérébrale. Le RM est une fonction sociocognitive de haut niveau mesurable qui a reçu peu d'attention comparativement aux autres fonctions sociocognitives traditionnellement associées au trouble du spectre autistique (théorie de l'esprit, empathie) qui constitue le trouble neurodéveloppemental prédominant au sein de la littérature sur la cognition sociale. Il a pourtant été démontré dans la présente revue de littérature que le RM possède une forte base développementale, un réseau cérébral identifiable et qu'une atteinte à sa maturation est associée à des comportements sociaux mésadaptés, voire même de la délinquance juvénile. Ces constats témoignent de l'intérêt de s'attarder au RM, et ce, autant au sein d'une population

neurotypique que celle présentant une vulnérabilité neurobiologique. Dans cette lignée, cette thèse doctorale présente deux études ayant recours à un outil novateur, le Socio-Moral Reasoning Aptitude Level (So-Moral), afin d'investiguer le développement typique et atypique du RM chez l'enfant et l'adolescent.

Article 1 : Changements liés à l'âge de la maturité du raisonnement moral chez l'enfant et l'adolescent.

Le premier article avait pour objectif d'examiner les changements avec l'âge du RM au sein d'une grande étendue développementale (6-20 ans). À ce jour, aucune étude n'avait investigué le développement du RM de façon transversale sur une telle période développementale et avec un outil approprié pour une population pédiatrique. Pour ce faire, un grand échantillon d'enfants neurotypiques (N=216) a été divisé en cinq groupes d'âge représentant des périodes développementales clés et utilisés dans les études de neurosciences sociales (Paus, 2005; Sanders, 2013). Il a été prédit une progression linéaire du RM et des différences significatives entre les cinq groupes d'âge. En parallèle, cette étude visait à offrir des éléments additionnels pouvant contribuer au processus de validation en cours de la tâche So-Moral en démontrant sa capacité à détecter des différences subtiles en fonction de l'âge et du sexe des participants. L'article a été publié dans la revue *The Clinical Neuropsychologist*.

Article 2 : Cognition sociale et raisonnement moral chez les enfants avec une lésion cérébrale focale frontotemporale

Le second article visait à investiguer les différences développementales au niveau de la cognition sociale (RM, prise de décision morale et empathie) et du comportement au sein d'un petit groupe d'enfants et adolescents avec une lésion cérébrale focale (LCF) au niveau frontal ou temporal, un type d'atteinte neurologique relativement rare durant la période développementale et qui fournit un modèle clinique propice à l'investigation du rôle de ces régions dans la cognition sociale. Pour ce faire, un devis avec appariements a été utilisé afin d'éliminer l'impact de variables confondantes tel que l'âge, le sexe et le niveau socioéconomique. Le fait d'inclure des enfants avec une LCF au niveau des lobes frontaux et temporaux s'appuie sur l'architecture fonctionnelle du cerveau social qui s'étend sur ces deux régions. Il a été prédit que les enfants avec une LCF présenteraient des niveaux plus faibles sur

les mesures de cognition sociale, de problèmes comportementaux et d'habiletés socioadaptatives que leurs pairs. Dans un deuxième temps, les relations entre la cognition sociale et les variables comportementales au sein du groupe d'enfants avec une LCF ont été explorés. Les hypothèses étaient que de bonnes habiletés sociocognitives seraient associées à moins de problématiques comportementales et un meilleur fonctionnement socioadaptatif. Cet article a été publié dans la revue *Brain Impairment*.

# Article 1

## **Assessing social cognition: Age-related changes in moral reasoning in childhood and adolescence**

Chiasson, V.<sup>1,2</sup>, Vera-Estay, E.<sup>1,2</sup>, Lalonde, G.<sup>1</sup>, Dooley, J.J.<sup>3,4</sup>, & Beauchamp, M.H.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Psychology, University of Montreal, Canada

<sup>2</sup>Sainte-Justine Hospital Research Center, Montreal, Canada.

<sup>3</sup>Cuyahoga County Court Psychiatric Clinic, Cleveland, USA

<sup>4</sup>Department of Psychology, Cleveland State University, Cleveland, USA

Publication : Chiasson, V., Vera-Estay, E., Lalonde, G., Dooley, J. J., & Beauchamp, M. H. (2017) Assessing social cognition : Age-related changes in moral reasoning in childhood and adolescence. *The Clinical Neuropsychologist*, 31(3), 515-530.

## **Abstract**

**Objective:** There is increasing recognition that socio-cognitive skills, such as moral reasoning (MR), are affected in a wide range of developmental and neuropsychological conditions. However, the lack of appropriate measures available to neuropsychologists poses a challenge for the direct assessment of these skills. This study sought to explore age-related changes in moral reasoning using an innovative visual tool and examine the developmental sensitivity of the task. **Method:** To address some of the methodological limitations of traditional measures of MR, a novel, visual task, the Socio-Moral Reasoning Aptitude Level (So-Moral) was used to evaluate MR in 216 healthy participants aged 6 to 20 years. **Results:** The findings show a linear increase in MR from childhood to late adolescence with significant group differences between childhood (6-8 years) and preadolescence (9-11 years), and between early adolescence (12-14 years) and middle adolescence (15-17 years). **Conclusions:** Interpreted in light of current brain development research, the results highlight age-related changes in MR that offer insight into typical MR development and opportunities for comparisons with clinical populations. The findings also provide evidence of the potential of the So-Moral as a developmentally-appropriate measure of MR throughout childhood and adolescence.

Keywords : moral reasoning, developmental sensitivity, age-related changes, social cognition, neuropsychological assessment

## **Introduction**

Social cognition refers to the mental processes that are used to perceive and process social cues, stimuli and environments and that are necessary for appropriate social functioning (Beauchamp & Anderson, 2010; Frith & Frith, 2007; Penn, Corrigan, Bentall, Racenstein, & Newman, 1997). It includes an array of skills that follow a developmental path and are hierarchically organized from rudimentary stages of processing social cues (i.e., perception of faces or emotions) to higher order socio-cognitive skills crucial for adaptive and adequate social functioning (Beauchamp & Anderson, 2010; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Moral reasoning is an important socio-cognitive skill that refers to the ability to analyze and evaluate social situations in light of moral criteria in order to establish judgments about right and wrong and regulate behavior (Gibbs, 2013; Moll, Zahn, De Oliveira-Souza, Krueger, & Grafman, 2005). From a neuropsychological point of view, this higher order socio-cognitive skill is underpinned by neural networks that combine affective, cognitive and motivational processes across development and are rooted in social experience (Decety & Howard, 2013). As such, MR development promotes the establishment of healthy social behaviors and positive interpersonal interactions while regulating and inhibiting the emergence of socially inappropriate behaviors (Dooley, Beauchamp, & Anderson, 2010).

The development of morality in youth has been studied in light of its multiple components, moral emotions (Krettenauer, Campbell, & Hertz, 2013; Malti & Buchmann, 2010; Malti & Dys, 2015), moral decision-making (Rosen, Brand, & Kalbe, 2016), moral identity (Frimer & Walker, 2009; Hardy & Carlo, 2011), distinctions between moral, social and personal transgressions (Killen & Rutland, 2011; Turiel, 1983), and moral reasoning (MR) more specifically. The measurement of MR is typically based on a cognitive-developmental approach, which suggest that the ability to reason in moral terms evolves with age from a superficial evaluation that focuses on physical, immediate and personal consequences (unidimensional thinking) to more complex schemas of analysis that integrate other's perspectives (multidimensional thinking) (Gibbs, 2013). As such, notions of typical developmental progression posit that early on, children's MR tends to be influenced by authoritarian figures and is rather egocentric. During late childhood and adolescence, MR is thought to improve as individuals begin to coordinate multiple features and take into account

other's perspectives and feelings (a phenomenon referred to as "decentration"). As MR matures, it is thought to eventually reflect values and standards necessary for social regulation and evaluation. In keeping with this sequence, models of MR posit that such progression is sustained by cognitive development (ex: executive and metacognitive abilities), as well as socio-cognitive skills (ex: theory of mind and empathy) and social perspective-taking opportunities (Gibbs, 2013; Kohlberg, Levine, & Hewer, 1983).

Supporting the developmental trajectory of MR maturity, evidence from cross-sectional and longitudinal studies demonstrates positive correlations between age and MR maturity level in children, adolescents and adults (Colby et al., 1983; Eisenberg, 1979; Eisenberg, Cumberland, Guthrie, Murphy, & Shepard, 2005; Gibbs, Basinger, & Fuller, 1992). Armon and Dawson (1997) found that MR development follows a curvilinear trend across the lifespan that suggests differential progress during distinctive developmental periods, with a slower increase as adulthood advances. There is some indication that these developmental patterns may be different in males and females. However, to date, the question of sex differences in MR has been a matter of debate. According to Gilligan (1982), men solve moral dilemmas in a rational way, respecting law and order (ethics of justice), while women are driven by emotion, empathy and care for others (ethics of care). Some studies in adults have confirmed these differences with various MR tasks (Bjorklund, 2003; Fumagalli et al., 2010; Gump, Baker, & Roll, 2000), while others have found no sex differences (Brabeck & Shore, 2003; Jaffee & Hyde, 2000; Lifton, 1985). Studies in youth show that girls display fewer morally disengaged reasoning strategies and more moral emotions than boys (Ongley, Nola, & Malti, 2014; Paciello, Fida, Tramontano, Lupinetti, & Caprara, 2008; Tangney & Dearing, 2002). Using the Sociomoral Reflection measure, Gibbs, et al. (1992) found sex-related differences in MR score favoring females, while replicating findings of no sex-related stage-level differences (Walker, 1986). Differences were observed during the pubescent years when females are known to be maturing more rapidly than males in a number of respects (Mendle, Turkheimer, & Emery, 2007). A recent neuroimaging study found a sex-related pattern of brain activation suggestive of differences in strategies utilized in MR for males versus females (Harenski, Antonenko, Shane, & Kiehl, 2008). Although men and women may process MR

dilemmas differently, whether this results in differences in MR maturity remains to be determined given discrepant findings and methodological approaches in the literature to date.

From a neurobiological perspective, there is evidence that social cognition, and MR in particular, is supported by a reliable network of regions in the brain (termed the “social brain”), which undergo substantial structural and functional maturation during childhood and well into late adolescence (Blakemore, 2008a, 2010; Burnett & Blakemore, 2009; Casey, Jones, & Hare, 2008; Pascual, Rodrigues, & Gallardo-Pujol, 2013; Sommer et al., 2014; Steinberg, 2005). This network includes key regions of the frontal and temporal cortices, such as the medial prefrontal cortex, the anterior cingulate cortex, the inferior frontal gyrus, the superior temporal sulcus, as well as, the amygdala and the anterior insula (Adolphs, 2009; Brothers, 1990; Frith & Frith, 2007). These brain regions also play a role in the development of skills such as behavioral and emotional regulation as well as the perception and evaluation of risks and benefits (Burnett & Blakemore, 2009; Steinberg, 2005), which are relevant to MR and decision-making. The protracted nature of the development of socio-cognitive skills, and their neural substrates highlights the system’s vulnerability to dysfunction should any of the many regions involved or their connections be disrupted by biological or environmental elements (Beauchamp & Anderson, 2010). Social cognition, and in particular MR, has been shown to be affected by various developmental and acquired neurological conditions such as brain injury (Beauchamp, Dooley, & Anderson, 2013; Dooley, et al., 2010; Eslinger, Flaherty-Craig, & Benton, 2004; Tonks, Williams, Frampton, Yates, & Slater, 2007), autism spectrum disorders (Abdi & Sharma, 2004; Moran et al., 2011), attention-deficit disorders (Demopoulos, Hopkins, & Davis, 2013; Groman & Barzman, 2014) and schizophrenia (McGuire, Langdon, & Brune, 2014; Pinkham & Penn, 2006), which can lead to changes in behavior, emotion regulation, and overall social competence.

Despite increasing recognition of the impact of neuropsychological conditions on social cognition, and the central role of MR in the everyday social functioning of children and adolescents, there exist few standardized and validated measures to evaluate these skills. To date, MR tests have typically been based on written scenarios presenting moral dilemmas. For example, in the *Moral Judgment Interview (MJI)* (Kohlberg, 1958), participants are asked to

read a story presenting a hypothetical moral dilemma and to answer open-ended questions designed to obtain justifications for their moral judgment. This task presents certain practical and conceptual challenges. For example, coding is very complex requiring extensive training and the dilemmas are lengthy and involving extreme situations (ex: deciding whether or not to steal medication to save a dying person). Although, there is much to be gained from examining the process of quintessential dilemmas, they provide limited insight into daily social capabilities, as they are unlikely to have been experienced by children or adolescents. Other tasks have used similar dilemmas, such as the *Defining Issues Test (DIT)* (Rest, 1975). In the DIT, after having read a moral dilemma, participants are asked to rank a series of 12 statements in terms of their perceived importance in making a decision about the dilemma. This procedure, however, sacrifices an important feature of MR assessment, namely, the elaboration of an individual's own moral justification. Also, this task requires extensive reading and for that reason Rest (1979) acknowledges that the DIT cannot be used with subjects who have reading skills under those expected of a 12-year old. To address some of these concerns, Gibbs, et al. (1992) developed the *Sociomoral Reflection Measure-Short Form (SRM-SF)*, a paper-pencil questionnaire that presents participants with brief contextual statements that pertain to specific moral values (i.e. affiliation, property, legal justice, etc.). Participants are asked to ascertain the degree of importance allocated to a particular moral value and write down a justification.

Globally, these traditional measures of MR may be hampered at varying degrees by methodological challenges, which raises concerns about the appropriateness of their use in pediatric and clinical populations. Among those challenges are: (1) the scenarios typically presented tend to be unrealistic and unlikely to have been experienced by young people and are therefore not necessarily representative of everyday moral dilemmas; (2) dilemmas are generally presented in the third person and/or through written content, which reduces personal and emotional involvement in the situation described. In this regard, a number of studies reveal that personal and emotional involvement in moral dilemmas not only influences the maturity of reasoning and decision-making, but is also associated with different patterns of brain activity (Greene, Sommerville, Nystrom, Darley, & Cohen, 2001; Mikhail, 2007; Moll, De Oliveira-Souza, Bramati, & Grafman, 2002); and (3) youth are typically presented with

written scenarios that are time consuming and dependent on adequate reading, attention, abstraction and working memory skills, which are often impaired in clinical populations (Dooley, et al., 2010). The presence of confounding cognitive factors in traditional MR assessment thus suggests that clinical populations or even children with less than optimal cognitive functions may not perform well on these measures due to more general cognitive difficulties instead of actual social dysfunction.

To address the need for socio-cognitive evaluation tools for children and adolescents and counter some of the methodological limits of traditional MR tasks, the Socio-Moral Reasoning Aptitude Level task (So-Moral) was developed (Beauchamp, et al., 2013; Dooley, et al., 2010; Vera-Estay, Beauchamp, & Dooley, 2014). The So-Moral is a computer-based task during which dilemmas are presented using static pictures of real actors taken from a first person point-of view. This style of a presentation is used to increase and enhance personal and emotional involvement (Orobio de Castro, Veerman, Koops, Bosch, & Monshouwer, 2002). It also allows for processing of facial emotional expressions, powerful cues that reveal the internal affective states of the actors involved and facilitate understanding of moral situations. All the dilemmas were designed to ensure that they depict social situations that young people are likely to have experienced or be familiar with. The task does not rely on reading and writing skills, which facilitates its administration to clinical and pediatric populations. Instead, participants provide an oral justification of their decision which is then scored according to a standardized coding system based on a cognitive-developmental approach (Beauchamp & Dooley, 2012). A previous study by Dooley, et al. (2010) examined the emerging psychometric properties of the So-Moral and provided preliminary support for its validity and reliability. The So-Moral has adequate inter-rater reliability (Cronbach's  $\alpha = .83$  to  $.94$ ). A post-assessment questionnaire to examine if the dilemmas were ecologically valid revealed that the So-Moral was rated as being enjoyable and comprehensive by the vast majority of the participants, and they felt engaged in and familiar with the dilemmas (Dooley, et al., 2010). Provisional support of the construct validity of the So-Moral has also been provided through significant positive correlation between So-Moral scores and other socio-cognitive measures such as theory of mind, affect recognition and empathy and negative significant correlations with aggressive behaviors and oppositional defiant symptoms (Dooley, et al., 2010; Vera-

Estay, Seni, Champagne, & Beauchamp, 2016). The sensitivity of the So-Moral task has also previously been explored in a brain injury population (Beauchamp, et al., 2013) and its relationship with executive functioning has been documented (Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016). However, no study to date has examined MR maturity across a wide age span with a tool designed for children and adolescents and measuring MR via everyday dilemmas.

The aim of this study was to explore age-related changes in MR using the So-Moral and examine the developmental sensitivity of the task by using a cross-sectional design in childhood and adolescence. A linear increase in MR maturity with age and age-related differences in MR were expected. A second, exploratory aim was to determine whether sex differences were present. We expected significant sex differences between boys and girls for MR maturity in line with developmental work on moral reasoning and emotions.

## **Methods**

### ***Participants***

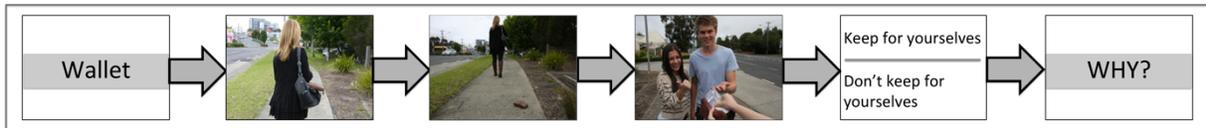
Participants aged 6 to 20 years ( $N= 216$ ;  $M= 13.60$ ,  $SD= 3.87$  years, 59% female) voluntarily participated in this study. They were predominantly Caucasian (88 %) and had no history of any psychiatric or neurological condition, and had IQ levels in the low to high average range (84-138,  $M= 109.19$ ,  $SD= 13.4$ ). Participants were identified and recruited through elementary schools, high school and colleges from both urban and suburban areas. A study information letter was provided to parents' of children in the school asking for their participation. For college recruitment, the research project was presented in class and interested students were invited to sign a form agreeing to be contacted. Assessments were conducted in the participants' primary language, either French or English and took place either in a quiet room directly in schools or in a laboratory setting. All participants and/or their parents provided written consent for participation in the study and were compensated \$20 for their time. The Research Ethics Committee of the Faculty of Arts and Science at the University of Montreal approved the study.

## ***Measures***

*Demographic and developmental variables:* Parents' of participants completed a questionnaire pertaining to their child's medical, developmental, and social history. Socio-economic status is reported using the Social Risk Index (Roberts et al., 2008), a composite measure comprised of six aspects of social status: family structure (0 – two caregivers (nuclear); 1 – separated parents with dual custody, or cared for by other intact family; 2 – single caregiver), education of primary caregiver (0 – tertiary educated; 1 – 11–12 years of formal schooling; 2 – less than 11 years of formal schooling), occupation of primary income earner (0 – skilled/professional; 1 – semiskilled; 2 – unskilled), employment status of primary income earner (0 – full-time employment; 1 – part-time employment; 2 – unemployed/pension), language spoken at home (0 – English or French; 1 – some English or French; 2 – no English or French) and maternal age at birth (0 – more than 21 years; 1 – 18–21 years; 2 – less than 18 years). The total score is reported with higher scores indicating higher social risk and lower socio-economic status.

*Intellectual functioning:* Participants completed the Vocabulary and Matrix Reasoning subtests of the Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (Wechsler, 1999) to provide an estimate of general intellectual ability (Full Scale IQ, FSIQ,  $M= 100$ ,  $SD= 15$ ). The WASI has adequate internal consistency ( $\alpha = .93$ ), test re-test reliability ( $r= .87$ ) and concurrent validity ( $r= .87$ ) (Garland, 2005).

*Moral reasoning:* The Socio-Moral Reasoning Aptitude Level Task (So-Moral) (Beauchamp, et al., 2013; Dooley, et al., 2010; Vera-Estay, et al., 2014) is a self-paced, visual, computer-based task that presents visual moral dilemmas specifically designed for children and adolescents. The task has gender and age specific versions. The child version (6 to 12 years old) includes 9 dilemmas while the adolescent version (13 to 21 years old) has 10 dilemmas. Each dilemma (see example in Figure 1 for adolescents) consists of: an introductory screen presenting the name of the dilemma (e.g. 'wallet'); three separate screens showing first-person perspective pictures of child or adolescent actors in various social scenarios representing a moral conflict; and a final screen presenting a dichotomous decision (e.g. whether or not to engage in a particular action such as stealing from a shop, cheating at a game, etc.).



**Figure 1.** Example item from the SoMoral task – adolescent male version (Beauchamp, Dooley, & Anderson, 2013). The introductory screen presents the name of the dilemma. A social situation involving a moral dilemma is then presented via three first-person perspective pictures (e.g., a woman is walking and her wallet is about to fall out of her handbag (picture 1); the wallet falls out on the sidewalk while the woman continues on her way (picture 2); the participant finds the wallet and his friends are happy to see the money and appear to suggest they should keep it (picture 3). The following screen presents a dichotomous decision choice and in the final screen participants are asked to provide a justification for their decision, which is recorded verbatim for subsequent coding.

The aggregate number of morally adapted responses is compiled to obtain a moral decision making score, which ranges from 0 to 9 or 10 points depending on the version. Participants are then asked to provide a justification for the choice they made. Each participant’s justification is recorded verbatim and subsequently scored according to a standardized coding system (Beauchamp & Dooley, 2012) based on cognitive developmental approach (Gibbs, 2010; Kohlberg, 1981; Turiel, 1983). Developmental stages of MR have been adapted to fit the social nature of the dilemmas in the So-Moral task and consist of the following: 1) Centration and authoritarian-based consequences; 2) Egocentric/ pragmatic exchanges; 3) Interpersonal focus; 4) Societal regulation; and 5) Societal evaluation (see Table 1). Transition stages (1.5, 2.5, etc.) are used to account for answers that provide elements of two consecutive reasoning stages. When elements of non-consecutive stages are provided, the response is coded according to the highest schema detected. The MR maturity score (0 to 50 points) is obtained by summing the justification scores (a proportion was used to bring the total MR score of the child version to a common denominator of 50). For the purpose of the study, each justification was scored independently by two trained raters and discrepancies were resolved by discussion and consensus. The So-Moral has adequate inter-rater reliability (Cronbach’s  $\alpha = .83$  to  $.94$ ) and construct validity (Dooley, Beauchamp, & Anderson, 2010). The MR maturity score was used as the main dependent variable.

**Table 1.** Brief description of So-Moral coding and examples

Level	Brief Description	Example
1	Moral justifications have an egocentric focus, which is based on obedience to higher authorities and potential consequences to themselves for their actions (e.g. punishment). Thinking at this level is inflexible; there is only one right/wrong way to act.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because I could go to jail</li> </ul>
2	Moral justifications are based on a concept of pragmatic deals or exchanging favours with others ('fair deals'). Thinking is more flexible and is determined by context. The correct option is the one that is right for oneself (self-interest).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because I might need his/her help in the future.</li> </ul>
3	Moral justifications have a focus on interpersonal relationships, a sense of 'good-ness', and feelings such as empathy and trust. Decisions are made with good motives and a prosocial perspective of the world.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because he/she could get hurt.</li> </ul>
4	Moral justifications start to incorporate a broader view of morality; based on the compliance with rules, regulations and standards that society has established to ensure social order.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because if everyone were to be unfaithful, relationships would not have any meaning.</li> </ul>
5	Moral justifications are characterised by the capacity to evaluate situations from various points of view to identify values involved in the specific situation to make the fairest decision. Protection of fundamental values and people's rights is specific to this stage, even though these concepts are expressed very concretely.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because people work hard for their things and we should respect their belongings.</li> </ul>

### *Statistical analyses*

Pearson correlation coefficients were first calculated to examine the relationship between MR maturity, age, intellectual functioning and social risk index. Polynomial contrast analysis was carried out to investigate whether MR development responded to a linear trend with age. Participants were then divided into five groups according to their age (Childhood: 6 to 8 years ; Preadolescence: 9 to 11 years; Early adolescence: 12 to 14 years; Middle adolescence: 15 to 17 years; Late adolescence/early adulthood: 18 to 20 years). These age groupings concord with those of other social and cognitive development studies (Huang et al., 2016; Paus, 2005; Sanders, 2013). Independent t-tests were conducted to determine whether male and female IQ scores differed significantly within each age group and in the whole sample.

After preliminary analyses to ensure no violation of the assumptions of normality,

linearity and homogeneity of variances, analysis of covariance (ANCOVA) was calculated to investigate the main effects of age groups and sex on MR. In addition, ANCOVA was used to test whether MR maturity differs significantly among the age groups. A conservative approach was used by controlling for the effect of intellectual functioning and social risk. Pairwise comparisons with Bonferonni correction were used for post-hoc analyses. Effects sizes (partial  $\eta^2$ ) are reported according to Cohen (1992). Statistical analyses were performed using SPSS 19.0 software.

## Results

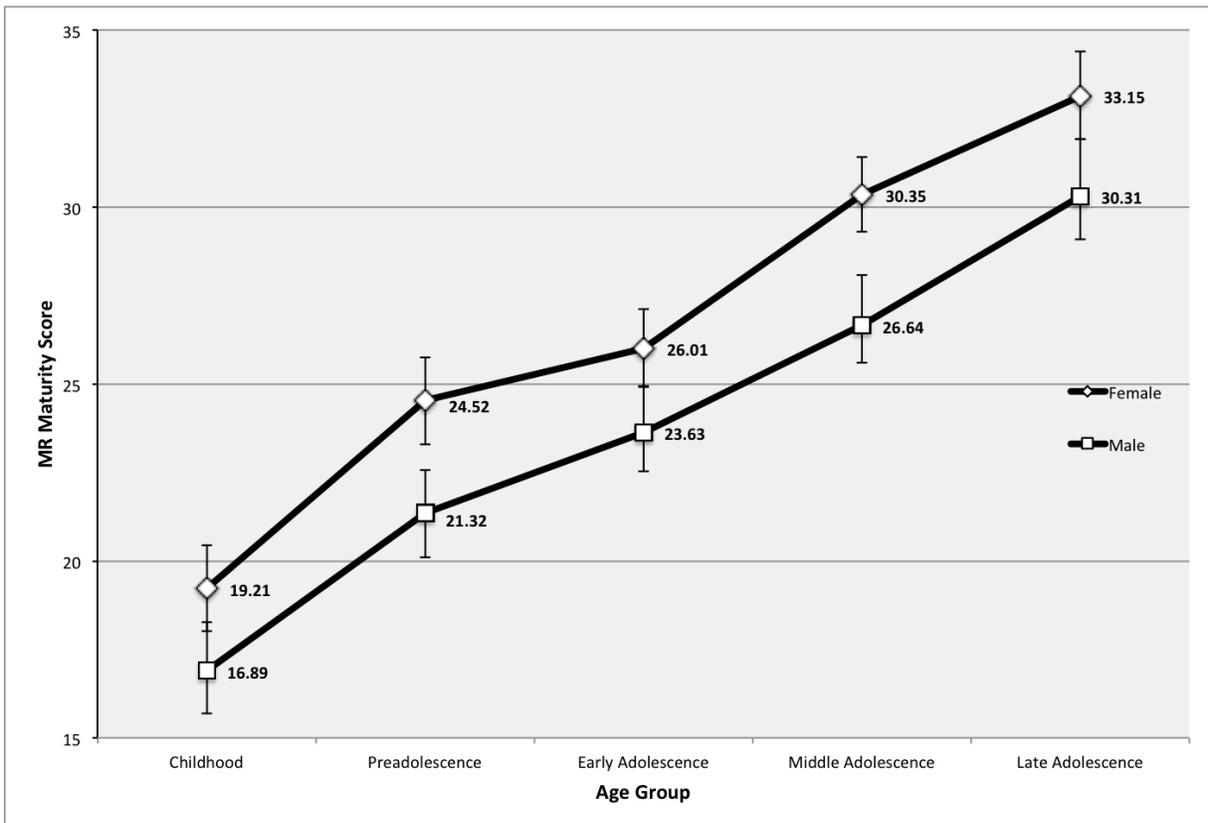
**Table 2.** Characteristics of sample and outcome of the So-Moral

Age group	N	Age in months (SD)	Caucasian (%)	SRI (SD)	IQ (SD)	MR Score (SD)
<b>Childhood (6-8 years)</b>						
Male	16	92.18 (6.9)	93.8	1.75 (2.4)	107.31 (6.9)	16.88 (4.1)
Female	20	93.20 (8.2)	95.0	1.00 (1.1)	107.55 (10.8)	18.95 (6.6)
<i>Total</i>	<i>36</i>	<i>92.75 (7.6)</i>	<i>94.4</i>	<i>1.33 (1.8)</i>	<i>107.44 (10.9)</i>	<i>18.03 (5.7)</i>
<b>Preadolescence (9-11 years)</b>						
Male	21	125.00 (9.9)	95.2	1.29 (1.2)	107.80 (9.7)	21.14 (5.0)
Female	20	124.95 (11.6)	95.0	0.85 (1.2)	109.45 (11.8)	24.43 (4.9)
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>124.97 (10.6)</i>	<i>95.1</i>	<i>1.07 (1.2)</i>	<i>108.63 (10.7)</i>	<i>22.74 (5.1)</i>
<b>Early Adolescence (12-14 years)</b>						
Male	22	166.00 (9.2)	86.4	1.79 (2.1)	105.71 (13.2)	23.80 (5.1)
Female	29	162.93 (10.3)	89.7	1.35 (1.7)	105.90 (12.6)	25.41 (5.5)
<i>Total</i>	<i>51</i>	<i>164.26 (9.9)</i>	<i>88.2</i>	<i>1.53 (1.9)</i>	<i>105.82 (12.7)</i>	<i>24.72 (5.3)</i>
<b>Middle Adolescence (15-17 years)</b>						
Male	18	191.39 (10.9)	88.9	1.53 (1.1)	105.60 (12.5)	25.92 (5.0)
Female	32	196.42 (11.5)	84.8	1.43 (1.4)	110.19 (12.6)	30.14 (5.8)
<i>Total</i>	<i>50</i>	<i>194.65 (11.5)</i>	<i>86.3</i>	<i>1.47 (1.3)</i>	<i>108.70 (12.6)</i>	<i>28.62 (5.9)</i>
<b>Late Adolescence (18-20 years)</b>						
Male	12	230.41 (6.1)	83.3	0.75 (1.1)	120.67 (13.3)	31.54 (5.3)
Female	26	226.04 (6.9)	84.6	1.25 (1.1)	114.92 (10.5)	32.27 (8.2)
<i>Total</i>	<i>38</i>	<i>227.42 (6.9)</i>	<i>84.2</i>	<i>1.06 (1.1)</i>	<i>116.83 (11.6)</i>	<i>32.04 (7.3)</i>

Notes : SRI = Social Risk Index; MR = Moral reasoning

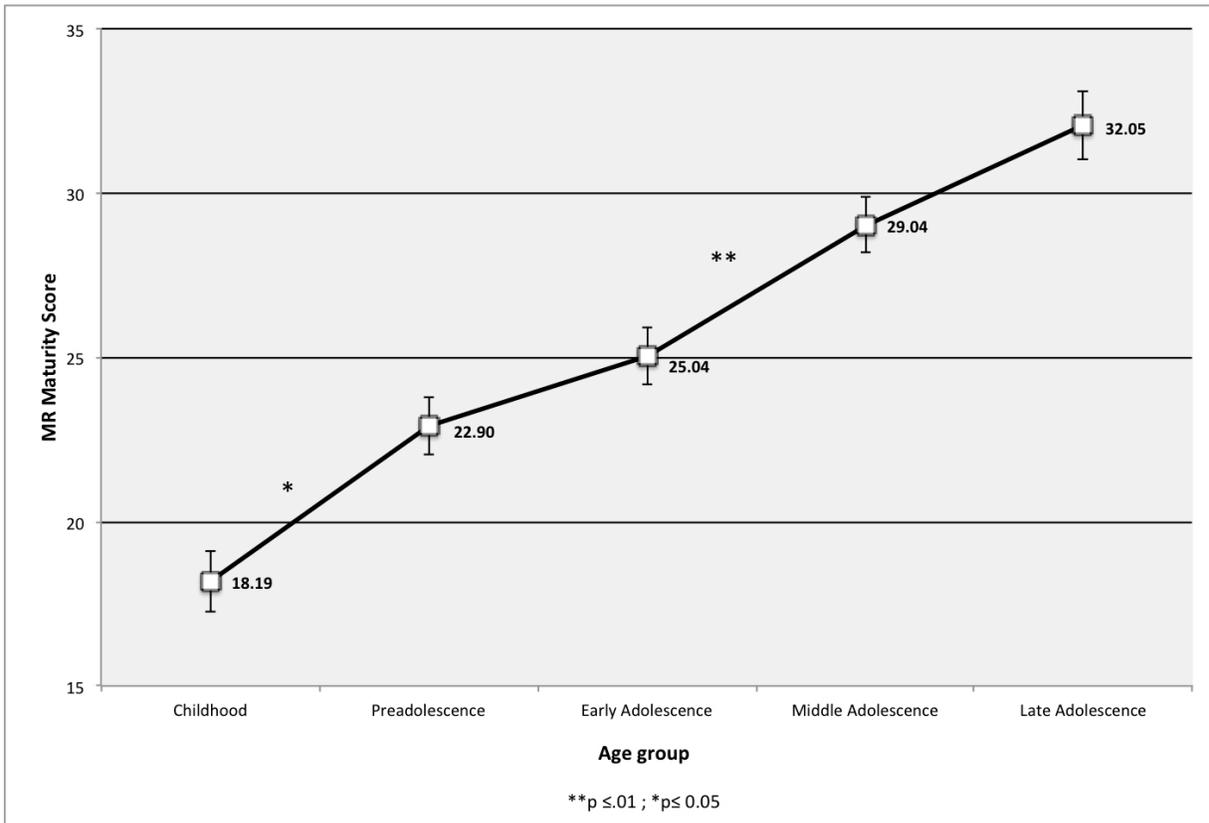
Participants' characteristics and results of the So-Moral across age groups are presented in Table 1. MR maturity was significantly associated with age ( $r=.61$ ,  $p < .001$ ) and IQ ( $r=.33$ ,  $p < .001$ ), but not with social risk ( $r=.03$ ,  $p=.683$ ). A significant linear trend with age was observed for MR,  $F(1.199) = 137.84$ ,  $p < .001$ . After dividing participants into five age-

bands, no interaction between Age group and Sex,  $F(4.179) = 0.148$ ,  $\eta^2=.003$ ) was found. A significant main effect of Sex was found for MR,  $F(1.179) = 10.778$ ,  $p=.001$ ,  $\eta^2=.057$ ). The estimated mean difference between boys and girls across all age groups was 2.89 (95% CI: 1.30 to 4.49,  $p < .001$ ), with girls demonstrating higher MR maturity than boys. Figure 2 shows the differential trajectory of MR between boys and girls. Investigating a possible explanation accounting for this difference, no significant differences between boys ( $M=56.41$ ,  $SD=10.04$ ) and girls ( $M=57.29$ ,  $SD=10.54$ ) were found on verbal IQ scores,  $T(207)=-0.609$ ,  $p=0.543$ . A significant main effect of Age group was also found for MR, with a large effect size,  $F(4.179) = 29.813$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .393$ ). Results of the post-hoc tests (bonferroni correction) for paired comparisons of consecutive age groups revealed significant group differences between childhood and preadolescence and between early adolescence and middle adolescence as shown in Figure 3. To highlight age-related changes and optimize power, we report the data for the entire sample.



**Figure 2.** Performance of girls and boys on the So-Moral task from 6 to 20 years

Notes : MR = moral reasoning. Covariates appearing in the model are evaluated at the following values : IQ = 108.90, SRI =1.28



**Figure 3.** Age-related changes in moral reasoning from 6 to 20 years as assessed using the So-Moral task.

Notes : MR = moral reasoning. Covariates appearing in the model are evaluated at the following values : IQ = 108.90, SRI =1.28

### Discussion

Social cognition tests are increasingly viewed as a valuable supplement to a standard neuropsychological examination in light of their ability to detect problems in social competence and their underlying socio-cognitive deficits. The So-Moral is a novel visual moral reasoning task designed to be used in clinical settings and that has adequate psychometric data (Dooley, et al., 2010), clinical sensitivity (Beauchamp, et al., 2013) and links to more general cognitive functions (Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016). The results of this cross-sectional study provide evidence that the measure is sensitive to

expected developmental changes in one of the largest studies investigating MR in children and adolescents to our knowledge. Of note, a linear increase in MR was identified with age from 6 to 20 years old in typically developing children and adolescents, which is consistent with previous studies using more traditional MR evaluation tools and/or smaller age ranges (Armon & Dawson, 1997; Eisenberg, et al., 2005; Malti, Gasser, & Gutzwiller-Helfenfinger, 2010; Vera-Estay, et al., 2014). The substantial increase in MR observed from childhood to late adolescence echo contemporary research in brain development suggesting that MR, among other socio-cognitive functions, is regulated by physiological age and that this relationship is explained by the cerebral maturation that occurs during development, particularly during adolescence, in regions and systems associated with response inhibition, the calibration of risk and reward, theory of mind and emotion regulation (Decety, Michalska, & Kinzler, 2012; Steinberg, 2005), as well as in the social brain (Blakemore, 2008a; Blakemore & Mills, 2014). It is likely that progressive exposure to social interactions, increasing autonomy and the acquisition of new social roles as individuals age contribute to the emergence of more complex reasoning skills, which are helpful for evaluating situations affecting the moral domain.

When data were examined across five different age-bands, age-related changes in MR were observed. A significant group difference was observed between childhood and preadolescence consistent with the rapid cerebral changes that occur during pre-adolescence (9-12 years old) in fronto-temporal circuits (Lenroot et al., 2007; Tanaka, Matsui, Uematsu, Noguchi, & Miyawaki, 2012). This difference is also in line with well-established developmental gains on neuropsychological measures linked to mature MR, such as improvements in executive functioning (e.g., inhibition, attentional control and cognitive flexibility) during preadolescence (Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001; Korkman, Kemp, & Kirk, 2001; Vera-Estay, et al., 2014). We suggest that such functions could contribute to MR maturity gains during this period as a means of decentration, that is, the ability to shift away from a focus on the self towards attending to situational features or perspectives (Kaplan, 1989). No significant group difference was found between preadolescence and early adolescence. This could possibly be explained by the hormonal processes (i.e., onset of puberty) occurring differentially in youth during this period, which

may introduce greater heterogeneity in performance and consequently blur age differences. Supporting this explanation is our observation that preadolescent girls appear to reach higher MR scores than early adolescent boys. Incidentally, girls tend to reach puberty at an earlier age than boys (2 years earlier typically) (Grison, Heatherton, & Gazzaniga, 2015; Underwood & Van Wyk, 1992). Although the influence of puberty on MR is still unknown, research indicates that pubertal development leads to a progressive increase in emotional sensibility, emotions linked to perspective taking (e.g. empathy, sympathy) and prosocial behavior (Eisenberg, Miller, Shell, McNalley, & Shea, 1991; Eisenberg, Zhou, & Koller, 2001; Hart & Carlo, 2005), which have been associated with higher level of MR (Colby & Kohlberg, 1987; Eisenberg, 1986). In the present study, we did not have pubertal status available across all age groups, but future studies should examine the relationship between puberty and MR development.

Interestingly, age group differences were detected between early adolescence (12 to 14 years) and middle adolescence (15 to 17 years old). These findings contrast with those of more general cognitive functions that have an optimal functional level, such as attention, memory and processing speed, and which are generally associated with minimal improvement in performance after 15 years of age (Gur et al., 2012; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004; Williams et al., 2014). The findings are, however, consistent with claims that MR, among other social skills such as the ability to recognize emotions in others, continues to undergo significant development into adolescence (Burnett & Blakemore, 2009; Sommer, et al., 2014). In contrast, no significant difference was reported between middle and late adolescence, suggesting that MR development slows after age 18, as has been suggested by Armon and Dawson (1997). Globally, these findings are consistent with previously reported studies that have highlighted the protracted nature of socio-cognitive functions (Burnett & Blakemore, 2009; Taylor, Barker, Heavey, & McHale, 2013). The results also align with the development of the social brain at a structural level throughout childhood and adolescence with peaks during preadolescence and ongoing maturation through adolescence and early adulthood (Blakemore, 2008b; Steinberg, 2005; Tanaka, et al., 2012).

As hypothesized, the results suggest that sex differences in MR development may exist, with girls displaying more mature MR than boys across all age groups. This finding

accords with some studies of MR in adults indicating differences in MR between men and women (Bjorklund, 2003; Fumagalli, et al., 2010; Gump, et al., 2000) and a study in a group of children and adolescents (Gibbs, et al., 1992). Sex differences have been reported in other studies of social cognition, with women showing greater empathic ability (Baron-Cohen & Wheelwright, 2004; Eisenberg, 2005) and better emotion processing (Aleman & Swart, 2008; Gur, et al., 2012; Hareli, Shomrat, & Hess, 2009), abilities that are related to MR. Research suggesting sex-specific maturational change at the level of brain development (Courchesne et al., 2000; De Bellis et al., 2001; Giedd et al., 1999; Giedd et al., 1996; Ingahalikar et al., 2014) could provide a possible explanation for these differences. For example, Ingahalikar, et al. (2014) found that females performed better than males on social cognition tests during mid-adolescence (12-14 years) and linked the results to greater interhemispheric connectivity in female brains, which could facilitate communication between analytical and intuitive processing modes. Of note, although speculative at this point, it is possible that the fact that the So-Moral necessitates the generation of verbal responses could put girls at an advantage as they have been shown to perform better than boys on verbal tasks (Halpern et al., 2007). Discounting this hypothesis, however, is the fact that no sex difference was found on verbal IQ in this study. Future research is needed to replicate and delineate the findings pertaining to sex differences in MR, a topic that remains controversial given discrepancies between study findings and methodological approaches.

The present study has a number of strengths and limitations that should be noted. The main strength of the study is the use of a new assessment tool based on an ecological approach, adapted for children and adolescents and designed to overcome methodological flaws associated with traditional MR tasks. Social scenarios comprised of first-person perspective pictures of real children and adolescents were used, commensurate with the idea that inherently social skills, such as MR, should be measured using stimuli as close to real-life as possible, allowing the integration of cognitive, emotional and social information during the task. Compared to previous studies in the field which tend to measure universal MR skills, this approach allows the measurement of MR skills that underlie social relationships and expectations, that are impacted by social environment (e.g. peer influence), that have a role to

play in social conformity and that put boundaries around appropriate and inappropriate social treatment (of oneself and others).

The age range (6-20 years old) explored in this study allows us to take into account MR development across a broad expanse of childhood and adolescence, crucial periods for the maturation of the social brain. As a result, we detected age-differences in MR offering potential opportunities for comparison with clinical populations and providing evidence of the So-Moral developmental sensitivity. While age groupings are ultimately arbitrary, they were on previously used categories in studies of social and cognitive development (Paus, 2005; Sanders, 2013).

Among the limitations were an overrepresentation of caucasians in the sample and females in certain age groups, which could limit generalization and warrants investigation in larger samples with greater ethnic diversity. The late adolescence sample consisted of college students, which lead to higher IQ in that age group. To counter a potential effect of this bias, we controlled for IQ in our main analyses and suggest caution in interpreting and generalizing the findings in the oldest age group.

### **Conclusions and future directions**

In this study, we investigated age-related changes in MR using the So-Moral in a sample of healthy children and adolescents. The findings show continuous improvement in MR from childhood to late adolescence with significant gains between childhood and preadolescence, and between early adolescence and middle adolescence. Importantly, the results indicate that the So-Moral can detect developmental change and is appropriate for a wide age range. The sensitivity of the So-Moral to sex differences during development can also be cautiously interpreted as further evidence of its construct validity as females are thought to mature more rapidly than males in several aspects of social cognition (Gur, et al., 2012). Further exploring MR development in clinical populations suspected to have socio-cognitive impairments (i.e. autism, brain injury, etc.) would provide valuable comparisons pertaining specifically to generalizability and the usefulness of the So-Moral for neuropsychological assessment (see Beauchamp et al., 2013 for preliminary clinical validation in adolescents with traumatic brain injury). This model of “healthy MR development” may enable future research to compare development in clinical samples over time in order to see

how these functions are impacted after injury or insult, and as the subject ages, allowing us to capture the phenomenon of “growing into deficits” (Mateer, Kerns, & Eso, 1996) as it relates to MR.

### **Acknowledgements**

This study was funded by the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada. The funding body was not involved in the study design, collection, analysis or interpretation of data or in the writing of the manuscript and the decision to submit the article for publication.

## References

- Abdi, Z., & Sharma, T. (2004). Social cognition and its neural correlates in schizophrenia and autism. *CNS spectrums*, 9(5), 335-343.
- Adolphs, R. (2009). The social brain: neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 693-716.
- Aleman, A., & Swart, M. (2008). Sex differences in neural activation to facial expressions denoting contempt and disgust. *PLoS One*, 3(11), e3622.
- Anderson, V., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385-406.
- Armon, C., & Dawson, T. L. (1997). Developmental Trajectories in Moral Reasoning Across the Life Span. *Journal of Moral Education*, 26(4), 433-453.
- Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The empathy quotient: an investigation of adults with Asperger syndrome or high functioning autism, and normal sex differences. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 163-175.
- Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). SOCIAL: an integrative framework for the development of social skills. *Psychological Bulletin*, 136(1), 39-64.
- Beauchamp, M. H., & Dooley, J. J. (2012). *Administration and coding manual SocioMoral Reasoning Aptitude Level Task (So Moral)*. Canada: ABCs Laboratory.
- Beauchamp, M. H., Dooley, J. J., & Anderson, V. (2013). A preliminary investigation of moral reasoning and empathy after traumatic brain injury in adolescents. *Brain Injury*, 0(0), 1-7.
- Bjorklund, F. (2003). Differences in the justification of choices in moral dilemmas: effects of gender, time pressure and dilemma seriousness. *Scandinavian Journal of Psychology*, 44(5), 459-466.
- Blakemore, S. J. (2008a). Development of the social brain during adolescence. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 40-49.
- Blakemore, S. J. (2008b). The social brain in adolescence. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 267-277.
- Blakemore, S. J. (2010). The developing social brain: Implications for education. *Neuron*, 65(6), 744-747.

- Blakemore, S. J., & Mills, K. L. (2014). Is adolescence a sensitive period for sociocultural processing? *Annual Review of Psychology, 65*, 187-207.
- Brabeck, M., & Shore, E. (2003). Gender differences in intellectual and moral development? The evidence that refutes the claim. In J. Demick & C. Andreoletti (Eds.), *Handbook of adult development* (pp. 351-368). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Brothers, L. (1990). The social brain: A project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain. *Concepts in Neuroscience, 1*, 27-51.
- Burnett, S., & Blakemore, S. J. (2009). The development of adolescent social cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1167*, 51-56.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1124*, 111-126.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin, 112*(1), 155-159.
- Colby, A., & Kohlberg, L. (1987). *The measurement of moral judgment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Colby, A., Kohlberg, L., Gibbs, J. C., Lieberman, M., Fischer, K., & Saltzstein, H. D. (1983). A longitudinal study of moral judgment. *Monographs of the society for research in child development, 48*(1-2), 1-124.
- Courchesne, E., Chisum, H. J., Townsend, J., Cowles, A., Covington, J., Egaas, B., et al. (2000). Normal brain development and aging: quantitative analysis at in vivo MR imaging in healthy volunteers. *Radiology, 216*(3), 672-682.
- De Bellis, M. D., Keshavan, M. S., Beers, S. R., Hall, J., Frustaci, K., Masalehdan, A., et al. (2001). Sex differences in brain maturation during childhood and adolescence. *Cerebral Cortex, 11*(6), 552-557.
- Decety, J., & Howard, L. H. (2013). The role of affect in the neurodevelopment of morality. *Child Development Perspectives, 7*(1), 49-54.
- Decety, J., Michalska, K. J., & Kinzler, K. D. (2012). The contribution of emotion and cognition to moral sensitivity: a neurodevelopmental study. *Cerebral Cortex, 22*(1), 209-220.
- Demopoulos, C., Hopkins, J., & Davis, A. (2013). A comparison of social cognitive profiles in children with autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: a

- matter of quantitative but not qualitative difference? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5), 1157-1170.
- Dooley, J. J., Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). The Measurement of Sociomoral Reasoning in Adolescents With Traumatic Brain Injury: A Pilot Investigation. *Brain Impairment* 11(2), 152-161.
- Eisenberg, N. (1979). Development of children's prosocial moral judgment. *Developmental Psychology*, 15(2), 128-137.
- Eisenberg, N. (1986). *Altruistic emotion, cognition and behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Eisenberg, N. (2005). The development of empathy-related responding. *Nebraska Symposium on Motivation*, 51, 73-117.
- Eisenberg, N., Cumberland, A., Guthrie, I. K., Murphy, B. C., & Shepard, S. A. (2005). Age changes in prosocial responding and moral reasoning in adolescence and early adulthood. *Journal of Research on Adolescence*, 15(3), 235-260.
- Eisenberg, N., Miller, P. A., Shell, R., McNalley, S., & Shea, C. (1991). Prosocial development in adolescence: a longitudinal study. *Developmental Psychology*, 27(5), 849-857.
- Eisenberg, N., Zhou, Q., & Koller, S. (2001). Brazilian adolescents' prosocial moral judgment and behavior: relations to sympathy, perspective taking, gender-role orientation, and demographic characteristics. *Child Development*, 72(2), 518-534.
- Eslinger, P. J., Flaherty-Craig, C. V., & Benton, A. L. (2004). Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage. *Brain and Cognition*, 55(1), 84-103.
- Frimer, J. A., & Walker, L. J. (2009). Reconciling the self and morality: an empirical model of moral centrality development. *Developmental Psychology*, 45(6), 1669-1681.
- Frith, C., & Frith, U. (2007). Social cognition in humans. *Current Biology*, 17(16), 724-732.
- Fumagalli, M., Ferrucci, R., Marni, F., Marceglia, S., Mrakic-Sposta, S., Zago, S., et al. (2010). Gender-related differences in moral judgments. *Cognitive Processing*, 11(3), 219-226.
- Garland, T. (2005). Test review : WASI. . *Journal of Occupational Psychology, Employment and Disability*, 7(2), 130-135.
- Gibbs, J. C. (2010). *Moral development & reality : beyond the theories of Kohlberg and Hoffman*: (2nd Ed.). Boston : Allyn & Bacon.

- Gibbs, J. C. (2013). *Moral development & reality : beyond the theories of Kohlberg, Hoffman and Haidt (3rd ed.)*. New York: Oxford University Press.
- Gibbs, J. C., Basinger, K. S., & Fuller, D. (1992). *Moral maturity: Measuring the development of sociomoral reflection*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc; England.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., et al. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Giedd, J. N., Snell, J. W., Lange, N., Rajapakse, J. C., Casey, B. J., Kozuch, P. L., et al. (1996). Quantitative magnetic resonance imaging of human brain development: ages 4-18. *Cerebral Cortex*, 6(4), 551-560.
- Gilligan, C. (1982). *In a different voice: psychological theory and women's development*. Cambridge: Harvard University Press.
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105-2108.
- Grison, S., Heatherton, T., & Gazzaniga, M. (2015). *Psychology in Your Life*. New York: Norton & Company.
- Groman, C. M., & Barzman, D. H. (2014). The impact of ADHD on morality development. *Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 6(2), 67-71.
- Gump, L., Baker, R., & Roll, S. (2000). Cultural and Gender Differences in Moral Judgment: A Study of Mexican Americans and Anglo-Americans. *Hispanic Journal of Behavioral Sciences*, 22(1), 78-93.
- Gur, R. C., Richard, J., Calkins, M. E., Chiavacci, R., Hansen, J. A., Bilker, W. B., et al. (2012). Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8-21. *Neuropsychology*, 26(2), 251-265.
- Halpern, D. F., Benbow, C. P., Geary, D. C., Gur, R. C., Hyde, J. S., & Gernsbacher, M. A. (2007). The Science of Sex Differences in Science and Mathematics. *Psychological science in the public interest : a journal of the American Psychological Society*, 8(1), 1-51.

- Hardy, S. A., & Carlo, G. (2011). Moral identity: What is it, how does it develop, and is it linked to moral action. *Child Development Perspectives, 97*, 123-141.
- Hareli, S., Shomrat, N., & Hess, U. (2009). Emotional versus neutral expressions and perceptions of social dominance and submissiveness. *Emotion, 9*(3), 378-384.
- Harenski, C. L., Antonenko, O., Shane, M. S., & Kiehl, K. A. (2008). Gender differences in neural mechanisms underlying moral sensitivity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 3*(4), 313-321.
- Hart, D., & Carlo, G. (2005). Moral development in adolescence. *Journal of Research on Adolescence, 15*(3), 223-233.
- Huang, F., Sun, L., Qian, Y., Liu, L., Ma, Q. G., Yang, L., et al. (2016). Cognitive Function of Children and Adolescents with Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Learning Difficulties: A Developmental Perspective. *Chinese Medical Journal, 129*(16), 1922-1928.
- Ingalhalikar, M., Smith, A., Parker, D., Satterthwaite, T. D., Elliott, M. A., Ruparel, K., et al. (2014). Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111*(2), 823-828.
- Jaffee, S., & Hyde, J. S. (2000). Gender differences in moral orientation: a meta-analysis. *Psychological Bulletin, 126*(5), 703-726.
- Kaplan, M. F. (1989). Information integration in moral reasoning: Conceptual and methodological implications. In J. R. N. Eisenberg, & E. Staub (Ed.), *Social and moral values: Individual and societal perspectives* (pp. 117-135). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Killen, M., & Rutland, A. (2011). The Emergence of Morality in Childhood. In Wiley-Bleekwell (Ed.), *Children and Social Exclusion* (pp. 9-36).
- Kohlberg, L. (1958). *The development of modes of moral thinking and choice in the years 10 to 16*. Unpublished Ph.D, Univ. of Chicago.
- Kohlberg, L. (1981). *The meaning and measurement of moral development*. Worcester, Mass.: Clark University Press.
- Kohlberg, L., Levine, C., & Hewer, A. (1983). *Moral stages : a current formulation and a response to critics*. New York: Karger.

- Korkman, M., Kemp, S. L., & Kirk, U. (2001). Effects of age on neurocognitive measures of children ages 5 to 12: a cross-sectional study on 800 children from the United States. *Developmental Neuropsychology*, *20*(1), 331-354.
- Krettenauer, T., Campbell, S., & Hertz, S. (2013). Moral emotions and the development of the moral self in childhood. *European Journal of Developmental Psychology*, *10*(2), 159-173.
- Lenroot, R. K., Gogtay, N., Greenstein, D. K., Wells, E. M., Wallace, G. L., Clasen, L. S., et al. (2007). Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *NeuroImage*, *36*(4), 1065-1073.
- Lifton, P. D. (1985). Individual differences in moral development: the relation of sex, gender, and personality to morality. *Journal of Personality*, *53*(2), 306-334.
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, *75*(5), 1357-1372.
- Malti, T., & Buchmann, M. (2010). The development of moral emotions in early childhood. *Praxis der Kinderpsychologie und Kinderpsychiatrie*, *59*(7), 545-560.
- Malti, T., & Dys, S. P. (2015). A Developmental Perspective on Moral Emotions. *Topoi*, *34*(2), 453-459.
- Malti, T., Gasser, L., & Gutzwiller-Helfenfinger, E. (2010). Children's interpretive understanding, moral judgments, and emotion attributions: relations to social behaviour. *British Journal of Developmental Psychology*, *28*, 275-292.
- Mateer, C. A., Kerns, K. A., & Eso, K. L. (1996). Management of attention and memory disorders following traumatic brain injury. *Journal of Learning Disabilities*, *29*(6), 618-632.
- McGuire, J., Langdon, R., & Brune, M. (2014). Moral cognition in schizophrenia. *Cognitive Neuropsychiatry*, *19*(6), 495-508.
- Mendle, J., Turkheimer, E., & Emery, R. E. (2007). Detrimental Psychological Outcomes Associated with Early Pubertal Timing in Adolescent Girls. *Developmental Review*, *27*(2), 151-171.
- Mikhail, J. (2007). Universal moral grammar: theory, evidence and the future. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(4), 143-152.

- Moll, J., De Oliveira-Souza, R., Bramati, I. E., & Grafman, J. (2002). Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments. *NeuroImage*, *16*(3), 696-703.
- Moll, J., Zahn, R., De Oliveira-Souza, R., Krueger, F., & Grafman, J. (2005). OPINION The neural basis of human moral cognition. *Nature Reviews Neuroscience* *6*, 11.
- Moran, J. M., Young, L. L., Saxe, R., Lee, S. M., O'Young, D., Mavros, P. L., et al. (2011). Impaired theory of mind for moral judgment in high-functioning autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(7), 2688-2692.
- Ongley, S. F., Nola, M., & Malti, T. (2014). Children's giving: moral reasoning and moral emotions in the development of donation behaviors. *Frontiers in Psychology*, *5*, 458.
- Orobio de Castro, B., Veerman, J. W., Koops, W., Bosch, J. D., & Monshouwer, H. J. (2002). Hostile attribution of intent and aggressive behaviour. *Child Development*, *73*, 916-934.
- Paciello, M., Fida, R., Tramontano, C., Lupinetti, C., & Caprara, G. V. (2008). Stability and change of moral disengagement and its impact on aggression and violence in late adolescence. *Child Development*, *79*(5), 1288-1309.
- Pascual, L., Rodrigues, P., & Gallardo-Pujol, D. (2013). How does morality work in the brain? A functional and structural perspective of moral behavior. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *7*, 65.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(2), 60-68.
- Penn, D. L., Corrigan, P. W., Bentall, R. P., Racenstein, J. M., & Newman, L. (1997). Social cognition in schizophrenia. *Psychological Bulletin*, *121*(1), 114-132.
- Pinkham, A. E., & Penn, D. L. (2006). Neurocognitive and social cognitive predictors of interpersonal skill in schizophrenia. *Psychiatry research*, *143*(2-3), 167-178.
- Rest, J. R. (1975). Longitudinal study of the Defining Issues Test of moral judgment: A strategy for analyzing developmental change. *Developmental Psychology*, *11*(6), 738-748.
- Rest, J. R. (1979). *Development in judging moral issues*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

- Roberts, G., Howard, K., Spittle, A. J., Brown, N. C., Anderson, P. J., & Doyle, L. W. (2008). Rates of early intervention services in very preterm children with developmental disabilities at age 2 years. *Journal of Pediatrics and Child Health, 44*(5), 276-280.
- Rosen, J. B., Brand, M., & Kalbe, E. (2016). Empathy Mediates the Effects of Age and Sex on Altruistic Moral Decision Making. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 10*(67).
- Sanders, R. A. (2013). Adolescent psychosocial, social, and cognitive development. *Pediatrics in Review, 34*(8), 354-358.
- Sommer, M., Meinhardt, J., Rothmayr, C., Dohnel, K., Hajak, G., Rupprecht, R., et al. (2014). Me or you? Neural correlates of moral reasoning in everyday conflict situations in adolescents and adults. *Social Neuroscience, 9*(5), 452-470.
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(2), 69-74.
- Tanaka, C., Matsui, M., Uematsu, A., Noguchi, K., & Miyawaki, T. (2012). Developmental trajectories of the fronto-temporal lobes from infancy to early adulthood in healthy individuals. *Developmental Neuroscience, 34*(6), 477-487.
- Tangney, J. P., & Dearing, R. L. (2002). Gender differences in morality. In M. R. F. Borstein & Masling (Ed.), *Empirical studies in psychoanalytic theories : The psychodynamics of gender and gender role* (Vol. 10, pp. 251-269). Washington, DC: American Psychological Association.
- Taylor, S. J., Barker, L. A., Heavey, L., & McHale, S. (2013). The typical developmental trajectory of social and executive functions in late adolescence and early adulthood. *Developmental Psychology, 49*(7), 1253-1265.
- Tonks, J., Williams, W. H., Frampton, I., Yates, P., & Slater, A. (2007). Reading emotions after child brain injury: a comparison between children with brain injury and non-injured controls. *Brain Injury, 21*(7), 731-739.
- Turiel, E. (1983). *The development of social knowledge : morality and convention*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Underwood, L. E., & Van Wyk, J. J. (1992). Normal and aberrant growth. In J. D. Wilson & D. W. Foster (Eds.), *Williams textbook of endocrinology (8th ed.)* (pp. 1079-1138). Philadelphia: W.B. Saunders.

- Vera-Estay, E., Beauchamp, M., & Dooley, J. (2014). Cognitive underpinnings of moral reasoning in adolescence: The contribution of executive functions. *Journal of Moral Education, 44*(1), 17-33.
- Vera-Estay, E., Seni, A. G., Champagne, C., & Beauchamp, M. H. (2016). All for One: Contributions of Age, Socioeconomic Factors, Executive Functioning, and Social Cognition to Moral Reasoning in Childhood. *Frontiers in Psychology, 7*, 227.
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia, 45*(1), 174-194.
- Walker, L. J. (1986). Sex differences in the development of moral reasoning: A critical review. *Child Development, 57*, 522-526.
- Wechsler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI)*. San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Williams, J., Crowe, L. M., Dooley, J., Collie, A., Davis, G., McCrory, P., et al. (2014). Developmental Trajectory of Information-Processing Skills in Children: Computer-Based Assessment. *Applied Neuropsychology Child, 1-9*.

## Article 2

### **Moral reasoning in children with focal brain insults to frontotemporal regions**

Chiasson, V.<sup>1,2</sup>, Elkaim, L.<sup>3</sup>, Weil, A. G.<sup>3</sup>, Crevier, L.<sup>3</sup>, & Beauchamp, M.H.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Psychology, University of Montreal, Canada

<sup>2</sup>Sainte-Justine Hospital Research Center, Montreal, Canada.

<sup>3</sup>Neurosurgery Service, Department of Surgery, Sainte-Justine Hospital, University of Montreal, Montreal, Canada

Publication : Chiasson, V., Elkaim, L., Weil, A. G., Crevier, L., & Beauchamp, M.H. (2017) Moral reasoning in children with focal brain insults to frontotemporal regions. *Brain Impairment*, 18(1), 102-116.

## **Abstract**

Neuroscientific evidence indicates that human social functioning is supported by a distributed network of frontal and temporal brain regions that undergoes significant development during childhood and adolescence. Clinical studies of individuals with early brain insults (EBI) to frontotemporal regions suggest that such lesions may interfere with the maturation of sociocognitive skills and lead to increased sociobehavioural problems. However, little attention has focused on the direct assessment of sociocognitive skills, such as moral reasoning, following focal EBI. In the present study, the performance of 15 patients with focal EBI (8-16 years) was compared to that of 15 demographically-matched controls on basic neuropsychological measures (IQ and executive functions), sociocognitive tasks (moral reasoning, moral decision-making and empathy) and parent reports of sociobehavioural problems and social adaptive skills. Patients with focal EBI had significantly lower levels of moral reasoning maturity, moral decision-making and empathy than their matched controls, but did not differ on more general measures of cognition. Their parents also reported increased sociobehavioural problems. These findings suggest that focal EBI to frontotemporal regions can result in reduced sociocognitive capacities, more specifically moral reasoning, and increased vulnerability to sociobehavioural problems.

## **Introduction**

The way in which an individual understands and interacts with the social world is represented in the functions of the social brain, a set of wide-ranging neural networks involved in the perception of social cues and the regulation of socio-emotional functioning and behaviour (Cacioppo & Decety, 2011; Frith & Frith, 2010). The social brain includes frontal, temporal and limbic regions, and parts of the basal ganglia (Adolphs, 2009; Beauchamp & Anderson, 2010). The perceptual and cognitive functions that support this system are collectively called social cognition and underpin more global social development and competence (Beauchamp & Anderson, 2010). The development of the social brain is a dynamic process that undergoes significant and protracted evolution from childhood to early adulthood (Blakemore, 2008; Burnett & Blakemore, 2009). This maturation involves a complex and dynamic set of genetically guided processes by which neural structures, particularly in frontotemporolimbic areas, interact with the environment to shape the emergence of emotional and social behaviour (Bigler et al., 2013; Blakemore & Frith, 2004; Jernigan, Baare, Stiles, & Madsen, 2011; Stiles & Jernigan, 2010). As a result, the developing social brain is vulnerable to early insult, which has the potential to disrupt neural maturation, as well as the development of associated socio-cognitive skills and may result in changes to expected trajectories of social development across childhood and adolescence.

It has been suggested that the nature of brain pathology (i.e. focal vs. diffuse insult) may play a particularly important role in mediating outcome after EBI (V. Anderson, Spencer-Smith, & Wood, 2011). Traditionally it has been argued that when early damage is focal (e.g. tumor, stroke, focal dysplasia, etc.), there is a capacity for neuronal reorganization and relatively better functional outcome (Aram & Ekelman, 1986; Stiles, Reilly, Paul, & Moses, 2005). In contrast, sustaining a generalized cerebral insult (e.g. traumatic brain injury, cerebral infection, etc.) is associated with slower recovery and more severe impairments (V. Anderson, Catroppa, Morse, Haritou, & Rosenfeld, 2005). In keeping with this, studies on social outcomes after traumatic brain injury (TBI) in youth have shown that children and adolescent survivors have an elevated risk of social dysfunction, with consistent difficulties identified for social adjustment and social cognition (V. Anderson, Godfrey, Rosenfeld, & Catroppa, 2012; Rosema, Crowe, & Anderson, 2012; Yeates et al., 2004). Among the sociocognitive functions

affected are emotion recognition (Tonks, Williams, Frampton, Yates, & Slater, 2007; Turkstra, McDonald, & DePompei, 2001), theory of mind (Dennis et al., 2012; Snodgrass & Knott, 2006; Turkstra, Dixon, & Baker, 2004), social problem-solving (Ganesalingam, Yeates, Sanson, & Anderson, 2007) and moral reasoning (Beauchamp, Dooley, & Anderson, 2013; Dooley, Beauchamp, & Anderson, 2010). While there is mounting evidence that trauma-induced neuropathology may influence social behaviour following early TBI, it is less clear how early lesions of focal aetiology impact social behaviour and social cognition. The paucity of research in this area may be attributable to several factors: 1) Data describing the impact of focal EBI on social functioning comes mainly from case studies with few group studies conducted; 2) Much of our knowledge on outcomes after focal EBI relies on aspects of general cognition (intelligence, language, motor function, etc.); and 3) As mentioned above, it is thought that focal injuries generally have better prognosis than diffuse injuries.

Existing reports of focal EBI outcome on more general aspects of cognition provide some information on the recovery of the immature brain after focal lesions. Residual language deficits following early left or right hemisphere lesions appear to be more subtle in children compared to adults (Bates et al., 1997; Chilosi et al., 2008), whereas the development of visuospatial function following early focal brain damage corresponds more closely to findings obtained in adults with similar lesions (Stiles et al., 2008). Regarding intellectual functioning, children with focal brain lesions generally perform below expected norms, but still within the average range (Carey, Barakat, Foley, Gyato, & Phillips, 2001; Hetherington, Tuff, Anderson, Miles, & deVeber, 2005; Hogan, Kirkham, & Isaacs, 2000). Duval et al. (2008) conducted a study in 240 patients with focal brain lesions and found that lower intellectual quotient (IQ) was associated with early occurring lesions rather than those sustained later in life, although scores remained in the average range. More specifically, IQ change over time was negative when the lesions occurred early in childhood, whereas adult onset cases benefited from recovery over time with age, thus highlighting the vulnerability of the developing brain to early insult.

The literature on social outcomes after focal EBI consists mostly of reports of individual cases presenting with prefrontal damage, often assessed in adulthood, or of

aetiology-specific studies of global social competence after particular medical conditions. These reports suggest that early onset lesions to the prefrontal cortex could lead to severe sociobehavioural problems (S. W. Anderson, Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1999; Bahia et al., 2013; Boes et al., 2011; Eslinger, Flaherty-Craig, & Benton, 2004). A review of 31 studies on psychosocial adjustment in survivors of childhood brain tumors also suggests that these patients are at risk for deficits in social competence, defined as a multidimensional construct comprised of adaptive behaviour, social skills, and peer acceptance (Fuemmeler, Elkin, & Mullins, 2002). Studies on paediatric stroke also document poorer social functioning following childhood ischemic damage (V. Anderson et al., 2014; Galvin, Hewish, Rice, & Mackay, 2011; Lo et al., 2014). In a large-scale study of 147 children with focal EBI of various aetiologies including developmental, ischemic, neuroplastic, traumatic and infective brain lesions, Greenham, Spencer-Smith, Anderson, Coleman, and Anderson (2010) reported that children sustaining these types of lesions were at high risk for social impairment, according to teachers' reports. Interestingly, lesion characteristics (location and laterality) were not predictive of social outcomes.

Despite recognition that focal EBI is associated with an elevated risk of global social dysfunction, the underlying causes are not fully understood. It seems likely that the presence of deficits in one or a number of sociocognitive functions may contribute to putative social impairments. Findings in this regard emerge from a case series of individuals with early prefrontal damage, which reports that social impairments are associated with deficits in executive functions, failure to acquire complex social knowledge and lower levels of empathy (Eslinger, et al., 2004). However some of the patients in that study were tested during adulthood, had trauma-induced pathology, and formal testing of social cognition was limited or indirectly studied.

The recent description of heuristic models of social development have sparked interest in creating tools to assess social cognition in clinical populations with the aim of identifying the underpinnings of global sociobehavioural problems (Beauchamp & Anderson, 2010; Yeates et al., 2007). Moral reasoning (MR) is a sociocognitive function that is thought to play an important role in social competence and has been understudied in neurological populations.

MR is defined as how individuals think about moral emotions and conventions that govern social interactions in their everyday lives (Haidt, 2001). It is now widely accepted that MR is driven by distinct neural networks that overlap with the social brain and include frontotemporal limbic regions (Greene, Nystrom, Engell, Darley, & Cohen, 2004; Sevinc & Spreng, 2014). Studies from developmental psychology suggest that MR is acquired through stages starting from an ego-oriented morality to a broader, society-oriented perspective (Gibbs, 2010; Turiel, 1983). The development of MR is thus potentially vulnerable to disruption in cognitive growth and brain function, such as in focal EBI. In non-injured children, important links exist between MR, empathy, externalising behaviour and social adjustment which suggest that poorer MR and empathy are associated with juvenile delinquency (Jolliffe & Farrington, 2004; Raaijmakers, Engels, & Van Hoof, 2005; Schonert-Reichl, 1999; Vera-Estay, Beauchamp, & Dooley, 2014; Vera-Estay, Seni, Champagne, & Beauchamp, 2016). MR has also been found to be associated with several executive functions, including cognitive flexibility, inhibition and verbal fluency (Vera-Estay, Beauchamp, & Dooley, 2014; Vera-Estay, Seni, Champagne, & Beauchamp, 2016).

Despite these associations, studies investigating MR in focal EBI are scarce. Initial evidence of moral impairment after focal EBI emerges from three case studies of patients with prefrontal lobe damage who displayed less developmentally mature levels of MR (S. W. Anderson, et al., 1999; Boes, et al., 2011; Grattan & Eslinger, 1992). In these studies, MR was assessed during adulthood using Kohlberg's Moral Judgment Interview (Colby & Kohlberg, 1987) a semi-structured interview that presents extreme moral dilemmas. While other indications of moral impairments after focal lesions are primarily anecdotal, these studies provide the groundwork for further exploration of MR in focal EBI. To our knowledge, only one study so far has examined the direct, quantitative effect of focal EBI on MR in a group of paediatric patients, reporting that 16 children with focal frontal lesions had lower levels of MR and poorer adaptive behaviour ratings than controls on a paper-pencil questionnaire (Couper, Jacobs, & Anderson, 2002).

The goals of the present study were therefore to: 1) investigate social cognition, social behaviour and social adaptive skills in a group of children and adolescents with focal EBI. It

was expected that these individuals would perform more poorly than their typically developing peers on measures of MR (MR maturity, moral decision-making) and empathy, display more sociobehavioural problems and have poorer social adaptive skills; and 2) explore the links between social cognition (MR maturity, moral decision-making and empathy) and more general cognitive measures such as IQ and executive functioning (cognitive flexibility), as well as social behaviour in the focal EBI group. It was expected that better sociocognitive skills would be associated with fewer sociobehavioural problems and better social adaptive skills. In line with current literature in moral development (Vera-Estay, et al., 2014), it was also expected that IQ and cognitive flexibility would be positively correlated with MR maturity. We sought to meet these goals by using a novel visual moral reasoning measure that is based on an ecological approach and is adapted for children and adolescents, the Socio-Moral Reasoning Aptitude Level Task (So-Moral), and by studying a group of patients with focal frontal or temporal lesions to reflect the fact that the social brain is subsumed by both frontal and extra-frontal regions.

## **Methods**

### Participants

Thirty children and adolescents (aged 8-16 years) participated in the study. The clinical sample consisted of 15 children (10 males, 5 females) with focal frontal or temporal lobe lesions identified by magnetic resonance imaging (MRI). These children were recruited from the neurosurgery department at a tertiary urban paediatric hospital. To meet the selection criteria for the study, children were required to be fluent in English or French, be clinically stable (e.g., patients with severe or hard to control epilepsy were not included), and to have documented evidence of a focal lesion identified within frontal or temporal areas (e.g. arteriovenous malformation rupture, tumor, cerebral cyst, cavernoma, etc.). Children were excluded if they had evidence of diffuse injury. Seven patients had surgical resection and they were all seen at least 6 months post-operatively to minimize acute recovery effects. See Table 1 for the lesion characteristics of the Focal EBI group and Figure 1 for examples of focal neuropathology identified via MRI. Presence of seizure history was recorded since it is associated with poorer social outcomes (Greenham, et al., 2010). Fifteen control participants (10 males, 5 females) were recruited from a healthy participant database. These controls were

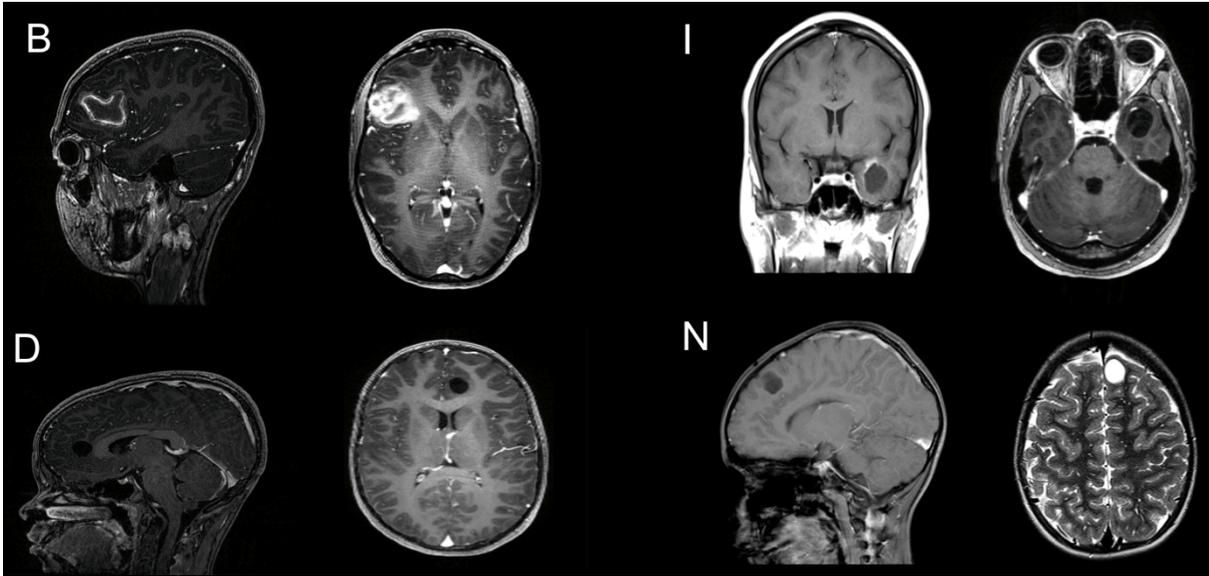
attending local elementary and high schools. They were individually matched to clinical participants on sex, age ( $\pm 12$  months) and parental education. Controls were excluded if they had any history of intellectual disability or developmental, psychiatric or neurological disturbance.

**Table 1.** Characteristics of the Focal EBI patients and their scores on the So-Moral

Patient	Sex	Age	Aetiology	Lesion description			Time since diagnosis <sup>1</sup>	Seizures	MR Maturity	MR stage
				Side	Lobe	Location				
A	M	12	AVM	Right	Frontal	IFG	41	No	24.0	2
B	F	13	AVM	Right	Frontal	MFG, IFG	11	No	26.5	3
C	M	13	Tumor	Left	Temporal	MTG, ITG	77	No	22.5	2
D	M	13	Cyst	Left	Frontal	ACG	12	Yes	19.5	2
E	M	13	AVM	Left	Fontal	OFG	32	No	24.5	2
F	F	16	Tumor	Left	Frontal	IFG	98	Yes	36.5	4
G	M	11	Tumor	Left	Temporal	STG, MTG	75	No	17.0	2
H	M	13	Tumor	Right	Temporal	MTG, ITG	54	Yes	20.5	2
I	F	16	Tumor	Left	Temporal	MTG, ITG	36	Yes	33.0	3
J	M	11	Cyst	Left	Temporal	STG, MTG	83	Yes	20.5	2
K	F	8	Cavernoma	Right	Frontal	SFG	68	No	13.5	1
L	F	11	Tumor	Left	Temporal	ITG	15	No	31.0	3
M	M	16	Tumor	Left	Frontal	MFG, IFG	96	Yes	20.0	2
N	M	11	Tumor	Left	Frontal	SFG	20	Yes	23.0	2
O	M	12	Cavernoma	Left	Frontal	MFG	12	No	20.5	2

1. In months.

Abbreviations: AVM = arteriovenous malformation rupture; IFG = Inferior frontal gyrus; MFG = middle frontal Gyrus; SFG = superior frontal gyrus; OFG = orbital frontal gyrus; ACG = anterior cingulate gyrus; ITG = inferior temporal gyrus; MTG = middle temporal gyrus; STG = superior temporal gyrus; MR = moral reasoning.



**Figure 1.** Examples of focal lesions identified in study participants via magnetic resonance imaging. Images are in radiological perspective (subject's left on viewer's right). Sagittal and axial views are presented for Patients B, D, N and coronal and axial views for Patient I. Patient B: Intraparenchymal hemorrhagic lesion in the right ventrolateral prefrontal cortex of the inferior frontal gyrus and parts of the orbitofrontal cortex following AVM rupture. Patient D: Neuro-epithelial cystic lesion in the left anterior cingulate cortex located anterior to the left forceps minor of the genu of the corpus callosum. Patient I: Mixed neuroglial tumor in the left temporopolar cortex (parts of the inferior and middle temporal gyri) anterior to the amygdala. Patient N: Brain tumor (DNET) in the ventromedial prefrontal cortex (anterio-medial portion of the superior frontal gyrus).

Measures

*Demographic and developmental variables:* Demographic and developmental information was collected via an in-house questionnaire completed by parents and pertaining to their child's medical, developmental, and social history.

*Intellectual functioning:* Participants completed the Vocabulary and Matrix Reasoning subtests of the Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI, Wechsler, 1999), to provide an estimate of general intellectual ability (Full Scale IQ, FSIQ,  $M= 100$ ,  $SD= 15$ ). The WASI has adequate internal consistency ( $\alpha = .93$ ), test re-test reliability ( $r= .87$ ) and concurrent validity ( $r= .87$ ) (Garland, 2005).

*Executive functioning :* Participants completed the Trail Making Test from the Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS, Delis, Kaplan, & Kramer, 2001) as a measure of

cognitive flexibility. The Number–Letter sequencing versus Number–Letter switching contrast score was used in analyses (range 1–19, M = 10, SD = 3).

*Moral reasoning:* The Socio-Moral Reasoning Aptitude Level Task (So-Moral, Beauchamp, et al., 2013; Dooley, et al., 2010; Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016) is a self-paced, visual, computer-based task that presents visual moral dilemmas specifically designed for children and adolescents. The task has gender and age specific versions and includes 10 dilemmas. Each dilemma (see example in Figure 2) consists of: an introductory screen presenting the name of the dilemma (e.g. ‘wallet’); three separate screens showing first-person perspective pictures of child or adolescent actors in various social scenarios representing a moral conflict (e.g. concerns with justice, welfare/harm and rights) according to Social Domain Theory (Turiel, 1983); and a final screen presenting a dichotomous decision (e.g. whether or not to engage in a particular action such as stealing from a shop, cheating at a game, etc.).



**Figure 2.** Example item from the So-Moral task

The aggregate number of morally adapted responses is compiled to obtain a moral decision making score, which ranges from 0 to 10 points. Participants are then asked to provide a justification for the choice they made. Each participant’s justification is recorded verbatim and subsequently scored according to a standardized coding system (Beauchamp & Dooley, 2012) based on the cognitive developmental approach (Gibbs, 2010; Kohlberg, 1981; Turiel, 1983). Developmental stages of MR have been adapted to fit the social nature of the dilemmas in the So-Moral task and consist of the following: 1) Centractions and authoritarian-based consequences; 2) Egocentric/ pragmatic exchanges; 3) Interpersonal focus; 4) Societal regulation; and 5) Societal evaluation (see Table 2).

**Table 2.** Brief description of So-Moral coding and examples

Level	Brief Description	Example
1	Moral justifications have an egocentric focus, which is based on obedience to higher authorities and potential consequences to themselves for their actions (e.g. punishment). Thinking at this level is inflexible; there is only one right/wrong way to act.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because I could go to jail</li> </ul>
2	Moral justifications are based on a concept of pragmatic deals or exchanging favours with others ('fair deals'). Thinking is more flexible and is determined by context. The correct option is the one that is right for oneself (self-interest).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because I might need his/her help in the future.</li> </ul>
3	Moral justifications have a focus on interpersonal relationships, a sense of 'good-ness', and feelings such as empathy and trust. Decisions are made with good motives and a prosocial perspective of the world.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because he/she could get hurt.</li> </ul>
4	Moral justifications start to incorporate a broader view of morality; based on the compliance with rules, regulations and standards that society has established to ensure social order.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because if everyone were to be unfaithful, relationships would not have any meaning.</li> </ul>
5	Moral justifications are characterised by the capacity to evaluate situations from various points of view to identify values involved in the specific situation to make the fairest decision. Protection of fundamental values and people's rights is specific to this stage, even though these concepts are expressed very concretely.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Because people work hard for their things and we should respect their belongings.</li> </ul>

Transition stages (1.5, 2.5, etc.) are used to account for answers that provide elements of two consecutive reasoning stages. When elements of non-consecutive stages are provided, the response is coded according to the highest schema detected. The MR maturity score (0 to 50 points) is obtained by summing the justification scores. The MR maturity score was translated into an overall moral maturity level as follows : Stage 0=0-5 points, Stage 1=6–15 points, Stage 2=16–25 points, Stage 3=26–35 points, Stage 4=36–45 points and Stage 5=46-50 points. All scoring was done blind to diagnosis and group membership. A second rater independently scored 20% of the So-Moral justifications. The consistency for the ratings was 0.92 indicating high inter-rater reliability. Discrepancies were resolved by discussion and consensus.

*Empathy* : Empathy was measured using the Index of Empathy for Children and Adolescents (IECA, for participants aged 12 and over) (Bryant, 1982) and its adapted parent version, the Griffith Empathy Measure (GEM, for participants aged 11 and under) (Dadds et al., 2008). Both the IECA and GEM are general empathy questionnaires measuring an individual's

understanding of other people's emotions. The IECA is a self-report questionnaire with 22 items using a yes/no format in the first-person. In the GEM, questions are reworded in the third person format. For example the IECA item "I get upset when I see an animal being hurt" is worded as "My child gets upset when he/she sees an animal being hurt » in the GEM. The original version of the GEM is a 23 items questionnaire with a 9 point Likert scale. For the purpose of this study, we removed the item that differs between the two scales and used a yes/no format to make the scaling of the two questionnaires comparable. Therefore, items on both measures were scored on a dichotomous scale (0=non-empathic response ; 1=empathic response), with higher scores corresponding to higher levels of empathy. The IECA and the GEM have adequate validity and reliability and are well correlated (Bryant, 1982; Dadds, et al., 2008).

*Social adaptive skills* : Social adaptive skills were assessed using the parent-report version of the Adaptive Behaviour Assessment System-2 (Harrison & Oakland, 2003). Standardized scores on the Social scale were used in the current study as a measure of children's ability to communicate and behave appropriately in social interactions ( $M=100$ ,  $SD=15$ ).

*Sociobehavioural problems* : Sociobehavioural problems were measured using the parent-report version of the Child Behaviour Checklist (Achenbach & Rescorla, 2001). The CBCL assesses internalising behaviours (anxiety, depression, somatic problems, thought problems) and externalising behaviours (social problems, attention problems, aggressive behaviour, rule-breaking behaviour). It has good reliability, as well as the power to discriminate between children who are and are not referred for a clinical assessment (Achenbach, 1991). Composite T-scores on the three-broadband scales (internalising, externalising and total problems) are reported ( $M=50$ ,  $SD=10$ ). Scores on the rule-breaking behaviour scale ( $M=50$ ,  $SD=10$ ) are also reported since previous studies in non-injured children have posited that failure to abide by moral guidelines is prominent in the rule-breaking behaviours that lead to criminality, violence and delinquent behaviour (Chudzik, 2007; Raaijmakers, et al., 2005).

## **Statistical analysis**

Due to the exploratory nature of the study, the probability for type 1 error was set at 0.05 for each measure. Prior to all statistical analyses, data were examined for violations of the assumption of normality. The means and standard deviations for the different scores were calculated separately for the Focal EBI and control group and are presented in Table 3. In accordance with the matched control study design, paired t-tests were conducted to compare the mean differences between Focal EBI patients and their matched controls on sociocognitive measures, IQ, cognitive flexibility and parent questionnaire ratings (sociobehavioural problems and social adaptive skills). Prior to this decision, we performed non-parametric sensitivity analyses (Wilcoxon signed rank test) and obtained the same results as those generated with t-tests. We also performed sensitivity analyses by excluding the 8-year old patient and the main results did not change. Therefore, we report findings on the whole sample. Within group age differences were explored using a scatterplot to graphically compare MR maturity between the two groups, taking age into account. Proportions of individuals presenting mature MR levels (stage 3 and above) in both groups were compared using McNemar's test. Wilcoxon signed rank tests were used to evaluate between-group differences in MR stages. Bivariate correlations were performed to investigate the relationship between social cognition measures (MR maturity, moral decision-making, empathy), general cognition measures (IQ and cognitive flexibility) and more general indicators of social functioning: externalising problems (CBCL), internalising problems (CBCL), total problems (CBCL) and social adaptive skills (ABAS).

## **Results**

The characteristics and individual scores on the So-Moral of the Focal EBI patients are presented in Table 1. No participants were excluded based on the IQ criterion. Means, standard deviations and paired sample t-tests for the main measures are presented in Table 3. As expected after matching, no significant differences were found for age and parental education. The focal EBI group performed significantly worse on all social cognition measures (MR, moral decision and empathy), while they did not differ from the control group on general cognition measures (IQ and cognitive flexibility). In terms of social functioning,

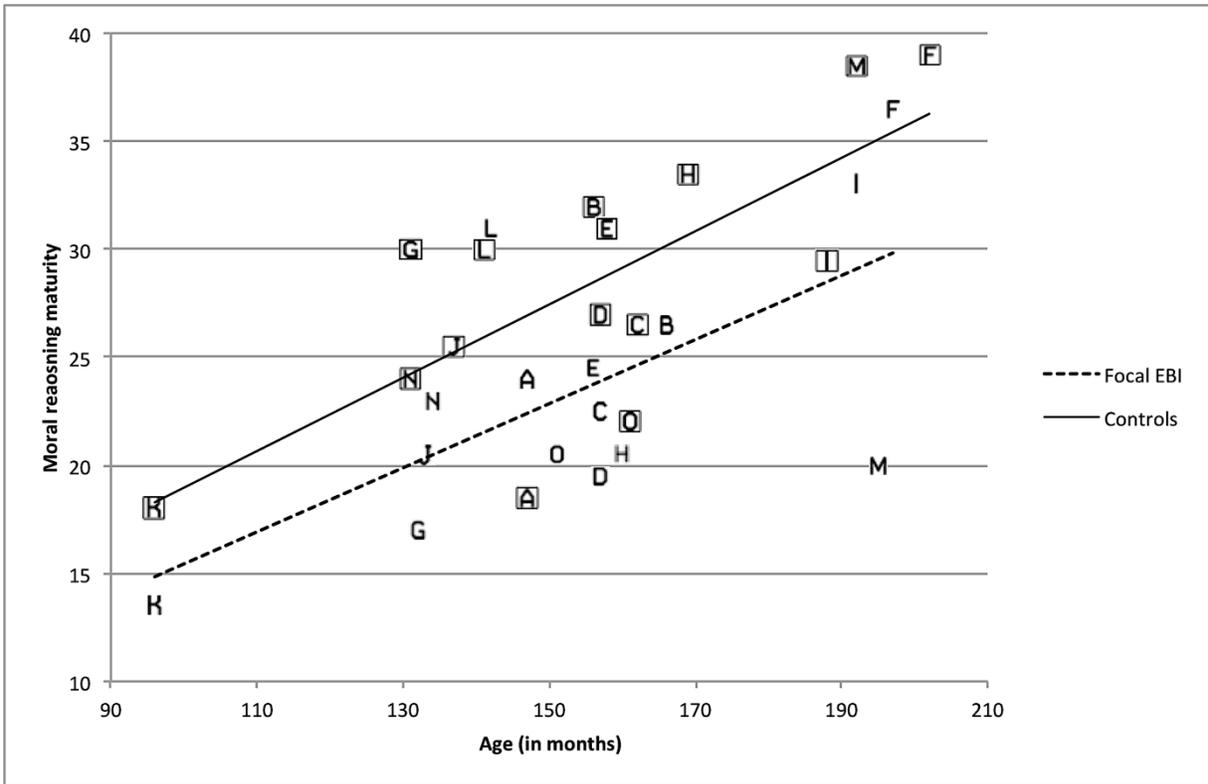
only the CBCL Total Problems score differed significantly between groups. No differences were found for social adaptive skills (ABAS).

**Table 3.** Means (SD) and paired-sample t-tests comparing group means on main measures.

	<b>Focal EBI mean (SD)</b>	<b>Control mean (SD)</b>	<b>Mean difference</b>	<b>T Test</b>	<b>p-value</b>	<b>Effect size</b>
<b>Demographic variables</b>						
Age	12.9 (2.2)	12.9 (2.2)	0.0	-0.65	0.528	0.03
Parental education <sup>a</sup>	15.4 (2.7)	15.0 (2.7)	0.4	0.67	0.511	0.14
<b>General cognition</b>						
WASI IQ	99.7 (16.2)	108.3 (14.5)	8.6	-1.99	0.066	0.56
Vocabulary	50.0 (11.9)	55.9 (12.2)	5.9	-1.75	0.102	0.49
Matrix reasoning	49.0 (10.5)	53.6 (6.5)	4.6	-1.94	0.072	0.54
Cognitive Flexibility <sup>b</sup>	10.3 (2.3)	11.6 (1.8)	1.3	-1.50	0.162	0.62
<b>Social cognition</b>						
MR maturity	23.5 (6.1)	28.3 (6.2)	4.8	-2.93	0.011*	0.78
Moral decision-making	8.9 (1.5)	9.8 (0.4)	0.9	-2.20	0.045*	0.94
Empathy	13.9 (3.9)	17.7 (4.1)	3.8	-3.55	0.003**	0.95
<b>Questionnaires</b>						
Rule-breaking behaviour (CBCL)	56.7 (7.5)	53.1 (4.3)	3.6	1.63	0.125	0.61
Externalising problems (CBCL)	55.9 (12.1)	49.1 (10.0)	6.8	1.59	0.133	0.61
Internalising problems (CBCL)	60.9 (8.9)	54.3 (10.3)	6.6	1.64	0.124	0.69
Total problems (CBCL)	60.5 (9.6)	50.6 (10.4)	9.9	2.44	0.029*	0.99
Social adaptive skills (ABAS)	90.1 (17.9)	97.9 (19.2)	7.8	-1.47	0.165	0.42

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ . <sup>a</sup>Mean of mother's and father's education in years ; <sup>b</sup>Trail-Making Test Contrast Score between Number–Letter sequencing and Number–Letter switching

Figure 3 presents a scatterplot comparing MR maturity between the focal EBI and control groups across age. This reveals a strong correlation between MR and age in both Focal EBI ( $r=.65$ ,  $p<.01$ ) and control groups ( $r=.73$ ,  $p<.01$ ). The graph further shows that while MR maturity score increases linearly with age in both groups, control participants almost systematically perform better than focal EBI across ages.



**Figure 3.** Regression lines and scatterplot of distribution of scores for MR maturity as assessed by the So-Moral for patients with focal EBI and controls across age. Focal EBI patients are identified by letters and their matched controls with the corresponding letter inside a square.

Mcnemar’s test indicates that more Focal EBI patients perform at immature MR levels than controls. ( $p=.016$ ). When the distribution of patients and control participants was compared across all five MR levels (see Table 4), controls had significantly higher levels of MR than Focal EBI patients ( $z=-2.714, p=0.007$ ).

**Table 4.** Distribution of participants according to MR maturity stage

	Immature MR		Mature MR		
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5
Focal EBI	1	10	3	1	0
Controls	0	4	9	2	0

Note : MR = moral reasoning

As shown in Table 5, Empathy was significantly correlated with moral reasoning and decision-making in the focal EBI group.

**Table 5.** Correlations between main variables in the Focal EBI group

Variables	MR maturity	Moral decision-making	Empathy
MR maturity	1	.47	.56*
Moral decision-making	.48	1	.52*
Empathy	.56*	.52*	1
WASI IQ	.49	-.05	.17
Cognitive Flexibility	.34	.13	.09
Rule breaking behaviour	-.37	-.39	-.47
Externalising problems	-.21	-.20	-.36
Internalising problems	-.18	-.24	-.58*
Total problems	-.29	-.23	-.53*
Social adaptive skills	.20	-.11	.43

\*p < 0.05

Note : MR = moral reasoning

## Discussion

In the current study, social cognition and functioning were studied in a group of children and adolescents with frontotemporal lesions, with a particular interest in determining whether focal brain insults are associated with difficulties in MR during a critical period for social development. Our main results show that children with focal EBI have less mature MR in addition to displaying lower rates of moral decision-making and poorer empathy than their non-injured peers. Although these sociocognitive functions are distinct, they are interrelated and necessary foundations for adequate social functioning and they share common neural substrates (Bernhardt & Singer, 2012; Sevinc & Spreng, 2014). These results are discussed in detail below and links are provided on the complex interplay between these functions and their potential role in explaining outcomes after focal EBI.

Children with focal EBI provided significantly less mature moral justifications to realistic social dilemmas than their non-injured peers. They had a mean global stage of MR

maturity that was one level (stage 2) lower than controls (stage 3). Our findings reflect both a mean group difference, as well as individual differences on MR. In fact, every patient with focal EBI had a mean score corresponding to an equivalent or lower stage of MR maturity than their matched controls. The majority (11/15, 73%) of patients with focal EBI reasoned at stage 2 or below on the So-Moral task. At these more “immature” stages, individuals justify their responses to moral dilemmas based on egocentric concerns such as fear of punishment or personal gains (i.e., exchanging favours with others). They are able to recognize that different people may have different opinions about the way things are done, but their decision-making is ultimately driven from an egocentric perspective. In other words, the correct option is the one that is right for them (i.e., they are self-interested). In contrast, the majority of controls (11/15, 73%) reasoned at stage 3 or above, which marks the transition from an immature MR level (preconventional) to a mature MR level (conventional), according to moral development theories (Gibbs, 2010; Kohlberg, Levine, & Hewer, 1983) . At stage 3, individuals justify their actions with a focus on interpersonal relationships, a sense of ‘goodness’ and feelings such as empathy and trust. At this stage, decisions are made with externally-oriented motives and a prosocial perspective. Reasoning is more flexible as the individual takes into account others’ interests and/or social norms. One possible explanation for the difference in MR maturity identified between patients with focal EBI and controls is related to the notion of development of decentration; that is, the ability to shift away from a focus on the self towards attending to and interrelating of situational features or perspectives (Kaplan, 1989). Decentration develops during ontogenetic development in parallel with cognitive development, empathy and social opportunities (Kohlberg, 1984). It requires the integration of multiple pieces of information about causes and mental states, as well as the ability to consider conflicting emotions. Lower levels of MR after frontal lobe injury may thus reflect a broader cognitive impairment (i.e. executive functions, working memory), which may impede the process of decentration and reflect a failure or delay to reach a mature level of MR (stage 3 and above). Globally, our findings concord with traditional case reports (S. W. Anderson, et al., 1999; Grattan & Eslinger, 1992) and a previous study investigating MR in children with focal frontal lesions (Couper, et al., 2002), which highlighted impairment in the acquisition of mature MR as a result of focal EBI. Importantly, the current results were obtained using an ecological visual task that limits the impact of confounding cognitive factors often impaired in clinical

populations such as reading, attentional and working memory skills (Dooley, et al., 2010) and assesses reasoning during everyday moral dilemmas. Longitudinal studies would be useful to track the evolution of MR differences and verify whether these delays persist or worsen in the long-term after EBI (Beauchamp & Anderson, 2013; Janusz, Kirkwood, Yeates, & Taylor, 2002).

In addition to relying on less mature moral reasoning, children with focal EBI also provided significantly fewer moral responses, which were determined by the number of socially appropriate decisions taken in the dilemmas presented. In light of this, it is possible that children with focal EBI may be more inclined to engage in behaviours that do not comply with social expectations. Both cognitive and affective functions contribute to moral decision-making (Rosen, Brand, & Kalbe, 2016); the lower levels of MR and empathy found in the focal EBI group may thus provide an explanation for differences in moral decision-making. A previous study in traumatic brain injury identified a distinction between *knowing* and *understanding* in the moral domain (Beauchamp, et al., 2013). That is, children with TBI were able to identify the correct moral responses (moral decision-making), but did not have the capacity to provide mature reasoning to support their decision, indicating a lack of comprehension of the social consequences of a given decision. In the current study, we found significant differences on both moral indices (moral decision-making and MR maturity), highlighting difficulties in both the *knowing* and *understanding* facets of moral dilemmas. However, caution in drawing conclusions is advised and a larger sample of focal EBI is necessary to confirm these findings considering overall mean differences were relatively small. Studies of social behaviour in naturalistic settings could also provide further insights into the moral decision-making of these children in real-life situations.

Children with focal EBI also exhibited poorer empathy compared to control participants. This finding provides for the first time quantitative evidence of previous anecdotal accounts of lack of empathy in case studies of focal EBI (S. W. Anderson, et al., 1999; Grattan & Eslinger, 1992). Numerous studies have suggested that the lower empathy scores of patients with frontal brain injury may be related to cognitive flexibility (Grattan, Bloomer, Archambault, & Eslinger, 1994; Grattan & Eslinger, 1989; Shamay-Tsoory, Tomer,

Berger, & Aharon-Peretz, 2003; Shamay-Tsoory, Tomer, Goldsher, Berger, & Aharon-Peretz, 2004). However, in the present study, no correlation was found between empathy and cognitive flexibility in the focal EBI group. The inclusion of multiple cognitive flexibility measures in future studies would be important since flexibility is hypothesized to develop in a domain-specific fashion as children gain task-specific skills and knowledge (Deak & Wiseheart, 2015; Luwel, Verschaffel, Onghena, & De Corte, 2003). Empathy and morality share common neural substrates in the social brain and are both supported by a diffuse network that includes several frontotemporolimbic structures (Bernhardt & Singer, 2012; Pascual, Rodrigues, & Gallardo-Pujol, 2013; Sevinc & Spreng, 2014). The poorer empathy, MR and moral decision-making found in the Focal EBI patients may thus be attributable to disruptions of the frontotemporal circuitry underlying social cognition, as shown in studies of adults with focal lesions (see Hillis, 2014 for a review). Given the evidence of phases in development of both MR and emotion recognition (Tonks et al., 2009), it is possible that an early brain insult to frontal or temporal regions may disrupt normal acquisition of such sociocognitive functions and potentially cause delayed effects of deficits as social demands increase.

As expected, children with focal EBI had more sociobehavioural problems than controls, although the standardised scores did not reach the clinical threshold. Patients with focal EBI had more internalising than externalising problems, in line with a previous study investigating psychopathological profiles of children with focal EBI (Duval, Braun, Daigneault, & Montour-Proulx, 2002). Elevated scores on the internalisation subscale could be attributable to physical illness in these children and emotional response to a threatening medical condition. Despite the fact that no significant differences were found on the other CBCL scales or for social adaptive skills (ABAS), children with frontotemporal lesions had consistently lower scores than their matched counterparts.

Finally, while the study methodology did not include a full cognitive protocol, these preliminary results suggest that social cognition may be more vulnerable to focal frontotemporal brain damage than general cognitive functions. These differential findings make intuitive sense in that functions subsumed by discrete lateralized brain regions may have

greater capacity for reorganization than those dependent on more diffuse neural networks such as social cognition (V. Anderson, et al., 2011). They also converge with studies of traumatic brain injury, which highlight impairments in emotion processing and MR despite adequate intellectual and/or executive functioning (S. W. Anderson, Barrash, Bechara, & Tranel, 2006; Martins, Faisca, Esteves, Muresan, & Reis, 2012; Tousignant et al., 2016). Future work could seek to answer the question of general cognitive vs sociocognitive deficits via more elaborate neuropsychological test batteries and a more ecological approach to the assessment of executive functions as suggested by Burgess et al. (2006). Also, given that the effect sizes for IQ and EF remain substantial, further studies could test the hypothesis that focal EBI results in a developmental delay that affects intellectual, executive and sociocognitive functions and leads to more sociobehavioural problems in accordance with the Socio-Cognitive Integration of Abilities Model (Beauchamp & Anderson, 2010).

### **Clinical implications**

Children with focal EBI may have impaired social cognitive skills that a clinician might not suspect based on assessment of general cognitive ability and behaviour alone. The differences in social cognitive functioning that we identified are subtle and difficult to detect, yet they may potentially impact the quality of children's social life. The initial challenges for practitioners working with children who sustain focal EBI will be to identify those who are in need of additional intervention to target delay or deficits in social cognitive functions. In the future, the development of further ecological and standardised measures of social cognition may provide avenues for specifically these functions in children with EBI.

### **Strengths and limitations**

While the current study is the first to directly investigate different aspects of social cognition in a group of children with focal EBI, the statistical power of our analyses was limited by the small sample size. This is most obvious with some of the paired comparisons that were non-significant, but had medium effect sizes, such as IQ and EF. Still, statistically significant differences were found in some of the proposed analyses. The inclusion of patients with a history of seizure may have contributed to the findings, however, those with severe and uncontrolled epilepsy were excluded. The sample size and heterogeneity of lesions precluded

examination of the individual contribution of lesion variables to outcome. Further examination of the effects of lesion size, type, location and onset with a larger group is warranted. Also, the inclusion of a non-cerebral patient control group (e.g. chronic asthma) could be insightful in controlling for the effects of hospital admission and chronic illness.

Despite these limitations, the study has several strengths. One of them is the use of an innovative MR assessment measure adapted for children and adolescents and designed to minimize methodological flaws associated with traditional MR tasks (Dooley, et al., 2010). The combined use of both direct and indirect measures helped gain a better understanding of social functioning after focal EBI, though a direct measure of empathy was not available. This highlights the need for development of more innovative measurement approaches for directly assessing sociocognitive functions. The selection of demographically-matched control participants on an individual basis represents a strength that allowed for paired comparisons. Participants were paired on age, sex, and parental education, in an attempt to eliminate potential sources of extraneous variation

## **Conclusions**

In summary, our results suggest that early brain insult involving focal pathology in frontotemporal regions may have an adverse effect on social cognition and behaviour. Moral reasoning appears to be particularly vulnerable to such brain damage, as highlighted by lower MR maturity levels in youth with focal EBI. The variability in lesion locations highlights the diversity of frontotemporal damage likely to be associated with socio-cognitive vulnerability. Nonetheless, individual cases within this study illustrate the potential for adequate sociocognitive functioning and social behaviour despite evidence of structural damage, and suggest that multiple factors need to be taken into account in identifying children with focal EBI at risk for social dysfunction.

## **Acknowledgments**

Financial support for this research was provided by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC). We gratefully acknowledge Miguel Chagnon for statistical assistance.

## References

- Achenbach, T. M., & Rescorla, L. A. (2001). *Manual for ASEBA School-Age Forms & Profiles*. Burlington, VT: University of Vermont, Research Center for Children, Youth, & Families.
- Adolphs, R. (2009). The social brain: neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology, 60*(1), 693-716.
- Anderson, S. W., Barrash, J., Bechara, A., & Tranel, D. (2006). Impairments of emotion and real-world complex behavior following childhood- or adult-onset damage to ventromedial prefrontal cortex. *Journal of the International Neuropsychological Society, 12*(2), 224-235.
- Anderson, S. W., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1999). Impairment of social and moral behavior related to early damage in human prefrontal cortex. *Nature Neuroscience, 2*(11), 1032-1037.
- Anderson, V., Catroppa, C., Morse, S., Haritou, F., & Rosenfeld, J. (2005). Functional plasticity or vulnerability after early brain injury? *Pediatrics, 116*(6), 1374-1382.
- Anderson, V., Godfrey, C., Rosenfeld, J. V., & Catroppa, C. (2012). 10 years outcome from childhood traumatic brain injury. *International Journal of Developmental Neuroscience, 30*(3), 217-224.
- Anderson, V., Gomes, A., Greenham, M., Hearps, S., Gordon, A., Rinehart, N., et al. (2014). Social competence following pediatric stroke: contributions of brain insult and family environment. *Social Neuroscience, 9*(5), 471-483.
- Anderson, V., Spencer-Smith, M., & Wood, A. (2011). Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. *Brain, 134*(Pt 8), 2197-2221.
- Aram, D., & Ekelman, L. (1986). Cognitive profiles of children with early onset unilateral lesions. *Developmental Neuropsychology, 2*(3), 155-172.
- Bahia, V. S., Takada, L. T., Caixeta, L., Lucato, L. T., Porto, C. S., & Nitrini, R. (2013). Prefrontal damage in childhood and changes in the development of personality : A Case report. *Dementia & Neuropsychologia, 7*(1), 132-125.
- Bates, E., Thal, D., Trauner, D., Fenson, J., Aram, D., Eisele, J., et al. (1997). From first words to grammar in children with focal brain injury. *Developmental Neuropsychology, 1*, 187-202.

- Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). SOCIAL: an integrative framework for the development of social skills. *Psychological Bulletin*, *136*(1), 39-64.
- Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2013). Cognitive and psychopathological sequelae of pediatric traumatic brain injury. In O. Dulac, Di Mauro, S., Lassonde, M. (Ed.), *Handbook of Clinical Pediatric Neurology* (pp. 913-920). Amsterdam: Elsevier.
- Beauchamp, M. H., & Dooley, J. J. (2012). *Administration and coding manual SocioMoral Reasoning Aptitude Level Task (So Moral)*. Canada: ABCs Laboratory.
- Beauchamp, M. H., Dooley, J. J., & Anderson, V. (2013). A preliminary investigation of moral reasoning and empathy after traumatic brain injury in adolescents. *Brain Injury*, *27*, 896-902.
- Bernhardt, B. C., & Singer, T. (2012). The neural basis of empathy. *Annual Review of Neuroscience*, *35*, 1-23.
- Bigler, E. D., Yeates, K. O., Dennis, M., Gerhardt, C. A., Rubin, K. H., Stancin, T., et al. (2013). Neuroimaging and social behavior in children after traumatic brain injury: findings from the Social Outcomes of Brain Injury in Kids (SOBIK) study. *NeuroRehabilitation*, *32*(4), 707-720.
- Blakemore, S. J. (2008). Development of the social brain during adolescence. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*, 40-49.
- Blakemore, S. J., & Frith, U. (2004). How does the brain deal with the social world? *Neuroreport*, *15*(1), 119-128.
- Boes, A. D., Grafft, A. H., Joshi, C., Chuang, N. A., Nopoulos, P., & Anderson, S. W. (2011). Behavioral effects of congenital ventromedial prefrontal cortex malformation. *BMC neurology*, *11*, 151.
- Bryant, B. K. (1982). An index of empathy for Children and Adolescent. *Child Development*, *53*, 413-425.
- Burgess, P. W., Alderman, N., Forbes, C., Costello, A., Coates, L. M., Dawson, D. R., et al. (2006). The case for the development and use of "ecologically valid" measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *12*(2), 194-209.
- Burnett, S., & Blakemore, S. J. (2009). The development of adolescent social cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1167*, 51-56.

- Cacioppo, J. T., & Decety, J. (2011). Social neuroscience: challenges and opportunities in the study of complex behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224, 162-173.
- Carey, M. E., Barakat, L. P., Foley, B., Gyato, K., & Phillips, P. C. (2001). Neuropsychological functioning and social functioning of survivors of pediatric brain tumors: evidence of nonverbal learning disability. *Child Neuropsychology*, 7(4), 265-272.
- Chilosi, A. M., Cipriani, P., Pecini, C., Brizzolara, D., Biagi, L., Montanaro, D., et al. (2008). Acquired focal brain lesions in childhood: effects on development and reorganization of language. *Brain and Language*, 106(3), 211-225.
- Chudzik, L. (2007). Moral judgment and conduct disorder intensity in adolescents involved in delinquency: matching controls by school grade. *Psychological Reports*, 101(1), 221-236.
- Colby, A., & Kohlberg, L. (1987). *The measurement of moral judgment*. New York: Cambridge University Press.
- Couper, E., Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Adaptive behaviour and moral reasoning in children with frontal lobe lesions. *Brain Impairment*, 3, 105-113.
- Dadds, M. R., Hunter, K., Hawes, D. J., Frost, A. D., Vassallo, S., Bunn, P., et al. (2008). A measure of cognitive and affective empathy in children using parent ratings. *Child Psychiatry and Human Development*, 39(2), 111-122.
- Deak, G. O., & Wiseheart, M. (2015). Cognitive flexibility in young children: General or task-specific capacity? *Journal of Experimental Child Psychology*, 138, 31-53.
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *Delis-Kaplan executive function system (D-KEFS): Examiner manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Dennis, M., Simic, N., Gerry Taylor, H., Bigler, E. D., Rubin, K., Vannatta, K., et al. (2012). Theory of mind in children with traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(5), 908-916.
- Dooley, J. J., Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). The Measurement of Sociomoral Reasoning in Adolescents With Traumatic Brain Injury: A Pilot Investigation. *Brain Impairment* 11(2), 152-161.

- Duval, J., Braun, C. M., Daigneault, S., & Montour-Proulx, I. (2002). Does the child behavior checklist reveal psychopathological profiles of children with focal unilateral cortical lesions? *Applied Neuropsychology*, *9*(2), 74-83.
- Duval, J., Braun, C. M., Montour-Proulx, I., Daigneault, S., Rouleau, I., & Begin, J. (2008). Brain lesions and IQ: recovery versus decline depends on age of onset. *Journal of Child Neurology*, *23*(6), 663-668.
- Eslinger, P. J., Flaherty-Craig, C. V., & Benton, A. L. (2004). Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage. *Brain and Cognition*, *55*(1), 84-103.
- Frith, U., & Frith, C. (2010). The social brain: allowing humans to boldly go where no other species has been. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, *365*(1537), 165-176.
- Fuemmeler, B. F., Elkin, T. D., & Mullins, L. L. (2002). Survivors of childhood brain tumors: behavioral, emotional, and social adjustment. *Clinical Psychology Review*, *22*(4), 547-585.
- Galvin, J., Hewish, S., Rice, J., & Mackay, M. T. (2011). Functional outcome following paediatric stroke. *Developmental Neurorehabilitation*, *14*(2), 67-71.
- Ganesalingam, K., Yeates, K. O., Sanson, A., & Anderson, V. (2007). Social problem-solving skills following childhood traumatic brain injury and its association with self-regulation and social and behavioural functioning. *Journal of Neuropsychology*, *1*(Pt 2), 149-170.
- Garland, T. (2005). Test review : WASI. . *Journal of Occupational Psychology, Employment and Disability*, *7*(2), 130-135.
- Gibbs, J. C. (2010). *Moral development & reality : beyond the theories of Kohlberg and Hoffman*: (2nd Ed.). Boston : Allyn & Bacon.
- Grattan, L. M., Bloomer, R. H., Archambault, F. X., & Eslinger, P. J. (1994). Cognitive flexibility and empathy after frontal lobe lesion. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology*, *7*, 251-259.
- Grattan, L. M., & Eslinger, P. J. (1989). Higher cognition and social behavior: Changes in cognitive flexibility and empathy after cerebral lesions. *Neuropsychology*, *3*, 175-185.
- Grattan, L. M., & Eslinger, P. J. (1992). Long-term psychological consequences of childhood frontal lobe lesion in patient DT. *Brain and Cognition*, *20*(1), 185-195.

- Greene, J. D., Nystrom, L. E., Engell, A. D., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron, 44*(2), 389-400.
- Greenham, M., Spencer-Smith, M. M., Anderson, P. J., Coleman, L., & Anderson, V. A. (2010). Social functioning in children with brain insult. *Frontiers in Human Neuroscience, 4*, 22.
- Haidt, J. (2001). The emotional dog and its rational tail: a social intuitionist approach to moral judgment. *Psychological Review, 108*(4), 814-834.
- Harrison, P., & Oakland, T. (2003). *Adaptive Behavior Assessment System - Second Edition*. San Antonio, Texas: The Psychological Corporation.
- Hetherington, R., Tuff, L., Anderson, P., Miles, B., & deVeber, G. (2005). Short-term intellectual outcome after arterial ischemic stroke and sinovenous thrombosis in childhood and infancy. *Journal of Child Neurology, 20*(7), 553-559.
- Hillis, A. E. (2014). Inability to empathize: brain lesions that disrupt sharing and understanding another's emotions. *Brain, 137*(4), 981-997.
- Hogan, A. M., Kirkham, F. J., & Isaacs, E. B. (2000). Intelligence after stroke in childhood: review of the literature and suggestions for future research. *Journal of Child Neurology, 15*(5), 325-332.
- Janusz, J. A., Kirkwood, M. W., Yeates, K. O., & Taylor, H. G. (2002). Social problem-solving skills in children with traumatic brain injury: long-term outcomes and prediction of social competence. *Child Neuropsychology, 8*(3), 179-194.
- Jernigan, T. L., Baare, W. F., Stiles, J., & Madsen, K. S. (2011). Postnatal brain development: structural imaging of dynamic neurodevelopmental processes. *Progress in Brain Research, 189*, 77-92.
- Jolliffe, D., & Farrington, D. P. (2004). Empathy and offending: a systematic review and meta-analysis. *Aggression and Violent Behavior, 9*, 441-476.
- Kaplan, M. F. (1989). Information integration in moral reasoning: Conceptual and methodological implications. In J. R. N. Eisenberg, & E. Staub (Ed.), *Social and moral values: Individual and societal perspectives* (pp. 117-135). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kohlberg, L. (1981). *The meaning and measurement of moral development*. Worcester, Mass.: Clark University Press.

- Kohlberg, L. (1984). *The psychology of moral development*. San Francisco, CA: Harper & Row.
- Kohlberg, L., Levine, C., & Hewer, A. (1983). *Moral stages : a current formulation and a response to critics*. New York: Karger.
- Lo, W., Gordon, A., Hajek, C., Gomes, A., Greenham, M., Perkins, E., et al. (2014). Social competence following neonatal and childhood stroke. *International Journal of Stroke*, 9(8), 1037-1044.
- Luwel, K., Verschaffel, L., Onghena, P., & De Corte, E. (2003). Strategic aspects of numerosity judgment: the effect of task characteristics. *Experimental Psychology*, 50(1), 63-75.
- Martins, A. T., Faisca, L. M., Esteves, F., Muresan, A., & Reis, A. (2012). Atypical moral judgment following traumatic brain injury. *Judgment and Decision Making*, 7(4), 478-487.
- Pascual, L., Rodrigues, P., & Gallardo-Pujol, D. (2013). How does morality work in the brain? A functional and structural perspective of moral behavior. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 65.
- Raaijmakers, Q. A. W., Engels, R. C. M. E., & Van Hoof, A. (2005). Delinquency and moral reasoning in adolescence and young adulthood. *International Journal of Behavioral Development*, 29(3), 247-258.
- Rosema, S., Crowe, L., & Anderson, V. (2012). Social function in children and adolescents after traumatic brain injury: a systematic review 1989-2011. *Journal of Neurotrauma*, 29(7), 1277-1291.
- Rosen, J. B., Brand, M., & Kalbe, E. (2016). Empathy Mediates the Effects of Age and Sex on Altruistic Moral Decision Making. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 10, 67.
- Schonert-Reichl, K. A. (1999). Relations of peer acceptance, friendship adjustment, and social behavior to moral reasoning during early adolescence. *Journal of Early Adolescence*, 19, 249-279.
- Sevinc, G., & Spreng, R. N. (2014). Contextual and perceptual brain processes underlying moral cognition: a quantitative meta-analysis of moral reasoning and moral emotions. *PLoS One*, 9(2), e87427.

- Shamay-Tsoory, S. G., Tomer, R., Berger, B. D., & Aharon-Peretz, J. (2003). Characterization of empathy deficits following prefrontal brain damage: the role of the right ventromedial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(3), 324-337.
- Shamay-Tsoory, S. G., Tomer, R., Goldsher, D., Berger, B. D., & Aharon-Peretz, J. (2004). Impairment in cognitive and affective empathy in patients with brain lesions: anatomical and cognitive correlates. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *26*(8), 1113-1127.
- Snodgrass, C., & Knott, F. (2006). Theory of mind in children with traumatic brain injury. *Brain Injury*, *20*(8), 825-833.
- Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). The basics of brain development. *Neuropsychology Review*, *20*(4), 327-348.
- Stiles, J., Reilly, J., Paul, B., & Moses, P. (2005). Cognitive development following early brain injury: evidence for neural adaptation. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(3), 136-143.
- Stiles, J., Stern, C., Appelbaum, M., Nass, R., Trauner, D., & Hesselink, J. (2008). Effects of early focal brain injury on memory for visuospatial patterns: selective deficits of global-local processing. *Neuropsychology*, *22*(1), 61-73.
- Tonks, J., Slater, A., Frampton, I., Wall, S. E., Yates, P., & Williams, W. H. (2009). The development of emotion and empathy skills after childhood brain injury. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *51*(1), 8-16.
- Tonks, J., Williams, W. H., Frampton, I., Yates, P., & Slater, A. (2007). Reading emotions after child brain injury: a comparison between children with brain injury and non-injured controls. *Brain Injury*, *21*(7), 731-739.
- Tousignant, B., Jackson, P. L., Massicotte, E., Beauchamp, M. H., Achim, A. M., Vera-Estay, E., et al. (2016). Impact of traumatic brain injury on social cognition in adolescents and contribution of other higher order cognitive functions. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1-19.
- Turiel, E. (1983). *The development of social knowledge : morality and convention*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Turkstra, L. S., Dixon, T. M., & Baker, K. K. (2004). Theory of Mind and social beliefs in adolescents with traumatic brain injury. *NeuroRehabilitation*, *19*(3), 245-256.

- Turkstra, L. S., McDonald, S., & DePompei, R. (2001). Social information processing in adolescents: data from normally developing adolescents and preliminary data from their peers with traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation, 16*(5), 469-483.
- Vera-Estay, E., Beauchamp, M., & Dooley, J. (2014). Cognitive underpinnings of moral reasoning in adolescence: The contribution of executive functions. *Journal of Moral Education, 44*(1), 17-33.
- Vera-Estay, E., Seni, A. G., Champagne, C., & Beauchamp, M. H. (2016). All for One: Contributions of Age, Socioeconomic Factors, Executive Functioning, and Social Cognition to Moral Reasoning in Childhood. *Frontiers in Psychology, 7*, 227.
- Wechsler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI)*. San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Yeates, K. O., Bigler, E. D., Dennis, M., Gerhardt, C. A., Rubin, K. H., Stancin, T., et al. (2007). Social outcomes in childhood brain disorder: a heuristic integration of social neuroscience and developmental psychology. *Psychological Bulletin, 133*(3), 535-556.
- Yeates, K. O., Swift, E., Taylor, H. G., Wade, S. L., Drotar, D., Stancin, T., et al. (2004). Short- and long-term social outcomes following pediatric traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society, 10*(3), 412-426.

## **Discussion**

La présente thèse avait comme objectif général d'étudier le développement du RM chez l'enfant neurotypique et chez l'enfant présentant une lésion cérébrale d'origine focale. Un objectif secondaire était d'évaluer la sensibilité développementale et l'utilité clinique de l'outil So-Moral, une tâche novatrice de RM, adaptée aux enfants et conçue en adéquation avec les neurosciences sociales. Dans cette optique, deux études ont été réalisées et publiées dans deux journaux scientifiques avec révisions par des comités de pairs. L'objectif principal de la première étude était d'explorer les changements liés à l'âge dans le RM au sein d'un grand échantillon d'enfants et d'adolescents. La seconde étude visait à identifier des différences au niveau de la cognition sociale et des habiletés sociocomportementales chez les enfants avec une LCF au sein d'un devis avec appariements. Une recension des écrits publiée sous forme de chapitre de livre est également présente en annexe. Celui-ci consiste en une revue du développement cérébral structurel et fonctionnel à l'adolescence et témoigne de la volonté d'arrimer les résultats des études de la thèse avec les récentes découvertes neuroscientifiques. Dans les sections qui suivent, les résultats des deux études seront d'abord résumés et ensuite discutés et mis en contexte avec la littérature en fonction des considérations et des apports de la thèse sur les plans théorique, neurodéveloppementale, méthodologique et clinique.

### **Retour sur l'étude 1**

Le premier article visait à identifier les changements liés à l'âge dans le RM, investiguer la présence de différences de genre et explorer la sensibilité développementale de la tâche So-Moral. À ce jour, aucune étude n'avait investigué le RM sur une telle étendue d'âge (6-20 ans) et avec un outil écologique conçu pour mesurer le RM tel qu'il est sollicité dans la vie de tous les jours. Une progression linéaire du RM de l'enfance au début de l'âge adulte a d'abord été démontrée suggérant qu'il s'agit d'une fonction régulée par l'âge et qui se développe progressivement au fur et à mesure que l'individu est exposé aux interactions sociales, acquiert des rôles sociaux et gagne en autonomie (Decety, et al., 2012; Gibbs, 2013).

Le RM n'a pas semblé atteindre un plafond au début de l'âge adulte au sein de l'échantillon, ce qui suggère un développement qui se prolonge au-delà de l'adolescence. Un tel constat a été observé au sein d'autres fonctions sociocognitives, comme l'empathie, la théorie de l'esprit et la reconnaissance des émotions (Tousignant, Sirois, Achim, Massicotte, & Jackson, 2017; Vetter, Leipold, Kliegel, Phillips, & Altgassen, 2013). Il est possible que ceci s'explique en partie par la maturation plus tardive des régions cérébrales du cerveau social (Blakemore & Choudhury, 2006; Kilford, et al., 2016). Bien que le RM se développe de façon continue durant la période développementale, il a été observé des périodes de changements particulièrement significatifs de sa maturité, soit entre l'enfance (6-8 ans) et la préadolescence (9-11 ans) ainsi qu'entre le début (12-14 ans) et le milieu de l'adolescence (15-17 ans). Ces périodes d'augmentation du RM seront mises en relief avec le développement structurel du cerveau dans la section *considérations neurodéveloppementales*. Autrement, la première différence observée entre l'enfance et la préadolescence coïncide avec une période importante de gain au niveau des fonctions exécutives (flexibilité cognitive, inhibition, fluence, planification) tel qu'il a été démontré dans le modèle de trajectoire développementale des quatre domaines du système de contrôle exécutif de P. Anderson (2002), ainsi que dans une étude s'intéressant aux changements d'âge dans le fonctionnement exécutif (V. Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001). Il est donc possible que la mise en place des fonctions exécutives durant la préadolescence explique la maturation rapide de RM rencontrée à cette période. Cette hypothèse s'appuie sur d'importantes associations démontrées lors d'études antérieures entre le RM et les fonctions exécutives chez les enfants (Hinnant, Nelson, O'Brien, Keane, & Calkins, 2013; Vera-Estay, et al., 2014). La seconde différence observée durant l'adolescence pourrait être davantage tributaire de facteurs environnementaux et sociaux alors que durant cette période, l'adolescent s'affranchit de l'autorité parentale, socialise avec des pairs hors du milieu familial et est appelé à exercer davantage son RM (Collins & Steinberg, 2006; Smetana, Campione-Barr, & Metzger, 2006). Ceci offre des possibilités de résolution de conflits et une exposition accrue à des dilemmes moraux, lesquelles constituent des expériences sociales susceptibles de nourrir le RM. Dans un deuxième temps, des différences significatives entre les garçons et les filles en faveur de ces dernières ont été découvertes à travers l'échantillon, lesquelles feront l'objet d'une discussion approfondie dans la section *considérations théoriques*. Ce résultat s'arrime avec une autre

étude chez l'enfant qui concluait également à un RM plus mature chez les filles (Gibbs, et al., 1992), ainsi qu'avec des études plus récentes en cognition sociale qui tendent à démontrer de meilleures habiletés chez les filles au niveau des capacités empathiques (Christov-Moore et al., 2014; Michalska, Kinzler, & Decety, 2013), de la reconnaissance des émotions (Lawrence, Campbell, & Skuse, 2015) et des émotions morales (Ongley, Nola, & Malti, 2014; Tangney & Dearing, 2002). Puisque nous n'observons pas d'effet plafond dans l'échantillon, l'étude ne permet pas de déterminer si le niveau de RM s'équilibre entre les hommes et les femmes, ni à quel âge. Il est néanmoins intéressant de noter qu'à la lueur de cette étude, il semblerait que ceci ne se produise pas avant l'âge adulte. Enfin, les résultats de l'étude 1, plus précisément l'augmentation des scores bruts de maturité du RM à chaque groupe d'âge, suggèrent que le So-Moral est approprié pour évaluer le RM à travers une large étendue d'âge. Une telle trouvaille a sans doute été favorisée par l'utilisation dans ce projet de deux versions comparables du So-Moral, soit une pour les enfants et l'autre pour les adolescents. Bien qu'une sensibilité développementale adéquate ne soit pas suffisante pour établir la validité ultime d'un outil en soi, cela ajoute à sa validité de construit et constitue un aspect important pour toute tâche destinée à être utilisée avec des enfants (Gute, 1998).

## **Retour sur l'étude 2**

La seconde étude a employé un devis avec appariements afin d'investiguer les différences au niveau des habiletés sociocognitives, cognitives et comportementales des enfants avec une LCF. Les résultats suggèrent qu'une lésion cérébrale de pathologie focale au niveau frontal ou temporal est susceptible d'avoir un effet délétère sur la cognition sociale (RM, prise de décision et empathie) et la présence de problèmes comportementaux. Cette étude est la première à démontrer de telles différences sur plusieurs indices de la cognition sociale chez des enfants avec une LCF au sein d'un même échantillon. Les résultats suggèrent qu'une lésion en bas âge peut entraîner une vulnérabilité accrue à présenter un plus faible développement des habiletés de cognition sociale (V. Anderson, et al., 2011; Fenoglio, Georgieff, & Elison, 2017). Ces résultats mettent également de l'avant des données quantitatives qui appuient ce qui avait été rapporté sur la base d'observations lors de l'étude de cas de lésion frontotemporale précoce, à savoir que plusieurs de ces individus présentaient à

divers degrés des difficultés d'adaptation sociale, des capacités empathiques plus faibles et un manque de jugement moral (S. W. Anderson, Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1999; Bahia et al., 2013; Bigler et al., 2013; Eslinger, et al., 2004). En contraste, aucune différence significative entre les enfants avec une LCF et les contrôles n'a été retrouvée dans cette étude sur les variables cognitives plus générales telles que le QI (estimé sur la base des sous-tests « vocabulaire » et « matrices ») et la flexibilité cognitive. Une hypothèse pouvant potentiellement expliquer ces résultats divergents est que les fonctions cognitives (ex. : conceptualisation verbale, raisonnement logique, flexibilité mentale) qui reposent sur des réseaux cérébraux davantage discrets et latéralisés bénéficient d'une meilleure capacité de réorganisation en cas de dommage que les fonctions qui dépendent d'un réseau cérébral diffus, comme la cognition sociale (V. Anderson, et al., 2011). Cette hypothèse sera développée à la lueur de différentes conceptions du développement cérébral dans la section *considérations neurodéveloppementales*. Il ne faudrait toutefois pas écarter hâtivement l'impact potentiel du fonctionnement intellectuel et exécutif sur la sphère sociale compte tenu du fait que les tailles d'effet demeurent modérées dans les analyses de comparaison. Comme le propose le modèle SOCIAL de Beauchamp and Anderson (2010) il est possible qu'un dommage cérébral entraîne des atteintes sur les plans cognitif (ex : fonctions exécutives) et sociocognitif qui interagissent à la fois de façon sélective et dynamique pour déterminer la compétence sociale de l'individu dans différentes situations. Dans cette lignée, les analyses corrélationnelles cherchant à démontrer une association entre le comportement et la cognition sociale chez les patients avec une LCF se sont révélées dans la direction attendue, mais n'ont, pour la plupart, pas rencontré le seuil de signification statistique, possiblement en raison de la petite taille de l'échantillon clinique. Il a néanmoins été possible de démontrer une association significative entre l'empathie et les problèmes comportementaux, notamment internalisés, indiquant que les symptômes anxiodépressifs et de somatisation pourraient être associés à la disposition empathique de l'enfant avec une LCF. Ce résultat peut être prudemment mis en lien avec les études comportementales qui associent les symptômes de retrait à des niveaux plus faibles d'empathie (Garaigordobil, 2009; Ratcliffe, 2014), ainsi que les études de neuroimagerie qui illustrent un chevauchement entre les régions cérébrales responsables de la régulation de l'humeur et de l'empathie (Decety & Moriguchi, 2007; Gonzalez-Liencre, Shamay-Tsoory, & Brune, 2013).

## Considérations théoriques

Ces études ont contribué à une meilleure compréhension du développement du RM au sein de populations typique et présentant une LCF. De façon générale, elles s'inscrivent favorablement au sein des théories cognitive-développementales du RM. Ces théories suggèrent que le RM progresse en stades avec l'âge et en parallèle avec le développement cognitif et cérébral (Gibbs, et al., 1992; Kohlberg, 1976; Piaget, 1968). Afin de maximiser notre sensibilité à détecter les changements d'âge dans l'étude 1, nous avons utilisé le score global de chaque participant plutôt qu'un stade équivalent. Par contre, en divisant le score global par dix, nous parvenons à déterminer le stade correspondant à chacune des périodes développementales. Un RM mature repose sur la capacité à déplacer son focus sur les éléments saillants et personnels d'une situation afin d'incorporer une vision plus globale du contexte social et culturel (Gibbs, et al., 1992). Avec l'âge, il a été démontré dans l'étude 1 que le RM gagnait en maturité et que les stades plus élevés de RM étaient atteints chez les adolescents les plus âgés. La distinction entre le RM mature et immature tel que conceptualisée par Gibbs, et al. (1992) a pu être démontrée dans l'étude 2. Typiquement, les patients avec une LCF considéraient davantage les conséquences personnelles de leurs actions et une réciprocité pragmatique (stade 2) et commençaient à incorporer les états émotionnels d'autrui dans leurs réponses. En revanche, le groupe neurotypique produisait davantage de justifications incorporant une compréhension pro-sociale et la prise en compte des états émotionnels d'autrui et de la société (stades 3 et 4). Ceci met de l'avant l'idée selon laquelle le développement du RM est un processus en stades qui peut être altéré par une atteinte au développement cérébral. Par contre, comme l'avance Eisenberg, Carlo, Murphy, and Van Court (1995) ce processus en stades n'est pas complètement invariable. Au plan intraindividuel, il a été démontré qu'un même enfant pouvait utiliser des stades de raisonnement différents dépendamment du dilemme moral en jeu. Eisenberg fait également état d'une recrudescence des réponses égocentriques et hédonistiques au début de l'adolescence, ce qui peut expliquer en partie pourquoi aucune différence significative n'a été observée entre la préadolescence (9-11 ans) et le début de l'adolescence (12-14 ans). Ceci démontre que limiter l'interprétation en fonction d'une seule théorie ou d'un seul auteur ne permet pas de rendre compte de certaines nuances et particularités rencontrées dans les

résultats. C'est pourquoi il est préférable de souscrire à une vision holistique qui incorpore aussi des éléments provenant d'autres théories du RM. Par exemple, certaines théories contemporaines du RM misent sur l'apport des processus émotionnels dans le RM (Decety & Howard, 2013; Greene & Haidt, 2002; Haidt, 2001). Dans cette veine, des liens entre le RM et l'empathie ont été démontrés au sein des populations neurotypiques dans des études antérieures (Eisenberg & Mussen, 1978; Gleichgerrcht & Young, 2013; Lane, Wellman, Olson, LaBounty, & Kerr, 2010). L'étude 2 est, pour sa part, la première à démontrer une telle association entre l'empathie et le RM au sein d'une population avec une LCF, suggérant ainsi que les processus émotionnels (tendances empathiques) sont associés favorablement au développement du RM dans le contexte d'une atteinte neurologique et pourrait éventuellement permettre aux enfants avec un plus haut niveau d'empathie d'atteindre les stades plus matures de RM. Il existe un volet à l'outil So-Moral qui demande au participant d'associer une émotion à sa prise de décision morale. Ceci permet, par exemple, de déterminer si une prise de décision morale inadéquate (ex. : conserver pour soi un portefeuille trouvé) est associée à une émotion négative (ex. : culpabilité) ou positive (ex. : joie). Par le fait même, il devient possible de nuancer notre interprétation, de déterminer les émotions qui guident la décision d'un individu ou d'un groupe d'individus et dans certains cas de bénéficier d'un outil supplémentaire pour un diagnostic différentiel (ex. : psychopathie, troubles des conduites). En guise d'exemple, le DSM-5 demande désormais de spécifier si le trouble des conduites est associé à des émotions prosociales limitées en fonction de la présence d'au moins deux critères parmi les suivants : 1) absence de culpabilité; 2) manque d'empathie; 3) insouciance de la performance; 4) déficience des affects (indifférence). Puisque cette sous-échelle n'a pu être administrée à l'échantillon complet, nous n'avons pas rapporté les résultats dans l'article. Par contre, il ne fait pas de doute que cet indice complémentaire s'avère prometteur pour mieux comprendre l'apport des émotions dans le RM et qu'il pourrait éventuellement constituer un outil aidant pour certains diagnostics cliniques.

Les théories du RM se sont depuis longtemps intéressées à l'existence de différence de genres sans toutefois parvenir à un consensus. Certaines études classiques chez des adultes (Fishkin, Keniston, & MacKinnon, 1973; Haan, Smith, & Block, 1968; Holstein, 1969; Kohlberg & Kramer, 1969; Poppen, 1974) ont démontré un RM plus élevé pour les hommes,

ce que Gilligan (1982) attribuait à un biais dans la théorie kohlbergienne étant donné que le système de cotation du *Moral Judgment Interview* place le maintien des relations et les comportements prosociaux (stade 3, typique des femmes) comme étant moins sophistiqués que les considérations de justice et d'équité (stade 4, typique des hommes). Des études subséquentes ont toutefois réfuté cette déclaration et une méta-analyse a démontré un effet négligeable (Jaffee & Hyde, 2000). Toutefois, dans le contexte développemental, peu d'études se sont penchées sur la question des différences de genre dans le RM des enfants. L'étude 1 a démontré que les filles avaient un RM plus mature à toutes les périodes développementales, contrairement aux études classiques réalisées chez l'adulte qui ont trouvé un patron inverse (Muuss, 1988). Pour les périodes de l'enfance (6-11 ans) ceci appuie le fait que les filles présenteraient un degré plus faible de biais égocentriques caractérisés par les stades immatures de RM et une apparition plus rapide des capacités de décentration permettant la prise de perspective d'autrui. Par ailleurs, même lors de l'adolescence plus tardive (15-20 ans) ces différences se sont maintenues suggérant qu'il ne s'agit pas seulement d'une tendance expliquée par un début de puberté plus précoce chez les filles. De plus, durant cette période les filles de cette âge ont utilisé davantage de stades de RM considérés plus sophistiqués (ex. : stade 4, considérations de justice et équité) ce qui est contraire aux présomptions de Gilligan (1982). Plusieurs pistes sont possibles pour expliquer les différences de genre observées dans cette étude. L'hypothèse selon laquelle les filles seraient avantagées par la modalité de la tâche (justification verbale) ne peut être complètement écartée, bien qu'aucune différence significative de QI verbal n'ait été rapportée entre les garçons et les filles dans la présente étude. Il est possible que la différence soit modulée par les attentes sociales, alors qu'il est souvent attendu des filles un meilleur respect des règles et des comportements prosociaux (P. D. Hastings, McShane, Parker, & Ladha, 2007). L'hypothèse selon laquelle ces différences seraient attribuables en partie à la croissance cérébrale fera l'objet d'une discussion plus bas (voir section *considérations neurodéveloppementales*). Enfin, ces résultats soulèvent la question du lien entre le RM et la surreprésentation masculine dans les statistiques de délinquance juvénile. Il est possible que les délais dans les stades de RM contribuent à expliquer la prévalence plus élevée des problématiques externalisés (bris de règles, comportements agressifs, etc.) chez les garçons comparativement aux filles (ratio de 2.5:1 selon les études) (Hicks et al., 2007; Kessler et al., 1994; Newman et al., 1996).

## **Considérations neurodéveloppementales**

### *Croissance cérébrale structurelle et fonctionnelle*

À ce jour, nous en savons très peu sur l'association entre le développement cérébral et le développement social. Une seule étude à notre connaissance a juxtaposé le développement du RM à la lueur de la croissance cérébrale en utilisant la théorie des quatre composantes du jugement moral de James Rest (Narvaez & Vaydich, 2008). La plupart des études en neuroimagerie ont favorisé une investigation des substrats neuronaux du RM de façon statique. Il est néanmoins possible d'extrapoler des liens entre la croissance du cerveau et l'acquisition des habiletés sociales. Les résultats de l'étude 1 par exemple illustrent une trajectoire développementale typique du RM qui peut être mise en relief avec les récentes découvertes en ce qui a trait au développement structurel et fonctionnel du cerveau de 6 à 20 ans. Au niveau structurel, il est reconnu que le volume de la matière blanche augmente durant l'enfance et l'adolescence (Lenroot et al., 2007) sous-tendant une meilleure connectivité et une meilleure intégration des différents circuits neuronaux (Giedd & Rapoport, 2010). Ceci appuie l'augmentation linéaire observée du RM sur l'étendue d'âge étudiée. En revanche, le volume de matière grise pourrait permettre de rendre compte des changements plus subtils observés entre les groupes d'âge et le sexe. Au niveau développemental, il est rapporté qu'un des deux stades les plus importants de changements de la matière grise au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral a lieu durant la préadolescence (9-12 ans) (Matsui et al., 2016). Le cortex préfrontal dorsolatéral est reconnu pour être impliqué dans le RM ainsi que le fonctionnement exécutif (Greene, et al., 2004). De façon concordante, la différence significative la plus importante a été identifiée entre l'enfance et la pré-adolescence indiquant que des changements structurels dans le cerveau entre 9-12 ans sont susceptibles de sous-tendre en partie la maturation du RM qui s'opère durant cette période. De plus, il est suggéré que la trajectoire développementale de la matière grise suit un patron régional spécifique c'est-à-dire que les régions qui s'occupent des fonctions primaires comme la motricité et la perception sensorielle mûrent plus tôt que les régions qui intègrent ces fonctions primaires et impliquent des fonctions de plus haut niveau comme la cognition sociale (Lenroot & Giedd, 2006). Ceci pourrait contribuer à expliquer qu'une différence significative a pu être observée entre le début

de l'adolescence (12-14 ans) et le milieu de l'adolescence (15-17 ans). Des études avec un devis similaire n'ont pas démontré une telle différence significative entre ces deux périodes lors de l'examen de variables davantage primaires et possédant un niveau optimal comme la vitesse de traitement (J. Williams et al., 2014). Enfin, des différences de genre robustes ont été identifiées pour la plupart des structures cérébrales avec un volume de la matière grise qui atteint son pic de maturation 1 à 3 ans plus tôt chez les filles (Lenroot, et al., 2007; Tanaka, Matsui, Uematsu, Noguchi, & Miyawaki, 2012). Ceci pourrait contribuer à expliquer pourquoi les filles présentaient dans cette étude un RM plus mature que les garçons à travers les périodes développementales étudiées. Ces propositions demeurent somme toute spéculatives compte tenu du manque de données de neuroimagerie chez l'enfant. Toutefois, une récente étude a démontré une corrélation entre le volume de matière grise au niveau des réseaux frontostriataux et la maturité du RM chez les jeunes adultes, notamment l'atteinte des niveaux post-conventionnels, ce qui appuie le rôle de la croissance structurelle dans la maturation du RM (Prehn et al., 2015).

Au niveau fonctionnel, les études sur le développement cérébral indiquent que les enfants démontrent des patrons plus distribués de fonctions cérébrales que les adultes (Casey, Giedd, & Thomas, 2000), suggérant que la spécialisation régionale évolue graduellement au cours du développement (Ansado, et al., 2014). Dans cette lignée, Johnson et al. (2005) ont passé en revue le développement du cerveau social en mettant l'emphase sur le concept de « spécialisation interactive ». Contrairement à la « perspective maturationnelle » qui suggère que la fonction cérébrale émerge au moment où la région cérébrale impliquée atteint un niveau de maturité cible, la spécialisation interactive propose que le développement cérébral fonctionnel se fait graduellement suite à l'activation et l'intégration de multiples régions cérébrales. Cette hypothèse considère la connectivité comme un ingrédient essentiel de la maturation du cerveau social. Ainsi, le développement typique du RM est possiblement soutenu par une meilleure intégration des régions impliquées dans le cerveau social et une augmentation de la connectivité fonctionnelle entre ces régions.

### *Plasticité vs vulnérabilité*

Alors qu'il a longtemps été attribué à l'enfant une meilleure capacité de récupération de l'enfant que l'adulte suite à une blessure neurologique, les récentes années ont été témoins d'un changement de paradigme au profit de la théorie de la vulnérabilité en raison, notamment, des nombreux travaux sur les blessures cérébrales diffuses en bas âge, telles que les traumatismes crânio-cérébraux (V. Anderson, et al., 2011; Bellerose, Bernier, Beaudoin, Gravel, & Beauchamp, 2015; Garcia, Hungerford, & Bagner, 2015; Hessen, Nestvold, & Anderson, 2007). La littérature sur les LCF est plus mince et il a longtemps été avancé qu'elles étaient suivies d'un meilleur pronostic que les blessures diffuses (V. Anderson, et al., 2012). Les résultats de l'étude 2 démontrent qu'il existe aussi une vulnérabilité suite à une blessure focale, du moins en ce qui a trait au développement des fonctions sociocognitives telles que le RM et l'empathie. Le concept de spécialisation interactive présenté ci-haut appuie la notion selon laquelle le cerveau social serait particulièrement vulnérable à une LCF en bas âge. En considérant que le cerveau soit soumis à une spécialisation régionale via des processus d'interactions dépendant de la connectivité, alors une LCF peut entraver cette connectivité et avoir un impact plus étendu sur le développement cérébral qui n'est pas nécessairement circonscrit à la région lésée. C'est le cas particulièrement pour les régions frontales, temporales et du corps calleux qui sont les trois régions avec le développement le plus prolongé de la matière blanche (Yeates, et al., 2012). Ces réflexions font également écho aux travaux d'Anderson qui suggèrent que les fonctions primaires (ex. : langage et motricité) bénéficient d'une meilleure récupération post-LCF alors que les fonctions de haut niveau, qui reposent sur un réseau large et une plus grande connectivité (ex. : cognition sociale), sont davantage vulnérables à une atteinte biologique durant le développement (V. Anderson, Catroppa, et al., 2005; V. Anderson, et al., 2011).

### *Autres facteurs contributifs*

En dehors de l'âge de survenue de la lésion, il existe plusieurs facteurs pouvant influencer la cognition sociale post-LCF et déterminer à quel niveau l'enfant se situe sur le continuum de récupération. Cette question est d'autant plus pertinente qu'un petit nombre

d'enfants au sein de l'échantillon clinique a démontré peu d'atteintes sociales malgré des dommages cérébraux structurels visibles. Pour mieux cerner la cause de ce constat, il est utile de se référer au modèle SOCIAL de Beauchamp and Anderson (2010) qui offre un cadre théorique pour interpréter l'émergence de la compétence sociale. Dans le devis d'appariement, nous avons déjà contrôlé trois variables importantes susceptibles d'être liées à l'issue post-LCF, soit l'âge, le sexe et l'éducation parentale. Il est fort possible que d'autres facteurs viennent moduler le développement de la cognition sociale, particulièrement le RM. Les facteurs familiaux sont des candidats de facteurs externes importants à considérer. Les recherches ont démontré que la qualité de l'attachement maternel dans les premières années de la vie influençait grandement le développement des habiletés sociales, notamment la théorie de l'esprit (Fonagy & Bateman, 2016; Meins et al., 2002). Les valeurs véhiculées par la famille et, de façon plus large, la culture sont aussi susceptibles de dicter les normes sociales et forger le RM de l'enfant (Kirmayer, Rousseau, & Lashley, 2007). De plus, la présence de frères et sœurs pourrait exercer une influence importante sur le développement des habiletés sociales (McHale, Updegraff, & Whiteman, 2012; Sang & Nelson, 2017), comme le RM, en offrant des opportunités de résolution de conflits et d'entraide. Les facteurs internes sont souvent négligés malgré qu'ils aient le potentiel d'influencer la compétence sociale. Le tempérament et la personnalité d'un individu sont susceptibles de moduler la propension d'un individu à s'engager dans des rapports sociaux et du même coup bénéficier d'opportunités pour développer ses habiletés sociales. Par exemple, il a été démontré que les individus avec des traits de personnalité introvertis étaient moins habiles pour décoder les informations non-verbales (Lieberman & Rosenthal, 2001). Sous la loupe de la théorie des cinq grands facteurs de la personnalité, le RM a été associé positivement avec l'ouverture (Dollinger & LaMartina, 1998), l'agréabilité et le neuroticisme (Athota, O'Connor, & Jackson, 2009) et la conscienciosité (K. M. Williams, Orpen, Hutchinson, Walker, & Zumbo, 2006). En somme, une combinaison de facteurs à la fois internes et externes est susceptible d'influencer le développement de la cognition sociale et peut agir comme facteur de protection en cas de blessure cérébrale.

Les autres facteurs contributives concernent les caractéristiques de la LCF. Il a été démontré que la taille de la lésion et la présence d'épilepsie influençaient négativement la

compétence sociale telle que mesurée par des questionnaires (Greenham, et al., 2010; Lo et al., 2014). L'emplacement (frontal vs extra-frontal) et la latéralité (gauche vs droite) n'avaient par contre pas d'impact significatif sur la compétence sociale (Greenham, et al., 2010). Compte tenu des limitations imposées par la taille de l'échantillon nous n'avons pu investiguer l'impact de ce type de caractéristiques dans l'étude. Par contre, il est permis de croire que des mesures directes de la cognition sociale (tel que le So-Moral) plutôt que des mesures indirectes (ex. : questionnaire) pourraient permettre de détecter des différences plus subtiles en fonction de la localisation et d'offrir une analyse plus nuancée du lien cerveau-comportement lors de futures études.

### **Considérations méthodologiques en lien avec l'outil**

L'un des apports originaux de la thèse consiste en l'utilisation du So-Moral, une tâche novatrice de RM conçu spécifiquement pour les enfants et les adolescents et dans un souci d'offrir une mesure plus écologique du RM que ses prédécesseurs via des dilemmes sous forme de vignettes imagées, avec de véritables acteurs et dans une perspective de 1<sup>ère</sup> personne. Bien que cette thèse ne se voulait pas une étude psychométrique comme telle, elle permet néanmoins d'apporter des éléments pouvant appuyer la validité et le potentiel clinique de l'outil So-Moral. La section qui suit regroupe d'abord les éléments que la thèse révèle au sujet du So-Moral et ensuite discute des considérations méthodologiques en lien avec l'outil. Dans un premier temps, en illustrant la progression linéaire du RM de 6 à 20 ans nous avons démontré que le So-Moral avait une sensibilité développementale adéquate jusqu'au début de l'âge adulte sans présenter d'effet plafond. Ceci a été rendu possible grâce à l'utilisation de deux versions équivalentes du So-Moral, soit une version pour enfants (5-12 ans) et une version pour adolescents (13-20 ans) chacune d'entre elles présentant des dilemmes spécifiques et appropriés à l'âge. Suite aux résultats prometteurs de l'étude 1, le processus d'élaboration de normes du So-Moral est présentement en cours. L'étude 2 a pour sa part fait la démonstration de l'utilité clinique des deux scores issus du So-Moral, soit celui de la prise de décision morale et celui de la maturité du RM. Le fait que le So-Moral offre une mesure simultanée de ces deux aspects lui confère un avantage certain aux dépens des autres tâches

de moralité qui privilégie l'un ou l'autre (Gibbs, et al., 1992; Rosen, Rott, Ebersbach, & Kalbe, 2015). Ces deux variables n'ont pas démontré de corrélation significative ensemble ce qui, bien que pouvant être attribuable à la taille de l'échantillon, souligne qu'elles ne sont pas complètement interchangeables. Autrement dit, fournir une réponse morale n'est pas garant d'un haut niveau de maturité de RM et fournir une réponse immorale peut tout de même être appuyé par un niveau élevé de RM. Par exemple, un enfant pourrait choisir de garder un portefeuille trouvé (réponse inadapté) en s'appuyant sur une justification dont le RM est élevé (ex. : « Il n'y a pas de loi qui interdit de garder ce que l'on trouve », une justification qui correspondrait au 4<sup>ème</sup> stade de maturité sur 5). Il est aussi possible d'avancer prudemment une preuve de la validité de construit de l'outil So-Moral en raison des différences de genre observées dans la première étude. En effet, il a été rapporté dans la littérature une maturation plus rapide chez les filles de différents aspects de la cognition sociale (Gur et al., 2012), une tendance qui est retrouvée au sein de notre échantillon. Les corrélations significatives du RM et de la prise de décision avec l'empathie renforcent également la validité de construit de l'outil So-Moral en démontrant une association significative avec une fonction sociocognitive. D'autres aspects psychométriques, tels que la fidélité inter-juge, la validité écologique et la validité de construit avaient déjà fait l'objet d'investigations fructueuses dans une étude antérieure de Dooley, et al. (2010).

Les nombreux défis méthodologiques inhérents à la conception et la structure des mesures de cognition sociale sont bien représentés dans le développement et l'application du So-Moral (voir Beauchamp, sous presse). Ces défis concernent la nature des stimuli, les caractéristiques de la tâche et la cotation. Il apparaît pertinent de se pencher sur ces aspects au terme des études de cette thèse en termes des forces et des aspects à perfectionner de l'outil. Le choix d'opter pour des vignettes en images et de véritables acteurs constitue une force de la tâche qui permet par le fait même de reproduire un décor réel et de véhiculer certains aspects non-verbaux (expression faciale, posture du corps et gestes) qui sont des indices cruciaux pour une compréhension adéquate des enjeux moraux (Vera-Estay, et al., 2016). Dans le but d'accroître le réalisme, des vignettes vidéo ou des environnements immersifs auraient pu constituer une alternative. Ceux-ci sont encore plus riches au plan des informations sociales véhiculées en ajoutant notamment la possibilité d'inclure des variations dans la prosodie et

d'autres aspects de la communication non-verbale (ex. : sarcasme) (Dziobek, 2012; Dziobek et al., 2006). Concernant les caractéristiques de la tâche, les forces principales de l'outil sont de dépeindre des scénarios sociaux réalistes et familiers pour les enfants et d'employer une perspective de 1<sup>ère</sup> personne. La tâche requiert toutefois l'intervention de l'évaluateur et l'enregistrement des réponses par ce dernier ce qui pourrait entraîner une certaine désirabilité sociale. Par conséquent, il est possible que le So-Moral sous-estime la propension des participants à faire un choix immoral dans un souci d'éviter le jugement d'autrui. De plus, certains auteurs soulignent qu'un désavantage d'utiliser des dilemmes familiers à l'enfant est qu'il peut être facile pour celui-ci de donner une réponse désirable, car ce type de connaissances morales a déjà été appris en contexte didactique ou dans la vie de tous les jours (Hao & Liu, 2016). Enfin, la cotation de la tâche a pour atout d'offrir une étendue adéquate de valeurs pour documenter des différences significatives, ce qui n'est pas le cas pour d'autres outils de RM comme le *Moral Judgment Interview* (Kohlberg, 1958), le *Happy-victimizer paradigm* (Malti, et al., 2009) et le *Prosocial moral reasoning interview* (Eisenberg, et al., 1983) qui ont un petit nombre de dilemmes. Les défis futurs seront de rendre plus accessible le système de cotation via un manuel révisé et l'offre de formations étant donné que certaines connaissances théoriques sont requises afin de tirer le maximum d'informations de la tâche autant en recherche qu'en clinique.

## **Considérations cliniques**

### *Évaluation*

La présente thèse a des retombées cliniques considérables. Typiquement, l'évaluation neuropsychologique standard n'inclut pas de mesures de la cognition sociale et ce malgré l'importance de la socialisation durant l'enfance et la présence de déficits sociaux au sein de plusieurs troubles neurodéveloppementaux. Le manque de mesures directes de la cognition sociale fait en sorte que les cliniciens doivent miser sur l'entrevue clinique et des questionnaires standardisés non-spécifiques aux difficultés sociales (Beauchamp, sous presse; Beauchamp & Anderson, 2010; Henry, et al., 2016). La présente étude a d'ailleurs démontré que les scores aux différents questionnaires pour le groupe clinique demeuraient globalement

dans l'étendue de la moyenne. De plus, au plan intraindividuel, certains patients avec une LCF ont démontré des atteintes spécifiques au niveau de la cognition sociale en dépit d'un fonctionnement intellectuel adéquat. Bref, il est possible que des retards au plan de la cognition sociale ne soient pas suspectés sur la base des résultats aux questionnaires comportementaux ou des habiletés cognitives générales d'où l'importance de sensibiliser le milieu clinique et de développer des outils de cognition sociale pour les enfants et adolescents. Les rares outils actuellement disponibles pour les enfants ont majoritairement été développés dans un cadre de recherche et pour le dépistage du TSA (Happé & Conway, 2016). Ces outils ne sont pas toujours transposables dans le contexte de la neurologie puisque le profil d'atteintes est susceptible d'être différent. Les enfants avec un TSA présentent généralement des déficits de théorie de l'esprit qui entraînent des comportements de maladresse sociale et des difficultés à comprendre le langage non-littéral et établir des relations réciproques (American Psychiatric Association, 2014). En revanche, suite à une lésion cérébrale, particulièrement au niveau frontal, les déficits peuvent se manifester différemment prenant la forme d'un manque de régulation comportementale et émotionnelle et/ou de difficultés d'ordre pragmatique au sein de l'interaction sociale (Kennedy & Adolphs, 2012; Stuss & Benson, 1986). Dans ce contexte, une évaluation de différents processus sociocognitifs (ex. : raisonnement moral, théorie de l'esprit, reconnaissance d'affects) permettrait d'offrir une interprétation plus nuancée et complète du fonctionnement social de l'individu. Il est également important de prendre en considération l'évaluation des fonctions exécutives (ex. : flexibilité cognitive, fluence verbale et inhibition) puisque celles-ci ont démontré des liens avec la cognition sociale, notamment le RM (Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016).

### *Trajectoire développementale*

L'étude 1 a permis d'illustrer un modèle de développement typique du RM qui pourrait éventuellement servir de trajectoire développementale comparative avec des populations cliniques. Se basant sur l'approche du neuroconstructivisme, Annaz, Karmiloff-Smith, and Thomas (2008) soulignent l'importance de tracer et suivre l'évolution de trajectoires développementales spécifique à une tâche pour les troubles neurodéveloppementaux et

génétiques. Ceci constitue une alternative aux études longitudinales qui sont coûteuses en termes de temps et aux études transversales. Après avoir établi une trajectoire normale avec un échantillon neurotypique sur une grande étendue d'âge, la performance d'un individu avec un trouble neurodéveloppemental peut être située sur la trajectoire typique. Ceci permet de déterminer si la position de l'individu sur la trajectoire correspond à celle prédite par son âge chronologique, voire même son âge mental. Éventuellement, des trajectoires pourront aussi être tracées pour un trouble spécifique et mises en relief avec la trajectoire typique permettant de répondre plus directement à la question : « est-ce que le RM se développe normalement ou atypiquement au sein de ce trouble neurodéveloppemental? ». Une telle démarche permettrait aussi d'aller au-delà de simplement décrire un comportement en tant qu'un retard. En d'autres mots, il deviendrait possible d'utiliser des descripteurs plus précis tel que 1) « *on-set* » retardé qui impliquerait un que le RM se développe à un rythme normal (non statistiquement différent de la trajectoire typique); 2) *rythme retardé* de la trajectoire qui impliquerait un on-set normal, mais un rythme plus lent de l'augmentation de la maturité du RM; 3) « *on-set* » et un *rythme retardé* ou 4) *aucun retard* qui impliquerait un gradient non statistiquement différent à travers le temps (Annaz, 2006). Ce type d'approche pourrait être particulièrement pertinent pour l'étude du RM, étant donné qu'il s'agit d'une fonction dont le développement est prolongé. Ainsi il est possible qu'en bas âge les enfants avec un trouble donné ne diffèrent pas de la trajectoire typique, mais qu'au cours de l'adolescence, alors que les exigences sociales augmentent et que le RM se complexifie, ils demeurent à des niveaux plus immatures. Compte tenu de la taille et de l'hétérogénéité de l'échantillon clinique nous avons opté dans l'étude 2 pour un devis avec appariement plutôt que la superposition d'une trajectoire. Néanmoins les données issues de l'étude 1 pourront certainement servir lors de futures études utilisant une telle approche.

### *Interventions*

Enfin, la question des pistes d'intervention s'impose afin de faire un pont entre la théorie et la pratique. L'avantage d'œuvrer dans le domaine social est que plusieurs interventions ciblant des habiletés sociales ont déjà fait l'objet d'investigation au sein de disciplines connexes, comme la psychologie sociale et développementale (Beauchamp, sous

presse). Des programmes d'entraînement ont été développés dans le cadre de recherches sur la compétence sociale en ce qui concerne les relations avec les pairs, l'interaction parent-enfant, l'agressivité et les comportements antisociaux (Barlow, Bergman, Kornor, Wei, & Bennett, 2016; Bierman, 2004; Furlong et al., 2013; Mortensen & Mastergeorge, 2014). Ces programmes d'entraînement se distinguent des interventions pour améliorer certains aspects spécifiques de la cognition sociale ayant été développées dans le contexte d'un TSA et de la schizophrénie (Cassel, McDonald, Kelly, & Togher, 2016). Ces dernières ont ciblé des processus sociocognitifs tels que l'attention conjointe (Murza, Schwartz, Hahs-Vaughn, & Nye, 2016) et la théorie de l'esprit (Fletcher-Watson, McConnell, Manola, & McConachie, 2014) dans l'autisme de même que la perception des émotions et la théorie de l'esprit dans la schizophrénie (Kurtz, Gagen, Rocha, Machado, & Penn, 2016; Penn, Roberts, Combs, & Sterne, 2007).

En ce qui au trait au RM, il existe actuellement peu de programmes d'intervention. Traditionnellement, des programmes d'intervention dans le but d'accélérer le développement du RM chez les délinquants juvéniles ont été proposés. Certaines études ont démontré une progression au plus d'un stade vers le suivant (Arbuthnot & Gordon, 1986; Gibbs, Arnold, Ahlborn, & Cheesman, 1984) alors que d'autres n'ont relevé aucun changement (Copeland & Parish, 1979; Gendreau & Ross, 1987). La plupart de ces programmes étaient basés sur des discussions de groupe au sujet d'enjeux moraux et étaient tenus en milieu carcéral ce qui limite la généralisation aux populations d'enfants avec une atteinte du RM issus d'un trouble neurodéveloppemental ou neurologique. Néanmoins, l'idée de chercher à augmenter les stades de RM ne peut être ignorée dans le contexte de l'étude 2 étant donné que la plupart des enfants avec une LCF demeuraient à un stade immature de RM (stade 2) comparativement aux contrôles appariés (stades 3 et 4). L'accession aux stades matures de RM pourrait donc faire partie des objectifs de prévention et d'intervention ceux-ci permettant la prise de perspective d'autrui et de la société et étant associés dans la littérature à une diminution des risques de comportements délinquants (Jennings & Kohlberg, 1983). Outre les opportunités de socialisation avec les pairs, le RM peut être stimulé via des jeux de rôles, des lectures éducatives, des discussions de groupe et des discussions familiales qui sont tous des recommandations issues de l'« éducation morale » la discipline qui cherche à faire le pont

entre les théories du RM et l'intervention, notamment en milieu scolaire (Rahim & Maila, 2012). Toutefois, orienter uniquement l'intervention sur une augmentation de la maturité du RM n'a pas constamment démontré des répercussions significatives au niveau des comportements observables (Gibbs et al., 1995). Ceci est attribuable au fait que la plupart des interventions ne prennent pas en compte les autres domaines de la cognition sociale et ne cadrent pas le RM dans le contexte plus large de la réalité quotidienne où la prise de décision est complexifiée par une multitude de facteurs, comme la pression des pairs (Harvey, 2005). Une alternative qui semble plus prometteuse et qui va de pair avec les modèles de compétence sociale ayant guidé ce projet est une approche multi-modale dans laquelle le RM est une cible d'intervention parmi d'autres. L'étude 2 suggère que l'empathie est une fonction sociocognitive connexe sur laquelle il serait pertinent d'intervenir compte tenu de son association avec le RM. Il se pourrait aussi que d'intervenir sur les fonctions exécutives ait un effet positif indirect sur le développement du RM et les interactions sociales en général (Vera-Estay, et al., 2014; Vera-Estay, et al., 2016). Les quelques programmes ayant incorporé le RM au sein d'une approche sociocognitive multimodale (stratégie de résolution de problèmes, régulation émotionnelle et stimulation du RM) ont enregistré des résultats positifs au niveau comportemental avec, notamment, une diminution de l'agressivité, suggérant qu'il s'agit d'une avenue prometteuse (Goldstein, Glick, & Gibbs, 1998; McGuire & Clark, 2004).

Éventuellement, le So-Moral pourrait aussi être implanté comme outil d'évaluation afin d'orienter l'intervention, étant donné qu'il offre une mesure du RM et de la prise de décision morale. Autrement dit, le profil d'atteintes au So-Moral pourrait aider à orienter le type d'intervention à privilégier et identifier les individus plus à risque de trouble des conduites. Par exemple, un individu avec RM immature, mais une prise de décision intacte pourrait bénéficier d'un programme multimodal davantage axé sur la stimulation du RM tel que présenté plus haut. Par contre, un individu qui présente à la fois un RM immature et une prise de décision morale altérée serait potentiellement plus à risque de trouble de conduites et pourrait être priorisé. Dans un tel contexte, le programme d'intervention pourrait aussi incorporer une approche de prévention et de traitement axé sur les problèmes de conduites, tels que des interventions axées sur les apprentissages sociaux ainsi qu'un entraînement des

habiletés parentales auprès de la famille du jeune (Scott, 2007; Webster-Stratton, Reid, & Hammond, 2001; Woolfenden, Williams, & Peat, 2001)

### **Directions futures**

Les résultats de cette thèse pavent la voie à de nombreuses questions de recherche et avenues cliniques, certaines ayant déjà été mentionnées plus haut, qui pourront être explorées lors d'études ultérieures. Nous venons tout juste d'aborder la question des programmes d'intervention. Au-delà de ce type de programme qui demeure somme toute difficile à implanter, une sensibilisation des acteurs clés dans la vie de l'enfant à risque de difficultés de cognition sociale pourrait se révéler bénéfique pour en promouvoir le développement. Ainsi, l'entraînement des capacités sociocognitives pourrait être intégré dans les programmes d'éducation parentale en sensibilisant les parents à l'importance de refléter les émotions de l'enfant et d'autrui, inculquer des valeurs morales et tirer avantage des situations quotidiennes pour accompagner l'enfant dans un processus de RM. Il en va de même pour les intervenants en milieu scolaire qui pourraient privilégier les débats et les réflexions de groupe pour analyser les conflits dans la classe ou dans la société et incorporer des exercices visant à mettre en pratique la cognition sociale au sein d'activités pédagogiques (ex. prendre la perspective de différents personnages dans un roman, détecter un dilemme moral dans le cadre d'un événement historique ou politique, inférer l'émotion de l'auteur d'un poème, etc.). Nous avons présenté, plus haut, différents facteurs à la fois internes et environnementaux étant susceptibles d'influencer le développement typique ou atypique de la cognition sociale. L'exploration de ces facteurs est une avenue définitive de recherche, notamment en ce qui a trait au rôle de la génétique, l'environnement familial, la qualité de l'attachement et la culture sur le développement des habiletés sociocognitives comme le RM et, de façon plus large, du cerveau social. Nous savons maintenant qu'une atteinte au développement cérébral par le biais d'une LCF est susceptible d'entraîner des délais dans la maturation des processus sociocognitifs. Les prochaines étapes seront de déterminer de quelle façon les caractéristiques de la blessure influencent l'issue post-LCF, notamment la taille, l'emplacement et l'étiologie de la lésion. L'évaluation du RM et de la cognition sociale au sein d'autres populations cliniques est également une avenue de recherche future et qui pourra tirer profit de la

conception de nouveaux outils d'évaluation non-spécifiques à un trouble. Les difficultés sociocognitives associées au TSA et à la schizophrénie sont bien documentées étant donné que la cognition sociale y est un déficit central. Comme nous l'avons fait dans ce projet, il est pertinent d'élargir le champ d'action de la cognition sociale et de considérer d'autre groupe d'individus susceptibles d'avoir des atteintes à ce niveau. Par exemple, il pourrait être intéressant d'évaluer la cognition sociale chez des enfants avec un développement neurotypique mais qui sont ou ont été exposés à des situations d'adversité (ex. maladies chroniques, maltraitance, réfugiés ou en processus d'immigration, exposition à des événements traumatiques). Dans de tels cas, l'évaluation de la cognition sociale pourrait enrichir notre compréhension clinique de l'effet de ces stressseurs sur leur interprétation du monde social, un aspect parfois négligé dans l'intervention, mais qui peut avoir un impact sur la compétence et l'adaptation sociales de ces individus. Dans un ordre d'idées différent, les chercheurs en neurosciences sociales pourront éventuellement être appelés à contribuer à l'élaboration de procédures législatives concernant les adolescents et alimenter la réflexion sur plusieurs débats de société. Il a été démontré que le RM continue sa progression au-delà de l'adolescence et que le cerveau social est vulnérable à la prise de risque étant donné la croissance cérébrale prolongée. Ces données pourront être importantes à considérer lorsque viendra le temps de débattre de l'âge de la responsabilité criminelle, la sévérité des sentences à l'égard des adolescents et l'âge minimal requis pour la conduite automobile, par exemple. Enfin, les recherches futures sur la moralité pourront trouver complémentarité au sein de la neuroéthique fondamentale, une discipline émergente qui s'intéresse à la façon dont les connaissances au sujet de la cartographie fonctionnelle du cerveau et de son évolution peut accroître notre compréhension de l'identité personnelle, de la conscience humaine et de l'intentionnalité, incluant le développement du RM.

### **Forces et limitations**

L'une des forces de cette thèse est l'utilisation d'un outil novateur d'évaluation du RM qui adresse les critiques des tâches traditionnelles et les défis liés à la création d'une tâche de cognition sociale. Le So-Moral a été conçu dans un souci de validité écologique en cherchant à reproduire la réalité sociale dans laquelle le RM est utilisé au quotidien. Pour ce faire, une

perspective de 1<sup>ère</sup> personne, des dilemmes pertinents à la réalité des jeunes et deux versions spécifiques à l'âge ont été utilisés. L'emploi de vignettes imagées a aussi permis de l'administrer à une population d'enfants avec atteinte neurologique en limitant l'impact de facteurs cognitifs confondants (motricité, lecture, attention et mémoire de travail). Il n'en demeure pas moins que le So-Moral est un outil qui repose dans une certaine mesure sur le langage étant donné que la maturité du RM est cotée en fonction d'une justification orale. Ceci peut donc désavantager les enfants qui présentent des troubles de langage expressif ou dont la langue de passation n'est pas celle maternelle. Bien que cette thèse soit parvenue à identifier des éléments supportant la validité de l'outil et offrir un complément aux données psychométriques de Dooley, et al. (2010), davantage d'études sont requises afin de renforcer les qualités psychométriques de l'outil, notamment en ce qui a trait à sa validité concurrente et sa fidélité test-retest. Une limitation additionnelle consiste en l'évaluation des sphères sociale et comportementale via des questionnaires, tels que le CBCL ou l'ABAS. Ces derniers n'ont pas été développés spécifiquement pour évaluer la compétence sociale ce qui les rend moins sensibles pour détecter des difficultés d'ordre social et a pu diminuer la force de l'association avec notre variable principale du RM. Des efforts sont d'ailleurs actuellement en cours afin de développer des questionnaires spécifiques à la compétence sociale. De plus, le recours à un parent en tant que répondant comporte certaines limites, leur perception pouvant être biaisée positivement ou négativement par des facteurs tels que la relation directe avec l'enfant, la comparaison avec la fratrie ou leur propre état psychologique. L'inclusion de sources complémentaires d'informations telles que l'ajout d'un répondant additionnel (ex. : enseignant) ou encore des observations dans le milieu auraient permis d'obtenir un portrait sans doute plus représentatif du fonctionnement social des participants. Enfin, l'utilisation d'un devis transversal comporte certains inconvénients. Dans l'étude 1, bien que nous avons pu identifier des *changements* entre les groupes d'âge, le fait de mesurer le RM à un point dans le temps ne permet pas d'explorer précisément le *développement* du RM en termes de mouvements d'un stade à l'autre comparativement à un devis longitudinal. Dans l'étude 2, l'usage d'un devis transversal avec appariements a permis de détecter des différences dans la maturité du RM des enfants avec une LCF, par contre il n'est pas adapté pour tracer l'évolution du RM à long-terme et les conséquences futures au plan comportemental. De plus, il ne permet pas de déterminer si cette différence de maturité du RM constitue un délai ou

alors l'atteinte d'un plafond en raison de la lésion cérébrale. L'étude constitue néanmoins une première évidence de difficultés sociocognitives multiples au sein d'un groupe avec LCF, ce qui ouvre la voie à de futures études cherchant à expliquer les sources des particularités sociocomportementales de ces enfants et mieux comprendre les répercussions d'une atteinte aux régions du cerveau social.

## **Conclusion**

Ce projet de thèse s'inscrit dans un effort d'intégrer l'évaluation de la cognition sociale à la neuropsychologie clinique. S'intéresser à la dimension sociale chez l'enfant est se rapprocher de leur réalité et explorer des aspects qui à cet âge sont cruciaux pour leur bien-être. Les défis pour développer des outils de cognition sociale écologiques appropriés aux jeunes et qui s'intègrent à la pratique clinique sont grands. Dans cette thèse, nous avons mis de l'avant une tâche de RM et fait la démonstration de sa sensibilité développementale et de son potentiel à détecter des particularités subtiles au plan du développement de la cognition sociale des jeunes avec une LCF. Avec les avancées en neurosciences sociales, il est désormais possible de contextualiser le développement des habiletés sociales et morales au sein d'une perspective neurodéveloppementale ce qui promet d'accroître pour les années à venir notre compréhension de ces facultés tant célébrées chez l'humain et qui nous distinguent des autres espèces vivantes.

## Bibliographie

- Aarsen, F. K., Paquier, P. F., Reddingius, R. E., Streng, I. C., Arts, W. F., Evera-Preesman, M., et al. (2006). Functional outcome after low-grade astrocytoma treatment in childhood. *Cancer, 106*(2), 396-402.
- Abdi, Z., & Sharma, T. (2004). Social cognition and its neural correlates in schizophrenia and autism. *CNS spectrums, 9*(5), 335-343.
- Achenbach, T. M., & Rescorla, L. A. (2001). *Manual for ASEBA School-Age Forms & Profiles*. Burlington, VT: University of Vermont, Research Center for Children, Youth, & Families.
- Adolphs, R. (2003). Is the human amygdala specialized for processing social information? *Annals of the New York Academy of Sciences, 985*, 326-340.
- Adolphs, R. (2009). The social brain: neural basis of social knowledge. *Annual Review of Psychology, 60*, 693-716.
- Adolphs, R., Tranel, D., & Damasio, A. R. (2003). Dissociable neural systems for recognizing emotions. *Brain and Cognition, 52*(1), 61-69.
- Ahmed, S. P., Bittencourt-Hewitt, A., & Sebastian, C. L. (2015). Neurocognitive bases of emotion regulation development in adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience, 15*, 11-25.
- Allison, T., Puce, A., & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(7), 267-278.
- Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nature reviews Neuroscience, 7*(4), 268-277.
- Anderson, D. P., Harvey, A. S., Saling, M. M., Anderson, V., Kean, M., Jacobs, R., et al. (2002). Differential functional magnetic resonance imaging language activation in twins discordant for a left frontal tumor. *Journal of Child Neurology, 17*(10), 766-769.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychol, 8*(2), 71-82.
- Anderson, S. W., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1999). Impairment of social and moral behavior related to early damage in human prefrontal cortex. *Nature Neuroscience, 2*(11), 1032-1037.

- Anderson, V., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385-406.
- Anderson, V., & Beauchamp, M. (2012). *Developmental social neuroscience and childhood brain insult*. New York, NY: Guilford Press.
- Anderson, V., Bond, L., Catroppa, C., Grimwood, K., Keir, E., & Nolan, T. (1997). Childhood bacterial meningitis: impact of age at illness and acute medical complications on long term outcome. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 3(2), 147-158.
- Anderson, V., Catroppa, C., Morse, S., Haritou, F., & Rosenfeld, J. (2005). Functional plasticity or vulnerability after early brain injury? *Pediatrics*, 116(6), 1374-1382.
- Anderson, V., Gomes, A., Greenham, M., Hearps, S., Gordon, A., Rinehart, N., et al. (2014). Social competence following pediatric stroke: contributions of brain insult and family environment. *Social Neuroscience*, 9(5), 471-483.
- Anderson, V., Jacobs, R., & Harvey, A. S. (2005). Prefrontal lesions and attentional skills in childhood. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 11(7), 817-831.
- Anderson, V., & Moore, C. (1995). Age at injury as a predictor of outcome following pediatric head injury: A longitudinal perspective. *Child Neuropsychology*, 1(3), 187-202.
- Anderson, V., Rosema, S., Gomes, A., & Catroppa, C. (2012). Impact of early brain insult on the development of social competence. In M. Beauchamp & V. Anderson (Eds.), *Developmental social neuroscience and childhood brain insult* (pp. 231-253). New York, NY: Guilford Press.
- Anderson, V., Spencer-Smith, M., Leventer, R., Coleman, L., Anderson, P., Williams, J., et al. (2009). Childhood brain insult: can age at insult help us predict outcome? *Brain*, 132(Pt 1), 45-56.
- Anderson, V., Spencer-Smith, M., & Wood, A. (2011). Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. *Brain*, 134(Pt 8), 2197-2221.
- Annaz, D. (2006). *The development of visuo-spatial processing in children with autism, Down syndrome and Williams syndrome (Thesis)*. University of London, Birkbeck.

- Annaz, D., Karmiloff-Smith, A., & Thomas, M. C. (2008). The importance of tracing developmental trajectories for clinical child neuropsychology. In J. Reed & J. Warner Rogers (Eds.), *Child neuropsychology: Concepts, theory and practice* (pp. 7-18). Oxford, England: Blackwell.
- Ansado, J., Chiasson, V., & Beauchamp, M. H. (2014). Croissance cérébrale et neurodéveloppement à l'adolescence. In M. Claes & L. Lannegrand-Willems (Eds.), *La psychologie de l'adolescence* (pp. 45-71): Les Presses de l'Université de Montréal.
- Aram, D., & Ekelman, L. (1986). Cognitive profiles of children with early onset unilateral lesions. *Developmental Neuropsychology*, 2(3), 155-172.
- Arbuthnot, J., & Gordon, D. A. (1986). Behavioral and cognitive effects of a moral reasoning development intervention for high-risk behavior-disordered adolescents. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 54(2), 208-216.
- Armon, C., & Dawson, T. L. (1997). Developmental Trajectories in Moral Reasoning Across the Life Span. *Journal of Moral Education*, 26(4), 433-453.
- Association, A. P. (Ed.) (2014). Washington, D.C.
- Athota, V. S., O'Connor, P. J., & Jackson, C. (2009). The role of emotional intelligence and personality in moral reasoning. In R. E. Hicks (Ed.), *Personality and individual differences: Current directions* (pp. 105-112). Bowen Hills, Queensland: Australian Academic Press.
- Avram, M., Hennig-Fast, K., Bao, Y., Poppel, E., Reiser, M., Blautzik, J., et al. (2014). Neural correlates of moral judgments in first- and third-person perspectives: implications for neuroethics and beyond. *BMC Neuroscience*, 15, 39.
- Bahia, V. S., Takada, L. T., Caixeta, L., Lucato, L. T., Porto, C. S., & Nitrini, R. (2013). Prefrontal damage in childhood and changes in the development of personality : A Case report. *Dementia & Neuropsychologia*, 7(1), 132-125.
- Baird, J. A., & Astington, J. W. (2004). The role of mental state understanding in the development of moral cognition and moral action. *New Directions for Child and Adolescent Development*(103), 37-49.
- Bakken, L., & Ellsworth, R. (1990). Moral development in adulthood: relationship to age, sex, and education. *Educational Research Quarterly*, 14, 2-9.

- Bandura, A. (1991). Social cognitive theory of moral thought and action. In W. M. Kurtines & J. L. Gewirtz (Eds.), *Handbook of Moral Behavior and Development* (pp. 1-45). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Barlow, J., Bergman, H., Kornor, H., Wei, Y., & Bennett, C. (2016). Group-based parent training programmes for improving emotional and behavioural adjustment in young children. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*(8), CD003680.
- Baron-Cohen, S., Golan, O., & Ashwin, E. (2009). Can emotion recognition be taught to children with autism spectrum conditions? *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1535), 3567-3574.
- Basinger, K. S., Gibbs, J. C., & Fuller, D. (1995). Context and the measurement of moral judgement. *International Journal of Behavioral Development*, 18, 537-556.
- Bates, E., Vicari, S., & Trauner, D. A. (1999). Neural mediation of language development: Perspectives from lesion studies of infants and children. In H. Tager-Flausberg (Ed.), *Neurodevelopmental disorders* (pp. 533-581). Cambridge: MIT Press.
- Bava, S., & Tapert, S. F. (2010). Adolescent brain development and the risk for alcohol and other drug problems. *Neuropsychology Review*, 20(4), 398-413.
- Beauchamp, M. H. (sous presse). Neuropsychology's social landscape: Common ground with social neuroscience. *Neuropsychology*.
- Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). SOCIAL: an integrative framework for the development of social skills. *Psychological Bulletin*, 136(1), 39-64.
- Beauchamp, M. H., Dooley, J. J., & Anderson, V. (2013). A preliminary investigation of moral reasoning and empathy after traumatic brain injury in adolescents. *Brain Injury*, 0(0), 1-7.
- Bedell, G. M., & Dumas, H. M. (2004). Social participation of children and youth with acquired brain injuries discharged from inpatient rehabilitation: a follow-up study. *Brain Injury*, 18(1), 65-82.
- Bellerose, J., Bernier, A., Beaudoin, C., Gravel, J., & Beauchamp, M. H. (2015). When Injury Clouds Understanding of Others: Theory of Mind after Mild TBI in Preschool Children. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 21(7), 483-493.

- Bielby, D., & Papalia, D. (1975). Moral development and perceptual role-taking: their development and interrelationship across the life-span. *International Journal of Aging and Human Development*, 6(293-308).
- Bierman, K. L. (2004). *Peer rejection: Developmental processes and intervention strategies*. New York, NY: Guilford Press.
- Bigler, E. D., Yeates, K. O., Dennis, M., Gerhardt, C. A., Rubin, K. H., Stancin, T., et al. (2013). Neuroimaging and social behavior in children after traumatic brain injury: findings from the Social Outcomes of Brain Injury in Kids (SOBIK) study. *NeuroRehabilitation*, 32(4), 707-720.
- Bittigau, P., Sifringer, M., Felderhoff-Mueser, U., & Ikonomidou, C. (2004). Apoptotic neurodegeneration in the context of traumatic injury to the developing brain. *Experimental and Toxicologic Pathology : official journal of the Gesellschaft fur Toxikologische Pathologie*, 56(1-2), 83-89.
- Blakemore, S. J. (2008). Development of the social brain during adolescence. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 40-49.
- Blakemore, S. J., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 47(3-4), 296-312.
- Blakemore, S. J., & Mills, K. L. (2014). Is adolescence a sensitive period for sociocultural processing? *Annual Review of Psychology*, 65, 187-207.
- Boake, C. (2002). From the Binet-Simon to the Wechsler-Bellevue: tracing the history of intelligence testing. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(3), 383-405.
- Bonini, L. (2016). The Extended Mirror Neuron Network: Anatomy, Origin, and Functions. *The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, 23(1), 56-67.
- Bonini, L., & Ferrari, P. F. (2011). Evolution of mirror systems: a simple mechanism for complex cognitive functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1225, 166-175.

- Bornstein, M. H., Hahn, C. S., & Haynes, O. M. (2010). Social competence, externalizing, and internalizing behavioral adjustment from early childhood through early adolescence: developmental cascades. *Development and Psychopathology*, 22(4), 717-735.
- Bowen, K. L., Morgan, J. E., Moore, S. C., & van Goozen, S. H. (2014). Young Offenders' Emotion Recognition Dysfunction Across Emotion Intensities: Explaining Variation Using Psychopathic Traits, Conduct Disorder and Offense Severity. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 36(1), 60-73.
- Brothers, L. (1990). The social brain: a project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain. *Concepts in neuroscience*, 1, 27-51.
- Brune, M., & Brune-Cohrs, U. (2006). Theory of mind--evolution, ontogeny, brain mechanisms and psychopathology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(4), 437-455.
- Buhs, E. S., & Ladd, G. W. (2001). Peer rejection as an antecedent of young children's school adjustment: An examination of mediating process. *Developmental Psychology*, 37(4), 550-560.
- Burt, K. B., Obradovic, J., Long, J. D., & Masten, A. S. (2008). The interplay of social competence and psychopathology over 20 years: testing transactional and cascade models. *Child Development*, 79(2), 359-374.
- Bzdok, D., Schilbach, L., Vogeley, K., Schneider, K., Laird, A. R., Langner, R., et al. (2012). Parsing the neural correlates of moral cognition: ALE meta-analysis on morality, theory of mind, and empathy. *Brain Structure & Function*, 217(4), 783-796.
- Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Sheridan, J. F., & McClintock, M. K. (2000). Multilevel integrative analyses of human behavior: social neuroscience and the complementing nature of social and biological approaches. *Psychological Bulletin*, 126(6), 829-843.
- Calder, A. J., & Young, A. W. (2005). Understanding the recognition of facial identity and facial expression. *Nature reviews Neuroscience*, 6(8), 641-651.
- Carey, M. E., Barakat, L. P., Foley, B., Gyato, K., & Phillips, P. C. (2001). Neuropsychological functioning and social functioning of survivors of pediatric brain tumors: evidence of nonverbal learning disability. *Child neuropsychology*, 7(4), 265-272.

- Casebeer, W. D. (2003). Moral cognition and its neural constituents. *Nature reviews Neuroscience*, 4(10), 840-846.
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1-3), 241-257.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 111-126.
- Cassel, A., McDonald, S., Kelly, M., & Togher, L. (2016). Learning from the minds of others: A review of social cognition treatments and their relevance to traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1-34.
- Channon, S., & Crawford, S. (2010). Mentalising and social problem-solving after brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 20(5), 739-759.
- Chapman, S. B., Max, J. E., Gamino, J. F., McGlothlin, J. H., & Cliff, S. N. (2003). Discourse plasticity in children after stroke: age at injury and lesion effects. *Pediatric Neurology*, 29(1), 34-41.
- Chen, C.-A., & Howitt, D. (2007). Different crime types and moral reasoning development in young offenders compared with non-offender controls. *Psychology, Crime & Law*, 13(4), 12.
- Chiasson, V., Vera-Estay, E., Lalonde, G., Dooley, J. J., & Beauchamp, M. H. (2017). Assessing social cognition: age-related changes in moral reasoning in childhood and adolescence. *The Clinical Neuropsychologist*, 31(3), 515-530.
- Chisholm, J. D., Chapman, C. S., Amm, M., Bischof, W. F., Smilek, D., & Kingstone, A. (2014). A cognitive ethology study of first- and third-person perspectives. *PLoS One*, 9(3), e92696.
- Choudhury, S., Blakemore, S. J., & Charman, T. (2006). Social cognitive development during adolescence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 1(3), 165-174.
- Christensen, J. F., & Gomila, A. (2012). Moral dilemmas in cognitive neuroscience of moral decision-making: a principled review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(4), 1249-1264.

- Christov-Moore, L., Simpson, E. A., Coude, G., Grigaityte, K., Iacoboni, M., & Ferrari, P. F. (2014). Empathy: gender effects in brain and behavior. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *46 Pt 4*, 604-627.
- Chudzik, L. (2007). Moral judgment and conduct disorder intensity in adolescents involved in delinquency: matching controls by school grade. *Psychological Reports*, *101(1)*, 221-236.
- Ciaramelli, E., Braghittoni, D., & di Pellegrino, G. (2012). It is the outcome that counts! Damage to the ventromedial prefrontal cortex disrupts the integration of outcome and belief information for moral judgment. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *18(6)*, 962-971.
- Clarke, A. T. (2006). Coping with interpersonal stress and psychosocial health among children and adolescents: A meta-analysis. *Journal of Youth and Adolescence*, *35*, 11-24.
- Clausen, J. S. (1991). Adolescent competence and the shaping of the life course. *American Journal of Sociology*, *96*, 805-842.
- Cohn, E. S., Bucolo, D., Rebellon, C. J., & Van Gundy, K. (2010). An integrated model of legal and moral reasoning and rule-violating behavior: the role of legal attitudes. *Law and Human Behavior*, *34(4)*, 295-309.
- Colby, A., Kohlberg, L., Gibbs, J. C., & Lieberman, M. D. (1983). Report on a 20-year longitudinal study of moral development. *Monograph of the Society for Research in Child Development*, *48*, 1-124.
- Collins, W. A., & Steinberg, L. (2006). Adolescent development in interpersonal context. In N. Eisenberg (Ed.), *Handbook of Child Psychology (6th ed.)* (Vol. 3, pp. 1003-1067). Hoboken, NJ: Wiley.
- Copeland, T. F., & Parish, T. S. (1979). Attempts to enhance moral judgment of offenders. *Psychological Reports*, *45*, 831.
- Couper, E., Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Adaptive behaviour and moral reasoning in children with frontal lobe lesions. *Brain Impairment*, *3*, 105-113.
- Crews, F., He, J., & Hodge, C. (2007). Adolescent cortical development: a critical period of vulnerability for addiction. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, *86(2)*, 189-199.

- Crick, N., & Dodge, K. (1994). A review and reformulation of socio information-processing mechanisms in children's social adjustment. *Psychological Bulletin*, *115*, 74-101.
- D'Argenzio, L., Colonnelli, M. C., Harrison, S., Jacques, T. S., Harkness, W., Vargha-Khadem, F., et al. (2011). Cognitive outcome after extratemporal epilepsy surgery in childhood. *Epilepsia*, *52*(11), 1966-1972.
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, *351*(1346), 1413-1420.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, *264*(5162), 1102-1105.
- Damon, W. (1975). Early conceptions of positive justice as related to the development of logical operations. *Child Development*, *46*, 301-312.
- Davis, M. H. (1983). Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, *44*, 113-126.
- de Vignemont, F., & Singer, T. (2006). The empathic brain: how, when and why? *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(10), 435-441.
- Decety, J., & Cowell, J. M. (2014). The complex relation between morality and empathy. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(7), 337-339.
- Decety, J., & Howard, L. H. (2013). The role of affect in the neurodevelopment of morality. *Child Development Perspectives*, *7*(1), 49-54.
- Decety, J., & Jackson, P. L. (2004). The functional architecture of human empathy. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *3*(2), 71-100.
- Decety, J., Michalska, K. J., & Kinzler, K. D. (2012). The contribution of emotion and cognition to moral sensitivity: a neurodevelopmental study. *Cerebral Cortex*, *22*(1), 209-220.
- Decety, J., & Moriguchi, Y. (2007). The empathic brain and its dysfunction in psychiatric populations: implications for intervention across different clinical conditions. *BioPsychoSocial medicine*, *1*, 22.

- Demopoulos, C., Hopkins, J., & Davis, A. (2013). A comparison of social cognitive profiles in children with autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: a matter of quantitative but not qualitative difference? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(5), 1157-1170.
- Dinstein, I. (2008). Human cortex: reflections of mirror neurons. *Current Biology*, *18*(20), R956-959.
- Dollinger, S. J., & LaMartina, A. K. (1998). A note on moral reasoning and the five-factor model. *Journal of Social Behavior and Personality*, *13*, 349–358.
- Dooley, J. J., Beauchamp, M. H., & Anderson, V. (2010). The Measurement of Sociomoral Reasoning in Adolescents With Traumatic Brain Injury: A Pilot Investigation. *Brain Impairment* *11*(2), 152-161.
- Dunbar, R. I. (2009). The social brain hypothesis and its implications for social evolution. *Annals of Human Biology*, *36*(5), 562-572.
- Durand, K., Gally, M., Seigneuric, A., Robichon, F., & Baudouin, J. Y. (2007). The development of facial emotion recognition: the role of configural information. *Journal of Experimental Child Psychology*, *97*(1), 14-27.
- Duval, J., Braun, C. M., Montour-Proulx, I., Daigneault, S., Rouleau, I., & Begin, J. (2008). Brain lesions and IQ: recovery versus decline depends on age of onset. *Journal of Child Neurology*, *23*(6), 663-668.
- Dziobek, I. (2012). Towards a More Ecologically Valid Assessment of Empathy. *Emotion Review*, *4*(1), 18-19.
- Dziobek, I., Fleck, S., Kalbe, E., Rogers, K., Hassenstab, J., Brand, M., et al. (2006). Introducing MASC: a movie for the assessment of social cognition. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *36*(5), 623-636.
- Edwards, C. P. (1987). Culture and the construction of moral values. In J. Kagan & S. Lamb (Eds.), *The emergence of morality in young children* (pp. 123-151). Chicago: University of Chicago Press.
- Eisenberg, N. (1986). *Altruistic emotion, cognition and behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Eisenberg, N., Carlo, G., Murphy, B., & Van Court, P. (1995). Prosocial development in late adolescence: a longitudinal study. *Child Development*, *66*(4), 1179-1197.

- Eisenberg, N., & Eggum, N. D. (2009). Empathic responding: sympathy and personal distress. In J. Decety & W. Ickes (Eds.), *The social neuroscience of empathy* (pp. 71-83). Cambridge: MIT Press.
- Eisenberg, N., Lennon, R., & Roth, K. (1983). Prosocial development: A longitudinal study. *Developmental Psychology, 19*, 846-855.
- Eisenberg, N., & Mussen, P. (1978). Empathy and moral development. *Developmental Psychology, 14*, 185-186.
- Eisenberg, N., & Mussen, P. (1989). *The roots of prosocial behavior in children*. New York: Cambridge University Press.
- Ernst, M., & Fudge, J. L. (2009). A developmental neurobiological model of motivated behavior: anatomy, connectivity and ontogeny of the triadic nodes. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 33*(3), 367-382.
- Eslinger, P. J., Flaherty-Craig, C. V., & Benton, A. L. (2004). Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage. *Brain and Cognition, 55*(1), 84-103.
- Etkin, A., Egner, T., & Kalisch, R. (2011). Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(2), 85-93.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology, 73*(6), 2608-2611.
- Fehr, T., Achziger, A., Roth, G., & Struber, D. (2014). Neural correlates of the empathic perceptual processing of realistic social interaction scenarios displayed from a first-order perspective. *Brain Research, 1583*, 141-158.
- Fenoglio, A., Georgieff, M. K., & Elison, J. T. (2017). Social brain circuitry and social cognition in infants born preterm. *Journal of Neurodevelopmental Disorders, 9*, 27.
- Fishkin, J., Keniston, K., & MacKinnon, C. (1973). Moral reasoning and political ideology. *Journal of Personality and Social Psychology, 27*, 109-119.
- Fine, S. E., Izard, C. E., Mostow, A. J., Trentacosta, C. J., & Ackerman, B. P. (2003). First grade emotion knowledge as a predictor of fifth grade self-reported internalizing behaviors in children from economically disadvantaged families. *Development and Psychopathology, 15*(2), 331-342.
- Fiske, S. T., & Taylor, S. E. (2013). *Social cognition: From brain to culture*. London: Sage.

- Fletcher-Watson, S., McConnell, F., Manola, E., & McConachie, H. (2014). Interventions based on the Theory of Mind cognitive model for autism spectrum disorder (ASD). *The Cochrane Database of Systematic Reviews*(3), CD008785.
- Fonagy, P., & Bateman, A. W. (2016). Adversity, attachment, and mentalizing. *Comprehensive Psychiatry*, 64, 59-66.
- Frankel, F., & Myatt, R. (1996). Self-esteem, social competence and psychopathology in boys without friends. *Personality and Individual Differences*, 20(3), 401-407.
- Freud, S. (1960). *The ego and the id*. New York: W.W. Norton.
- Frith, C. D. (2008). Social cognition. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 363(1499), 2033-2039.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, 50(4), 531-534.
- Fumagalli, M., & Priori, A. (2012). Functional and clinical neuroanatomy of morality. *Brain*, 135(Pt 7), 2006-2021.
- Furlong, M., McGilloway, S., Bywater, T., Hutchings, J., Smith, S. M., & Donnelly, M. (2013). Cochrane review: behavioural and cognitive-behavioural group-based parenting programmes for early-onset conduct problems in children aged 3 to 12 years (Review). *Evidence-based child health : a Cochrane review journal*, 8(2), 318-692.
- Gangitano, M., Mottaghy, F. M., & Pascual-Leone, A. (2004). Modulation of premotor mirror neuron activity during observation of unpredictable grasping movements. *The European Journal of Neuroscience*, 20(8), 2193-2202.
- Garaigordobil, M. (2009). A comparative analysis of empathy in childhood and adolescence: Gender differences and associated socio-emotional variables. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 9(2), 217-235.
- Garcia, D., Hungerford, G. M., & Bagner, D. M. (2015). Topical review: negative behavioral and cognitive outcomes following traumatic brain injury in early childhood. *Journal of Pediatric Psychology*, 40(4), 391-397.
- Gelb, D. (2005). *Introduction to Clinical Neurology* (3 ed.): Elsevier.
- Gendreau, P., & Ross, R. R. (1987). Revivification of rehabilitation: Evidence from the 1980s. *Justice Quarterly*, 4(3), 349-407.
- Gennarelli, T. A. (1993). Mechanisms of brain injury. *Journal of Emergency Medicine*, 11(1), 5-11.

- Gibbs, J. C. (1991a). Sociomoral developmental delay and cognitive distortion: implications for the treatment of antisocial youth. In W. M. Kurtines & J. L. Gewirtz (Eds.), *Handbook of Moral Behavior and Development* (Vol. 3, pp. 95-110). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gibbs, J. C. (1991b). Toward an integration of Kohlberg's and Hoffman's theories of morality. In W. M. K. J. L. Gewirtz (Ed.), *Handbook of Moral Behavior and Development* (Vol. 3). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gibbs, J. C. (2006). Should Kohlberg's cognitive developmental approach to morality be replaced with a more pragmatic approach? Comment on Krebs and Denton (2005). *Psychological Review*, *113*(3), 666-671.
- Gibbs, J. C. (2013). *Moral development & reality : beyond the theories of Kohlberg, Hoffman and Haidt (3rd ed.)*. New York: Oxford University Press.
- Gibbs, J. C., Arnold, K. D., Ahlborn, H. H., & Cheesman, F. L. (1984). Facilitation of sociomoral reasoning in delinquents. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *52*(1), 37-45.
- Gibbs, J. C., Arnold, K. D., Ahlborn, H. H., & Cheesman, F. L. (1994). Facilitation of sociomoral reasoning in delinquents. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *52*(37-45).
- Gibbs, J. C., Basinger, K. S., & Fuller, D. (1992). *Moral maturity: Measuring the development of sociomoral reflection*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Giedd, J. N., & Rapoport, J. L. (2010). Structural MRI of pediatric brain development: what have we learned and where are we going? *Neuron*, *67*(5), 728-734.
- Gilligan, C. (1982). *In a different voice: psychological theory and women's development*. Cambridge, UK: Harvard University Press.
- Gleichgerricht, E., & Young, L. (2013). Low levels of empathic concern predict utilitarian moral judgment. *PLoS One*, *8*(4), e60418.
- Goldstein, A., Glick, J., & Gibbs, J. C. (1998). *Agression Replacement Training : 2nd Edition*. Champaign, IL: Research Press.
- Gonzalez-Liencre, C., Shamay-Tsoory, S. G., & Brune, M. (2013). Towards a neuroscience of empathy: ontogeny, phylogeny, brain mechanisms, context and psychopathology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*(8), 1537-1548.

- Greene, J. D., & Haidt, J. (2002). How (and where) does moral judgment work. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 517-523.
- Greene, J. D., Nystrom, L. E., Engell, A. D., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron*, 44(2), 389-400.
- Greenham, M., Spencer-Smith, M. M., Anderson, P. J., Coleman, L., & Anderson, V. (2010). Social functioning in children with brain insult. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 22.
- Groman, C. M., & Barzman, D. H. (2014). The impact of ADHD on morality development. *Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 6(2), 67-71.
- Gur, R. C., Richard, J., Calkins, M. E., Chiavacci, R., Hansen, J. A., Bilker, W. B., et al. (2012). Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8-21. *Neuropsychology*, 26(2), 251-265.
- Gute, K. E. (1998). *Toward an understanding of commonly utilized expressive language measures: Applications to practice*. University of Western Ontario, London, ON.
- Haidt, J. (2001). The emotional dog and its rational tail: a social intuitionist approach to moral judgment. *Psychological Review*, 108(4), 814-834.
- Haidt, J. (2003). The moral emotions. In R. J. Davidson, K. R. Scherer & H. H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 852--870). Oxford: Oxford University Press.
- Hamilton, A. F., & Grafton, S. T. (2006). Goal representation in human anterior intraparietal sulcus. *The Journal of Neuroscience : the Official Journal of the Society for Neuroscience*, 26(4), 1133-1137.
- Haan, N., Smith, B., & Block, J. (1968). Moral reasoning of young adults. *Journal of Personality and Social Psychology*, 7, 183-201.
- Hao, J., & Liu, Y. (2016). A Mind-Reader Does Not Always Have Deontological Moral Judgments and Prosocial Behavior: A Developmental Perspective. *Frontiers in Psychology*, 7, 1261.
- Happé, F., & Conway, J. R. (2016). Recent progress in understanding skills and impairments in social cognition. *Current Opinion in Pediatrics*, 28(6), 736-742.

- Happé, F., Cook, J. L., & Bird, G. (2017). The Structure of Social Cognition: In(ter)dependence of Sociocognitive Processes. *Annual Review of Psychology*, 68, 243-267.
- Happé, F., & Frith, U. (2014). Annual research review: Towards a developmental neuroscience of atypical social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 55(6), 553-557.
- Hardy, S. A., & Carlo, G. (2011). Moral Identity: What Is It, How Does It Develop, and Is It Linked to Moral Action? *Child Development Perspectives*, 5(3), 212-218.
- Harenski, C. L., & Hamann, S. (2006). Neural correlates of regulating negative emotions related to moral violations. *NeuroImage*, 30(1), 313-324.
- Harrison, P., & Oakland, T. (2003). *Adaptive Behavior Assessment System - Second Edition*. San Antonio, Texas: The Psychological Corporation.
- Harvey, R. (2005). Moral Reasoning. In M. Mcmurrin & J. McGuire (Eds.), *Social Problem Solving and Offending: Evidence, Evaluation and Evolution* (pp. 265-295). London, England: Wiley.
- Hassin, R., & Trope, Y. (2000). Facing faces: studies on the cognitive aspects of physiognomy. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(5), 837-852.
- Hastings, M. E., Tangney, J. P., & Stuewig, J. (2008). Psychopathy and Identification of Facial Expressions of Emotion. *Personality and Individual Differences*, 44(7), 1474-1483.
- Hastings, P. D., McShane, K. E., Parker, R., & Ladha, F. (2007). Ready to Make Nice: Parental Socialization of Young Sons' and Daughters' Prosocial Behaviors With Peers. *The Journal of Genetic Psychology*, 168(2), 177-200.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behaviour*: New York : Mcgraw-Hill.
- Henry, J. D., von Hippel, W., Molenberghs, P., Lee, T., & Sachdev, P. S. (2016). Clinical assessment of social cognitive function in neurological disorders. *Nature Reviews Neurology*, 12(1), 28-39.
- Herba, C. M., Landau, S., Russell, T., Ecker, C., & Phillips, M. L. (2006). The development of emotion-processing in children: effects of age, emotion, and intensity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 47(11), 1098-1106.

- Hertz-Pannier, L., Chiron, C., Jambaque, I., Renaux-Kieffer, V., Van de Moortele, P. F., Delalande, O., et al. (2002). Late plasticity for language in a child's non-dominant hemisphere: a pre- and post-surgery fMRI study. *Brain*, *125*(2), 361-372.
- Hessen, E., Nestvold, K., & Anderson, V. (2007). Neuropsychological function 23 years after mild traumatic brain injury: a comparison of outcome after paediatric and adult head injuries. *Brain Injury*, *21*(9), 963-979.
- Hetherington, R., & Dennis, M. (2004). Plasticity for Recovery, Plasticity for Development: Cognitive Outcome in Twins Discordant for Mid-Childhood Ischemic Stroke. *Child Neuropsychology*, *10*(2), 117-128.
- Hickok, G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(7), 1229-1243.
- Hicks, B. M., Blonigen, D. M., Kramer, M. D., Krueger, R. F., Patrick, C. J., Iacono, W. G., et al. (2007). Gender differences and developmental change in externalizing disorders from late adolescence to early adulthood: A longitudinal twin study. *Journal of Abnormal Psychology*, *116*(3), 433-447.
- Hillis, A. E. (2014). Inability to empathize: brain lesions that disrupt sharing and understanding another's emotions. *Brain*, *137*(4), 981-997.
- Hinnant, J. B., Nelson, J. A., O'Brien, M., Keane, S. P., & Calkins, S. D. (2013). The interactive roles of parenting, emotion regulation and executive functioning in moral reasoning during middle childhood. *Cognition & Emotion*, *27*(8), 1460-1468.
- Hoffman, M. L. (2000). *Empathy and moral development : Implications for caring and justice*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Holstein, C. B. (1976). Irreversible, stepwise sequence in the development of moral judgment: A longitudinal study of males and females. *Child Development*, *47*, 51-61.
- Huré, K., Fontaine, R., & Kubiszewski, V. (2015). Traitement de l'information sociale et profils dans le harcèlement scolaire chez les adolescents. *European Review of Applied Psychology*, *65*, 83-91.
- Iarocci, G., Yager, J., & Elfers, T. (2007). What gene-environment interactions can tell us about social competence in typical and atypical populations. *Brain and Cognition*, *65*(1), 112-127.

- Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Planning and problem solving skills following focal frontal brain lesions in childhood: analysis using the Tower of London. *Child Neuropsychology*, 8(2), 93-106.
- Jacobs, R., Harvey, A. S., & Anderson, V. (2011). Are executive skills primarily mediated by the prefrontal cortex in childhood? Examination of focal brain lesions in childhood. *Cortex*, 47(7), 808-824.
- Jaffee, S., & Hyde, J. S. (2000). Gender differences in moral orientation: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 126(5), 703-726.
- Jamison, T. R., & Schuttler, J. O. (2015). Examining social competence, self-perception, quality of life, and internalizing and externalizing symptoms in adolescent females with and without autism spectrum disorder: a quantitative design including between-groups and correlational analyses. *Molecular Autism*, 6, 53.
- Jennings, W., & Kohlberg, L. (1983). Effects of Just Community Programs on the moral development of youthful offenders. *Journal of Moral Education*, 12, 33-55.
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40(1-2), 1-19.
- Johnson, M. H., Griffin, R., Csibra, G., Halit, H., Farroni, T., de Haan, M., et al. (2005). The emergence of the social brain network: evidence from typical and atypical development. *Development and Psychopathology*, 17(3), 599-619.
- Kaplan, J. T., & Iacoboni, M. (2006). Getting a grip on other minds: mirror neurons, intention understanding, and cognitive empathy. *Social Neuroscience*, 1(3-4), 175-183.
- Kennedy, D. P., & Adolphs, R. (2012). The social brain in psychiatric and neurological disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(11), 559-572.
- Kessler, R. C., McGonagle, K. A., Zhao, S., Nelson, C. B., Hughes, M., Eshleman, S., et al. (1994). Lifetime and 12-month prevalence of DSM-III-R psychiatric disorders in the United States. Results from the National Comorbidity Survey. *Archives of General Psychiatry*, 51(1), 8-19.
- Ketelaar, L., Rieffe, C., Wiefferink, C. H., & Frijns, J. H. (2013). Social competence and empathy in young children with cochlear implants and with normal hearing. *Laryngoscope*, 123(2), 518-523.

- Keysers, C., & Gazzola, V. (2009). Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Current Opinion in Neurobiology*, *19*(6), 666-671.
- Kilford, E. J., Garrett, E., & Blakemore, S. J. (2016). The development of social cognition in adolescence: An integrated perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *70*, 106-120.
- King, R. A., Schwab-Stone, M., Flisher, A. J., Greenwald, S., Kramer, R. A., Goodman, S. H., et al. (2001). Psychosocial and risk behavior correlates of youth suicide attempts and suicidal ideation. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *40*(7), 837-846.
- Kirmayer, L. J., Rousseau, C., & Lashley, M. (2007). The place of culture in forensic psychiatry. *The Journal of the American Academy of Psychiatry and the Law*, *35*(1), 98-102.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Archives of General Psychiatry*, *59*(9), 809-816.
- Kohlberg, L. (1958). *The development of modes of moral thinking and choice in the years 10 to 16*. Unpublished Ph.D, Univ. of Chicago.
- Kohlberg, L. (1969). Stage and sequence: The cognitive-developmental approach to socialization. In D. A. Golsin (Ed.), *Handbook of socialization : Theory and research* (pp. 347-480). Chicago: Rand McNally.
- Kohlberg, L. (1976). Moral stages and moralization: The cognitive-developmental approach. In T. Lickona (Ed.), *Moral development and behavior: Theory, research and social issues* (pp. 31-53). New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.
- Kohlberg, L. (1984). *Essays on moral development (vol. 2)*. San Francisco, CA: Harper.
- Kohlberg, L., & Kramer, R. (1969). Continuities and discontinuities in childhood and adult moral development. *Human Development*, *12*, 93-120.
- Kurtz, M. M., Gagen, E., Rocha, N. B., Machado, S., & Penn, D. L. (2016). Comprehensive treatments for social cognitive deficits in schizophrenia: A critical review and effect-size analysis of controlled studies. *Clinical Psychology review*, *43*, 80-89.

- Lane, J. D., Wellman, H. M., Olson, S. L., LaBounty, J., & Kerr, D. C. (2010). Theory of mind and emotion understanding predict moral development in early childhood. *British journal of Developmental Psychology*, 28(Pt 4), 871-889.
- Lawrence, K., Campbell, R., & Skuse, D. (2015). Age, gender, and puberty influence the development of facial emotion recognition. *Front Psychol*, 6, 761.
- Lehalle, H., Aris, C., Buelga, S., & Gonzalo, M. (2004). Développement socio-cognitif et jugement moral : de Kohlberg à la recherche des déterminants de la différenciation du développement moral. *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, 33(2), 289-314.
- Lemerise, E. A., & Arsenio, W. F. (2000). An integrated model of emotion processes and cognition in social information processing. *Child Development*, 71(1), 107-118.
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718-729.
- Lenroot, R. K., Gogtay, N., Greenstein, D. K., Wells, E. M., Wallace, G. L., Clasen, L. S., et al. (2007). Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *NeuroImage*, 36(4), 1065-1073.
- Levin, H. S., Song, J., Ewing-Cobbs, L., Chapman, S. B., & Mendelsohn, D. (2001). Word fluency in relation to severity of closed head injury, associated frontal brain lesions, and age at injury in children. *Neuropsychologia*, 39(2), 122-131.
- Lieberman, M. D., & Rosenthal, R. (2001). Why introverts can't always tell who likes them: multitasking and nonverbal decoding. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(2), 294-310.
- Lo, W., Gordon, A., Hajek, C., Gomes, A., Greenham, M., Perkins, E., et al. (2014). Social competence following neonatal and childhood stroke. *International Journal of Stroke : official journal of the International Stroke Society*, 9(8), 1037-1044.
- Long, B., Anderson, V., Jacobs, R., Mackay, M., Leventer, R., Barnes, C., et al. (2011). Executive function following child stroke: the impact of lesion size. *Developmental Neuropsychology*, 36(8), 971-987.
- Long, B., Spencer-Smith, M. M., Jacobs, R., Mackay, M., Leventer, R., Barnes, C., et al. (2011). Executive function following child stroke: the impact of lesion location. *Journal of Child Neurology*, 26(3), 279-287.

- Mabbott, D. J., Spiegler, B. J., Greenberg, M. L., Rutka, J. T., Hyder, D. J., & Bouffet, E. (2005). Serial evaluation of academic and behavioral outcome after treatment with cranial radiation in childhood. *Journal of Clinical Oncology*, *23*(10), 2256-2263.
- Macmillan, M. (1996). Phineas Gage's contribution to brain surgery. *Journal of the History of the Neurosciences*, *5*(1), 56-77.
- Malti, T., Gummerum, M., Keller, M., & Buchmann, M. (2009). Children's moral motivation, sympathy, and prosocial behavior. *Child Development*, *80*(2), 442-460.
- Marshall, P. J., & Meltzoff, A. N. (2011). Neural mirroring systems: exploring the EEG mu rhythm in human infancy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *1*(2), 110-123.
- Martins, A. T., Faisca, L. M., Esteves, F., Muresan, A., & Reis, A. (2012). Atypical moral judgment following traumatic brain injury. *Judgment and Decision Making*, *7*(4), 478-487.
- Mason, M. G., & Gibbs, J. C. (1993). Social Perspective Taking and Moral Judgment among College Students. *Journal of Adolescent Research*, *8*(1), 109-123.
- Masten, A. S., Hubbard, J. J., Gest, S. D., Tellegen, A., Garmezy, N., & Ramirez, M. (1999). Competence in the context of adversity: pathways to resilience and maladaptation from childhood to late adolescence. *Development and Psychopathology*, *11*(1), 143-169.
- Matsui, M., Tanaka, C., Niu, L., Noguchi, K., Bilker, W. B., Wierzbicki, M., et al. (2016). Age-related volumetric changes of prefrontal gray and white matter from healthy infancy to adulthood. *International Journal of Clinical and Experimental Neurology*, *4*(1), 1-8.
- McGuire, J., & Clark, D. (2004). A national dissemination programme. In A. Goldstein, R. Nensen, B. Daleflod & M. Kalt (Eds.), *New perspectives on aggression replacement training : Practice, research and application*. Chichester: Wiley.
- McGuire, J., Langdon, R., & Brune, M. (2014). Moral cognition in schizophrenia. *Cognitive Neuropsychiatry*, *19*(6), 495-508.
- McHale, S. M., Updegraff, K. A., & Whiteman, S. D. (2012). Sibling Relationships and Influences in Childhood and Adolescence. *Journal of Marriage and the Family*, *74*(5), 913-930.

- Meaney, D. F., Morrison, B., & Dale Bass, C. (2014). The mechanics of traumatic brain injury: a review of what we know and what we need to know for reducing its societal burden. *Journal of Biomechanical Engineering*, *136*(2), 021008.
- Meins, E., Fernyhough, C., Wainwright, R., Das Gupta, M., Fradley, E., & Tuckey, M. (2002). Maternal mind-mindedness and attachment security as predictors of theory of mind understanding. *Child Development*, *73*(6), 1715-1726.
- Mendez, M. F. (2006). What frontotemporal dementia reveals about the neurobiological basis of morality. *Medical Hypotheses*, *67*(2), 411-418.
- Michalska, K. J., Kinzler, K. D., & Decety, J. (2013). Age-related sex differences in explicit measures of empathy do not predict brain responses across childhood and adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *3*, 22-32.
- Mikula, P., Nagyova, I., Krokavcova, M., Vitkova, M., Rosenberger, J., Szilasiova, J., et al. (2015). Social participation and health-related quality of life in people with multiple sclerosis. *Disability and Health Journal*, *8*(1), 29-34.
- Moll, J., de Oliveira-Souza, R., & Eslinger, P. J. (2003). Morals and the human brain: a working model. *Neuroreport*, *14*(3), 299-305.
- Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Eslinger, P. J., Bramati, I. E., Mourao-Miranda, J., Andreiuolo, P. A., et al. (2002). The neural correlates of moral sensitivity: a functional magnetic resonance imaging investigation of basic and moral emotions. *The Journal of Neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *22*(7), 2730-2736.
- Moll, J., Zahn, R., de Oliveira-Souza, R., Krueger, F., & Grafman, J. (2005). Opinion: the neural basis of human moral cognition. *Nature reviews Neuroscience*, *6*(10), 799-809.
- Moran, J. M., Young, L. L., Saxe, R., Lee, S. M., O'Young, D., Mavros, P. L., et al. (2011). Impaired theory of mind for moral judgment in high-functioning autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(7), 2688-2692.
- Mortensen, J. A., & Mastergeorge, A. M. (2014). A meta-analytic review of relationship-based interventions for low-income families with infants and toddlers: facilitating supportive parent-child interactions. *Infant Mental Health Journal*, *35*(4), 336-353.
- Murza, K. A., Schwartz, J. B., Hahs-Vaughn, D. L., & Nye, C. (2016). Joint attention interventions for children with autism spectrum disorder: a systematic review and

- meta-analysis. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 51(3), 236-251.
- Muuss, R. E. (1988). Carol Gilligan's theory of sex differences in the development of moral reasoning during adolescence. *Adolescence*, 23(89), 229-243.
- Narvaez, D., & Vaydich, J. L. (2008). Moral development and behaviour under the spotlight of the neurobiological sciences. *Journal of Moral Education*, 37(3), 289-313.
- Nelson, J. R., Smith, D. J., & Dodd, J. (1990). The moral reasoning of juvenile delinquents: a meta-analysis. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 18(3), 231-239.
- Newcomb, A. F., Bukowski, W. M., & Pattee, L. (1993). Children's peer relations: a meta-analytic review of popular, rejected, neglected, controversial, and average sociometric status. *Psychological Bulletin*, 113(1), 99-128.
- Newman, D. L., Moffitt, T. E., Caspi, A., Magdol, L., Silva, P. A., & Stanton, W. R. (1996). Psychiatric disorder in a birth cohort of young adults: prevalence, comorbidity, clinical significance, and new case incidence from ages 11 to 21. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 64(3), 552-562.
- Nucci, L. (2001). *Education in the moral domain*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nucci, L., & Turiel, E. (1978). Social interactions and the development of social concepts in preschool children. *Child Development*, 49(2), 400-407.
- Nucci, L., & Turiel, E. (2009). Capturing the complexity of moral development and education. *Mind, brain and education*, 3(3), 151-159.
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242-249.
- Ongley, S. F., Nola, M., & Malti, T. (2014). Children's giving: moral reasoning and moral emotions in the development of donation behaviors. *Frontiers in Psychology*, 5, 458.
- Orobio de Castro, B., Veerman, J. W., Koops, W., Bosch, J. D., & Monshouwer, H. J. (2002). Hostile attribution of intent and aggressive behaviour. *Child Development*, 73, 916-934.
- Oschner, K. N., & Lieberman, M. D. (2001). The emergence of social cognitive neuroscience. *American Psychologist*, 56, 717-734.
- Ostrom, T. M. (1984). The sovereignty of social cognition. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of Social Cognition* (Vol. 1, pp. 1-38). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Parker, J., Rubin, K. H., Erath, S., Wojlawowicz, J. C., & Buskirk, A. A. (2006). Peer relationships and developmental psychology. In D. Cicchetti & D. Cohen (Eds.), *Developmental Psychopathology: Vol. 2. Risk, disorder and adaptation* (pp. 419-493). Hoboken, NJ: Wiley.
- Pascual, L., Rodrigues, P., & Gallardo-Pujol, D. (2013). How does morality work in the brain? A functional and structural perspective of moral behavior. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 65.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 60-68.
- Penn, D. L., Corrigan, P. W., Bentall, R. P., Racenstein, J. M., & Newman, L. (1997). Social cognition in schizophrenia. *Psychological Bulletin*, 121(1), 114-132.
- Penn, D. L., Roberts, D. L., Combs, D., & Sterne, A. (2007). Best practices: The development of the Social Cognition and Interaction Training program for schizophrenia spectrum disorders. *Psychiatric Services*, 58(4), 449-451.
- Phillips, M. L., Drevets, W. C., Rauch, S. L., & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception I: The neural basis of normal emotion perception. *Biological Psychiatry*, 54(5), 504-514.
- Piaget, J. (1932). *The Moral Judgment of the Child*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Piaget, J. (1968). *Six psychological studies*. New York: Vintage Books.
- Pinkham, A. E., & Penn, D. L. (2006). Neurocognitive and social cognitive predictors of interpersonal skill in schizophrenia. *Psychiatry Research*, 143(2-3), 167-178.
- Pons, F., Lawson, J., Harris, P. L., & de Rosnay, M. (2003). Individual differences in children's emotion understanding: effects of age and language. *Scandinavian Journal of Psychology*, 44(4), 347-353.
- Poppen, P. (1974). Sex differences in moral judgment. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 1, 313-315.
- Pratt, M., Golding, G., & Hunter, W. (1983). Aging as ripening; character and consistency of moral judgment in young, mature, and older adults. *Human Development*, 26, 227-288.
- Prehn, K., Korczykowski, M., Rao, H., Fang, Z., Detre, J. A., & Robertson, D. C. (2015). Neural correlates of post-conventional moral reasoning: a voxel-based morphometry study. *PLoS One*, 10(6), e0122914.

- Prehn, K., Wartenburger, I., Meriau, K., Scheibe, C., Goodenough, O. R., Villringer, A., et al. (2008). Individual differences in moral judgment competence influence neural correlates of socio-normative judgments. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 33-46.
- Raaijmakers, Q. A. W., Engels, R. C. M. E., & Van Hoof, A. (2005). Delinquency and moral reasoning in adolescence and young adulthood. *International Journal of Behavioral Development*, 29(3), 247-258.
- Rahim, H., & Maila, D. (2012). The use of stories as moral education for young children. *International Journal of Social Science and Humanity*, 2(6), 454-458.
- Raine, A. (2002). Biosocial studies of antisocial and violent behavior in children and adults: a review. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30(4), 311-326.
- Raja Beharelle, A., Dick, A. S., Josse, G., Solodkin, A., Huttenlocher, P. R., Levine, S. C., et al. (2010). Left hemisphere regions are critical for language in the face of early left focal brain injury. *Brain*, 133(6), 1707-1716.
- Ramsey, R., Hansen, P., Apperly, I., & Samson, D. (2013). Seeing it my way or your way: frontoparietal brain areas sustain viewpoint-independent perspective selection processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(5), 670-684.
- Ratcliffe, M. (2014). The phenomenology of depression and the nature of empathy. *Medicine, Health Care, and Philosophy*, 17(2), 269-280.
- Reijntjes, A., Stegge, H., & Terwogt, M. M. (2006). Children's coping with peer rejection: The role of depressive symptoms, social competence, and gender. *Infant and Child Development*, 15, 89-107.
- Reniers, R. L., Corcoran, R., Vollm, B. A., Mashru, A., Howard, R., & Liddle, P. F. (2012). Moral decision-making, ToM, empathy and the default mode network. *Biological Psychology*, 90(3), 202-210.
- Rest, J. R. (1975). Longitudinal Study of the Defining Issues Test of moral judgment. *Developmental Psychology*, 11(6), 738-748.
- Rest, J. R. (1979). *Development in judging moral issues*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

- Rey, M., Dellatolas, G., Bancaud, J., & Talairach, J. (1988). Hemispheric lateralization of motor and speech functions after early brain lesion: study of 73 epileptic patients with intracarotid amytal test. *Neuropsychologia*, *26*(1), 167-172.
- Reynolds, S. J., & Ceranic, T. L. (2007). The effects of moral judgment and moral identity on moral behavior: an empirical examination of the moral individual. *Journal of Applied Psychology*, *92*(6), 1610-1624.
- Rieffe, C., Terwogt, M. M., & Cowan, R. (2005). Children's Understanding of Mental States as Causes of Emotions. *Infant and Child Development*, *14*, 259–272.
- Rieffe, C., Terwogt, M. M., Koops, W., Stegge, H., & Oomen, A. (2001). Preschoolers' appreciation of uncommon desires and subsequent emotions. *British Journal of Developmental Psychology*, *19*, 259–274.
- Rizzolatti, G., & Fabbri-Destro, M. (2008). The mirror system and its role in social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 179-184.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Brain Res Cogn Brain Res*, *3*(2), 131-141.
- Romano, E., Babchishin, L., Pagani, L. S., & Kohen, D. (2010). School readiness and later achievement: replication and extension using a nationwide Canadian survey. *Developmental Psychology*, *46*(5), 995-1007.
- Rosema, S., Crowe, L., & Anderson, V. (2012). Social function in children and adolescents after traumatic brain injury: a systematic review 1989-2011. *Journal of Neurotrauma*, *29*(7), 1277-1291.
- Rosen, J. B., Rott, E., Ebersbach, G., & Kalbe, E. (2015). Altered moral decision-making in patients with idiopathic Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, *21*(10), 1191-1199.
- Rubin, K. H., Bukowski, W. M., & Parker, J. (2006). Peer interactions, relationships, and groups. In W. Damon, R. M. Lerner & N. Eisenberg (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 3. Social, emotional, and personality development* (pp. 571-645). Hoboken, NJ: Wiley.
- Sanders, R. A. (2013). Adolescent psychosocial, social, and cognitive development. *Pediatrics in Review*, *34*(8), 354-358.

- Sands, S. A., Milner, J. S., Goldberg, J., Mukhi, V., Moliterno, J. A., Maxfield, C., et al. (2005). Quality of life and behavioral follow-up study of pediatric survivors of craniopharyngioma. *Journal of Neurosurgery*, *103*(4), 302-311.
- Sang, S. A., & Nelson, J. (2017). The effect of siblings on children's social skills and perspective taking. *Infant and Child Development*, e2023.
- Schonert-Reichl, K. A. (1999). Relations of Peer Acceptance, Friendship Adjustment, and Social Behavior to Moral Reasoning During Early Adolescence. *The Journal of Early Adolescence*, *19*(2), 249-279.
- Scott, S. (2007). An update on interventions for conduct disorder. *Advances in Psychiatric Treatment*, *14*(1), 61-70.
- Scourfield, J., Martin, N., Lewis, G., & McGuffin, P. (1999). Heritability of social cognitive skills in children and adolescents. *The British journal of Psychiatry : The Journal of Mental Science*, *175*, 559-564.
- Semrud-Clikeman, M. (2007). *Social competence in children*. New York, NY: Springer.
- Sevinc, G., & Spreng, R. N. (2014). Contextual and perceptual brain processes underlying moral cognition: a quantitative meta-analysis of moral reasoning and moral emotions. *PLoS One*, *9*(2), e87427.
- Shamay-Tsoory, S. G. (2011). The neural bases for empathy. *The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, *17*(1), 18-24.
- Sharp, C., Fonagy, P., & Goodyer, I. M. (2008). *Social Cognition and Developmental Psychopathology*. Toronto, ON: Oxford University Press.
- Shaw, D. J., & Czekoova, K. (2013). Exploring the development of the mirror neuron system: finding the right paradigm. *Developmental Neuropsychology*, *38*(4), 256-271.
- Skinner, B. F. (1971). *Beyons freedom and dignity*. New York: Knopf.
- Smetana, J. G., Campione-Barr, N., & Metzger, A. (2006). Adolescent development in interpersonal and societal contexts. *Annual Review of Psychology*, *57*, 255-284.
- Smetana, J. G. (2013). Moral development: The social domain theory view. *Oxford Handbook of Developmental Psychology*, *1*, 832–866.
- Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and decoding facial expressions. *Psychological Science*, *16*(3), 184-189.

- Sommer, M., Meinhardt, J., Rothmayr, C., Dohnel, K., Hajak, G., Rupprecht, R., et al. (2014). Me or you? Neural correlates of moral reasoning in everyday conflict situations in adolescents and adults. *Social Neuroscience*, 9(5), 452-470.
- Sommer, M., Rothmayr, C., Dohnel, K., Meinhardt, J., Schwerdtner, J., Sodian, B., et al. (2010). How should I decide? The neural correlates of everyday moral reasoning. *Neuropsychologia*, 48(7), 2018-2026.
- Sparrow, S. S., Cicchetti, D. V., & Balla, D. A. (2005). *Vineland adaptive behavior scales 2nd edition* Circle Pines, MN: American Guidance Service.
- Spitzberg, B. H. (2003). Methods of interpersonal skill assessment. In J. O. G. B. R. Burleson (Ed.), *Handbook of Communication and Social Interaction Skills* (pp. 93-134). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Stadler, C., Rohrman, S., Knopf, A., & Poustka, F. (2007). Socio-moral reasoning in boys with conduct disorder - the influence of cognitive, educational and psychosocial factors. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 35(3), 169-177.
- Stams, G. J., Brugman, D., Dekovic, M., van Rosmalen, L., van der Laan, P., & Gibbs, J. C. (2006). The moral judgment of juvenile delinquents: a meta-analysis. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 34(5), 697-713.
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 69-74.
- Steinberg, L. (2008a). *Adolescence*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Steinberg, L. (2008b). A Social Neuroscience Perspective on Adolescent Risk-Taking. *Developmental Review*, 28(1), 78-106.
- Steinberg, L., & Morris, A. S. (2001). Adolescent development. *Annual Review of Psychology*, 52, 83-110.
- Steinhorst, A., & Funke, J. (2014). Mirror neuron activity is no proof for action understanding. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 333.
- Stiles, J., Reilly, J., Paul, B., & Moses, P. (2005). Cognitive development following early brain injury: evidence for neural adaptation. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 136-143.
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York, NY: Raven Press.

- Stuss, D. T., & Levine, B. (2002). Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*, *53*, 401-433.
- Szemere, E., & Jokeit, H. (2015). Quality of life is social - Towards an improvement of social abilities in patients with epilepsy. *Seizure*, *26*, 12-21.
- Tanaka, C., Matsui, M., Uematsu, A., Noguchi, K., & Miyawaki, T. (2012). Developmental trajectories of the fronto-temporal lobes from infancy to early adulthood in healthy individuals. *Developmental Neuroscience*, *34*(6), 477-487.
- Tangney, J. P., & Dearing, R. L. (2002). Gender differences in morality. In M. R. F. Borstein & Masling (Ed.), *Empirical studies in psychoanalytic theories : The psychodynamics of gender and gender role* (Vol. 10, pp. 251-269). Washington, DC: American Psychological Association.
- Thomas, L. A., De Bellis, M. D., Graham, R., & LaBar, K. S. (2007). Development of emotional facial recognition in late childhood and adolescence. *Developmental Science*, *10*(5), 547-558.
- Todorov, A., Baron, S. G., & Oosterhof, N. N. (2008). Evaluating face trustworthiness: a model based approach. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *3*(2), 119-127.
- Tousignant, B., Sirois, K., Achim, A. M., Massicotte, E., & Jackson, P. L. (2017). A comprehensive assessment of social cognition from adolescence to adulthood. *Cognitive development*, *43*, 214-223.
- Trentacosta, C. J., & Fine, S. E. (2010). Emotion knowledge, social competence, and behavior problems in childhood and adolescence: A meta-analytic review. *Social Development*, *19*(1), 1-29.
- Turiel, E. (1983). *The development of social knowledge : morality and convention*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Uzefovsky, F., & Knafo-Noam, A. (2017). Empathy development throughout the life span. In J. A. Somerville & J. Decety (Eds.), *Social cognition: Development across the life span* (pp. 71-97). New York, NY: Routledge.
- Vakil, E. (2012). Neuropsychological assessment: principles, rationale, and challenges. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *34*(2), 135-150.

- van Tol, E., Gorter, J. W., DeMatteo, C., & Meester-Delver, A. (2011). Participation outcomes for children with acquired brain injury: a narrative review. *Brain Injury, 25*(13-14), 1279-1287.
- Van Vugt, E., Gibbs, J. C., Stams, G. J., Bijleveld, C., Hendricks, J., & van der Laan, P. (2011). Moral development and recidivism: a meta-analysis. *International Journal of Offender Therapy and Comparative Criminology, 55*, 1234-1250.
- Vargha-Khadem, F., O'Gorman, A. M., & Watters, G. V. (1985). Aphasia and handedness in relation to hemispheric side, age at injury and severity of cerebral lesion during childhood. *Brain, 108*(3), 677-696.
- Vera-Estay, E., Beauchamp, M. H., & Dooley, J. (2014). Cognitive underpinnings of moral reasoning in adolescence: The contribution of executive functions. *Journal of Moral Education, 44*(1), 17-33.
- Vera-Estay, E., Seni, A. G., Champagne, C., & Beauchamp, M. H. (2016). All for One: Contributions of Age, Socioeconomic Factors, Executive Functioning, and Social Cognition to Moral Reasoning in Childhood. *Frontiers in Psychology, 7*, 227.
- Vetter, N. C., Leipold, K., Kliegel, M., Phillips, L. H., & Altgassen, M. (2013). Ongoing development of social cognition in adolescence. *Child Neuropsychology, 19*(6), 615-629.
- Vogel, K., May, M., Ritzl, A., Falkai, P., Zilles, K., & Fink, G. R. (2004). Neural correlates of first-person perspective as one constituent of human self-consciousness. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*(5), 817-827.
- Vollm, B. A., Taylor, A. N., Richardson, P., Corcoran, R., Stirling, J., McKie, S., et al. (2006). Neuronal correlates of theory of mind and empathy: a functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task. *NeuroImage, 29*(1), 90-98.
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia, 45*(1), 174-194.
- Wainryb, C. (2004). "Is" and "Ought": Moral Judgments About the World as Understood. *New Directions for Child and Adolescent Development, 2004*(103), 3-18.
- Walker, L. (1982). The sequentiality of Kohlberg's stages of moral development. *Child Development, 53*, 1330-1336.
- Walker, L. (1989). A longitudinal study of moral reasoning. *Child Development, 60*, 157-166.

- Webster-Stratton, C., Reid, M. J., & Hammond, M. (2001). Preventing conduct problems, promoting social competence: a parent and teacher training partnership in head start. *Journal of Clinical Child Psychology, 30*(3), 283-302.
- Weightman, M. J., Air, T. M., & Baune, B. T. (2014). A review of the role of social cognition in major depressive disorder. *Frontiers in Psychiatry, 5*, 179.
- Wellman, H. M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysis of theory-of-mind development: the truth about false belief. *Child Development, 72*(3), 655-684.
- Wellman, H. M., & Liu, D. (2004). Scaling of theory-of-mind tasks. *Child Development, 75*(2), 523-541.
- Westmacott, R., Askalan, R., MacGregor, D., Anderson, P., & Deveber, G. (2010). Cognitive outcome following unilateral arterial ischaemic stroke in childhood: effects of age at stroke and lesion location. *Developmental Medicine and Child Neurology, 52*(4), 386-393.
- Wilke, M., Staudt, M., Juenger, H., Grodd, W., Braun, C., & Krageloh-Mann, I. (2009). Somatosensory system in two types of motor reorganization in congenital hemiparesis: topography and function. *Human Brain Mapping, 30*(3), 776-788.
- Wilkos, E., Brown, T. J., Slawinska, K., & Kucharska, K. A. (2015). Social cognitive and neurocognitive deficits in inpatients with unilateral thalamic lesions - pilot study. *Neuropsychiatric Disease and Treatment, 11*, 1031-1038.
- Williams, J., Crowe, L. M., Dooley, J., Collie, A., Davis, G., McCrory, P., et al. (2014). Developmental Trajectory of Information-Processing Skills in Children: Computer-Based Assessment. *Applied Neuropsychology Child, 1*-9.
- Williams, K. M., Orpen, S., Hutchinson, L., Walker, L. J., & Zumbo, B. D. (2006). Personality, empathy, and moral development: Examining ethical reasoning in relation to the Big Five and the Dark Triad. *Poster presented at the 67th annual meeting of the Canadian Psychological Association, Calgary, Canada.*
- Woodward, A. L., & Gerson, S. A. (2014). Mirroring and the development of action understanding. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, 369*(1644), 20130181.

- Woolfenden, S. R., Williams, K., & Peat, J. (2001). Family and parenting interventions in children and adolescents with conduct disorder and delinquency aged 10-17. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(2), CD003015.
- Yeates, K. O., Bigler, E. D., Dennis, M., Gerhardt, C. A., Rubin, K. H., Stancin, T., et al. (2007). Social outcomes in childhood brain disorder: a heuristic integration of social neuroscience and developmental psychology. *Psychological Bulletin*, *133*(3), 535-556.
- Yeates, K. O., Bigler, E. D., Gerhardt, C. A., Rubin, K. H., Stancin, T., Taylor, H. G., et al. (2012). Theoretical approaches to understanding social function in childhood brain insults. In M. Beauchamp & V. Anderson (Eds.), *Developmental social neuroscience and childhood brain insult* (pp. 207-230). New York, NY: Guilford Press.
- Young, L., & Koenigs, M. (2007). Investigating emotion in moral cognition: a review of evidence from functional neuroimaging and neuropsychology. *British Medical Bulletin*, *84*, 69-79.
- Young, L., & Saxe, R. (2008). The neural basis of belief encoding and integration in moral judgment. *NeuroImage*, *40*(4), 1912-1920.
- Youssef, F. F., Dookeeram, K., Basdeo, V., Francis, E., Doman, M., Mamed, D., et al. (2012). Stress alters personal moral decision making. *Psychoneuroendocrinology*, *37*(4), 491-498.

# Annexe 1

## Croissance cérébrale et neurodéveloppement à l'adolescence

Ansado, J.<sup>1,2</sup>, Chiasson, V.<sup>1,2</sup>, & Beauchamp, M.H.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Département de Psychologie, Université de Montréal, Canada

<sup>2</sup>Centre de Recherche de l'Hôpital Sainte-Justine, Montreal, Canada.

Publication : Ansado, J., Chiasson, V., & Beauchamp, M.H. (2014). Croissance cérébrale et neurodéveloppement à l'adolescence. Dans M. Claes et L. Lannegrand-Willems (dir.), *La psychologie de l'adolescence* (p. 45-71). Montreal, Canada : Presses de l'Université de Montréal.

## **Résumé**

Durant les deux dernières décennies, le nombre d'études ayant utilisé la neuroimagerie pour comprendre la croissance du cerveau s'est considérablement accru. C'est principalement à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) qui permet de visualiser en trois dimensions le cerveau vivant qu'ont été acquises les principales connaissances sur la croissance cérébrale. L'objectif de ce chapitre est de décrire les changements qui surviennent dans le cerveau durant l'adolescence qui est une période de maturation cérébrale intense et qui s'avère cruciale pour la mise en place d'un comportement adéquat et le développement des capacités cognitives et des habilités sociales de l'individu. Dans ce chapitre, les études clés menées en neuroimagerie structurelle et fonctionnelle seront présentées afin de mieux comprendre les corrélats neurodéveloppementaux de l'adolescence. Les avenues prometteuses du domaine de la neuroimagerie seront également abordées. Celles-ci pourraient permettre de répondre à des questions plus complexes concernant le développement de la connectivité fonctionnelle cérébrale à travers l'âge et les effets des gènes, de l'environnement et de la culture sur le développement typique et atypique du cerveau adolescent.

## Introduction

Même si la croissance cérébrale la plus spectaculaire se passe *in utéro* (100 milliards de cellules nerveuses et un cerveau dont le poids est d'environ 400 grammes à la naissance), le cerveau de l'enfant continue de grandir après la naissance pour atteindre 1200 grammes vers l'âge de quatre ans, ce qui ne représente qu'environ 200 grammes de moins que le cerveau d'un adulte. Le développement du cerveau ne s'arrête pourtant pas là et poursuit sa croissance au cours des 10 à 15 années suivantes, et ce jusqu'à ce que l'enfant devienne un jeune adulte. Durant ces années, il traverse des périodes importantes de maturation cérébrale et d'organisation neurofonctionnelle qui sont aussi modulées par les expériences et les interactions que l'individu entretient avec son environnement. L'expérience continue de façonner le cerveau humain tout au long de la vie. Parmi les périodes critiques de développement, l'adolescence apparaît comme une transition importante entre le cerveau enfant et le cerveau adulte. L'adolescence est une période de changements subtils et dynamiques du cerveau qui s'illustrent principalement sur le plan physiologique, psychologique et cognitif. Plusieurs changements neuro-anatomiques typiques de cette période sont maintenant bien décrits dans la littérature.

Ce chapitre met l'emphase sur les résultats obtenus à l'aide des techniques de neuroimagerie non-invasives qui ont permis de mieux comprendre les relations cerveau-comportement durant l'adolescence. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est un outil important qui permet de mesurer *in vivo* les différences inter-individuelles dans la structure du cerveau et d'évaluer l'activité cérébrale (IRM fonctionnelle) de la naissance à l'âge adulte. Ce chapitre vise à décrire les principales modifications neuro-anatomiques et neuro-fonctionnelles de l'adolescence afin de mieux comprendre les étapes clés de la maturation cérébrale. Dans une première partie, il sera question de la croissance différentielle de la matière grise et de la matière blanche qui composent respectivement la majeure partie des structures cérébrales. Dans une deuxième partie, seront abordées les relations entre la maturation spécifique de ces structures et le développement des fonctions cognitives et socio-cognitives de haut niveau. Enfin, il sera question des effets des gènes, de l'environnement et de la culture sur le développement typique du cerveau adolescent.

## **Aperçu de l'anatomie et de la chimie du cerveau**

Le cerveau humain possède un poids moyen de 1300 à 1400 grammes à l'âge adulte et comporte environ 100 billions de neurones. Il est divisé en plusieurs parties selon l'origine embryonnaire. Le télencéphale est la partie supérieure et se compose du cortex cérébral et du striatum. Le diencephale contient le thalamus et l'hypothalamus. Ensuite se trouvent le mésencéphale, le cervelet et le bulbe rachidien qui communique avec la moelle épinière. Le cerveau est composé de deux hémisphères, droit et gauche, respectivement subdivisés en quatre lobes qui sont connectés entre eux par le corps calleux : les lobes frontaux, pariétaux, temporaux et occipitaux.

Le tissu cérébral est composé de matière grise et de matière blanche initialement distinguées visuellement par les études histologiques post-mortem du cerveau. La matière grise est composée d'éléments cellulaires incluant le corps des neurones, leurs extensions (dendrites), les cellules gliales (astrocytes, microglie) et les vaisseaux sanguins. La matière blanche doit son apparence à une substance composée d'acide gras appelée myéline qui entoure les axones, la projection des neurones.

La transmission de l'information d'un neurone à l'autre implique plusieurs étapes. L'excitation et l'inhibition locale des potentiels post-synaptiques sont continuellement sommées au niveau de l'axone et, un potentiel d'action est alors généré lorsqu'un certain seuil est atteint. Ce potentiel d'action chemine le long de l'axone jusqu'à la synapse causant ainsi la libération des neurotransmetteurs. La vitesse de propagation des axones varie selon leur myélinisation (myélinisé vs. non myélinisé) et leur diamètre (petit vs. grand) (Schmidt-Nielsen, 1997; Paus, 2009).

Le cortex cérébral constitue la couche la plus externe du cerveau et comporte la majorité des neurones. La surface du cortex augmente en fonction de la taille du cerveau mais de manière plus complexe qu'une simple relation géométrique entre la surface et le volume (Toro et al., 2008). La couche la plus externe du cerveau, le néocortex, est composée de six couches corticales qui diffèrent selon le type de neurones qui la composent (cellules pyramidales). Cette architecture cytoarchitectonique a permis de définir 52 aires corticales reliées à des fonctions spécifiques (i.e., Brodmann, 1909).

Les neurotransmetteurs sont des composés chimiques qui relaient ou modulent (amplifient ou modèrent) ce processus. Les neurotransmetteurs incluent les acides aminés

(glutamate, gaba), les monoamines (dopamine, sérotonine, norépinephrine), l'acétylcholine et les neuropeptides (ocytocine). Le glutamate et le GABA sont respectivement les principaux excitateurs et inhibiteurs. L'action spécifique d'un neurotransmetteur est assurée par son récepteur. Le neurotransmetteur peut se lier aux récepteurs spécifiques qui se situent dans différentes régions cérébrales ou différentes couches corticales assurant ainsi une propagation de l'information à travers les neurones (Eickhoff et al., 2007; Paus, 2009).

### **Organisation et développement de l'architecture cérébrale**

Le cerveau n'est pas complètement développé à la naissance non seulement sur le plan de la taille, mais aussi sur le plan de la complexité des réseaux de neurones qui déterminent la façon dont il fonctionne. Les premières expériences menées chez les animaux dans les années 1950 ont montré que, peu après la naissance, les régions sensorielles du cerveau passent par des périodes au cours desquelles la stimulation environnementale semble être cruciale pour le développement normal du cerveau et de la perception (Hubel et Wiesel, 1962 & Wiesel et Hubel, 1965 cités par Blakemore, 2012).

Au début du développement postnatal, le cerveau commence à former de nouvelles synapses, de sorte qu'à un moment donné du développement précoce, la densité synaptique dépasse largement celle de l'âge adulte. Ce processus de synaptogenèse dure plusieurs mois, voire des années et est suivie d'une période d'élagage synaptique. Les synapses sont renforcées ou sélectivement éliminées en fonction de l'expérience. Par exemple, les premières recherches menées sur des singes rhésus ont démontré que la densité synaptique dans le cortex visuel atteint un niveau maximal deux à quatre mois après la naissance, après quoi l'élagage commence (Bourgeois, Goldman-Rakic, & Rakic, 1994). La densité synaptique diminue ensuite progressivement jusqu'à l'âge de trois ans.

Dans les années 1960 et 1970, la recherche sur le cerveau post-mortem humain a révélé que certaines zones du cerveau, en particulier le cortex préfrontal, continuent à se développer bien au-delà de la petite enfance (Huttenlocher, 1979; Huttenlocher et al, 1982; Yakovlev et Lecours, 1967 cités par Blakemore, 2012). Tout d'abord, il a été constaté que la myélinisation des axones suit un ordre chronologique, et que les dernières zones corticales à être myélinisées sont les aires d'association. Parmi celles-ci, on retrouve le cortex préfrontal (PFC) où le processus de myélinisation se poursuit pendant des années et tout au long de l'adolescence

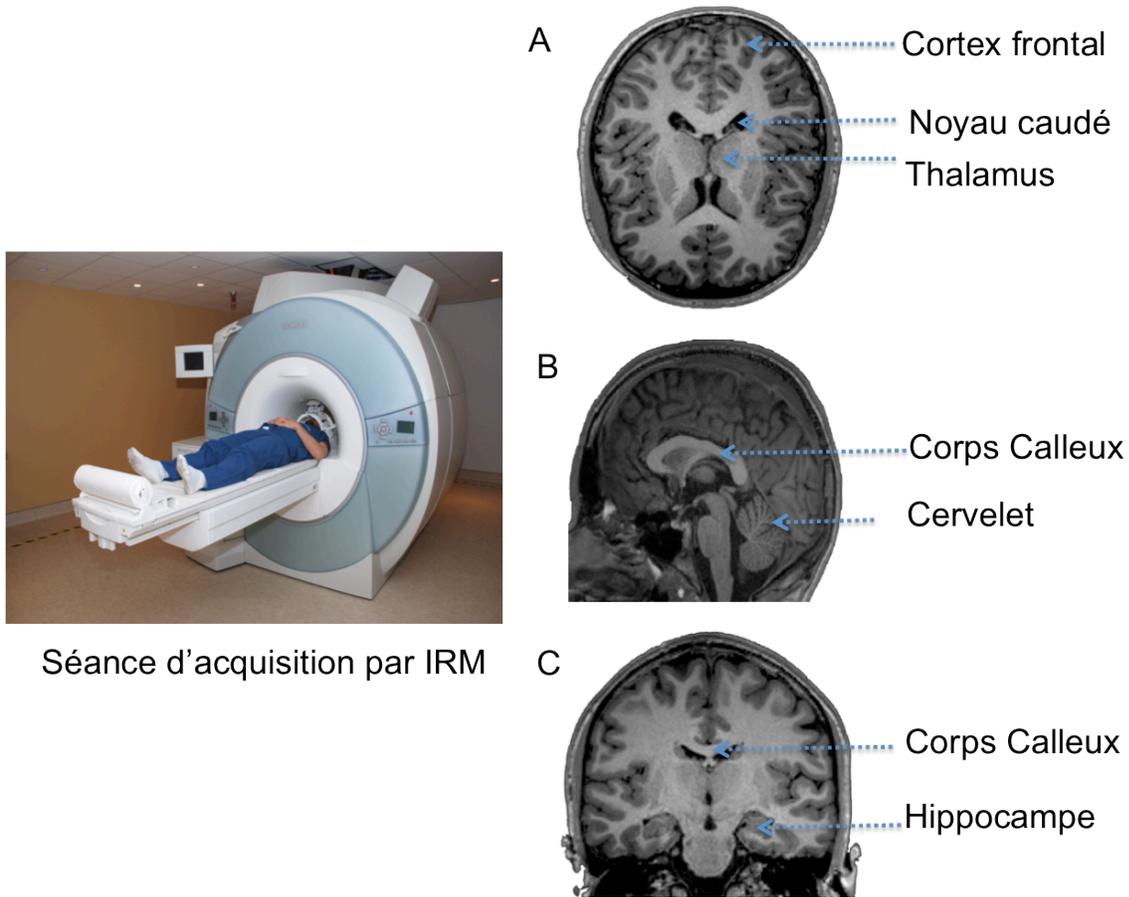
Les données post-mortem chez l'humain ont montré que la réorganisation synaptique continue également dans d'autres régions du cerveau tout au long de l'enfance et de l'adolescence (Webb, Monk, & Nelson, 2001). Les premières études histologiques ont révélé la présence d'une phase de prolifération des synapses dans les couches sous-granulaires du cortex préfrontal au début et milieu de l'enfance, suivie d'une phase de plateau, d'élimination et de réorganisation des synapses pendant l'adolescence (Huttenlocher, 1979). Ces travaux ont récemment été appuyés par une étude menée sur le développement synaptique préfrontal de 32 cerveaux humains post-mortem d'âges différents (Petanjek et al., 2011). Les auteurs ont confirmé que la densité des épines dendritiques à l'enfance est deux à trois fois supérieure qu'à l'âge adulte et qu'elle commence à diminuer au cours de la puberté. Toutefois, ils ont également montré que la surproduction synaptique et le remodelage développemental, incluant l'élimination substantielle des épines synaptiques, se poursuivent au-delà de l'adolescence et tout au long de la troisième décennie de la vie avant de se stabiliser. Ainsi, cette étude fournit une preuve manifeste de la constante réorganisation dendritique du cortex préfrontal humain durant les trois premières décennies de la vie.

### **Développement structurel du cerveau à l'adolescence**

À l'âge de six ans, la taille totale du cerveau atteint 90 % de sa taille adulte. Cela peut sembler contre-intuitif pour quiconque a déjà essayé de mettre un chapeau d'adulte à un enfant ! La différence de taille est principalement liée au fait que la circonférence de la tête augmente à travers l'enfance et l'adolescence (de 5.1 cm pour les garçons et de 4.8 cm pour les filles (Rose et al., 2004), mais l'augmentation est principalement due à une augmentation du crâne et non à celle de la taille du cerveau. Toutefois, même si la taille du cerveau reste relativement stable entre 6 et 20 ans, les sous-composantes (ventricules, matière grise, matière blanche) du cerveau font l'objet de nombreux changements dynamiques particulièrement à l'adolescence, lesquels seront détaillés dans les sections suivantes. Généralement, les recherches sur la croissance cérébrale ont en été mené à l'aide de l'IRM structurelle, décrite ci-dessous.

## Principes de base de la neuroimagerie structurale

Dans la dernière décennie, le domaine des neurosciences cognitives du développement a connu une expansion sans précédent, principalement en raison des progrès technologiques et de l'émergence de nouvelles méthodes d'analyse dans le domaine de la neuroimagerie. Afin de bien comprendre les données probantes sur la croissance cérébrale à l'adolescence, il importe d'intégrer un aperçu des outils de base en neuroimagerie. L'IRM est la principale technique utilisée pour visualiser en 3-D le cerveau d'humain en bonne santé, de la petite enfance à l'âge adulte en passant par l'enfance et l'adolescence. Cette technique puissante et non-invasive permet de prendre des images tridimensionnelles détaillées du cerveau dans un laps de temps très restreint (avoisinant 30 minutes). La disponibilité généralisée des tunnels d'IRM et la facilité relative d'acquérir des images structurales du cerveau font de l'IRM un outil idéal pour les études à grande échelle du développement du cerveau et des nombreux facteurs génétiques et environnementaux qui peuvent l'influencer. L'IRM est un examen médical qui emploie un champ magnétique et des radiofréquences pour générer des images détaillées des structures anatomiques, sans exposer l'individu aux radiations (voir « protocole d'acquisition IRM », figure 1). Plusieurs types d'images permettent de visualiser la structure du cerveau. Les séquences d'acquisition les plus utilisées sont les images pondérées en T1 et en T2 (voir figure 1) et les images du tenseur de diffusion. Les images pondérées en T1 et en T2 servent typiquement à quantifier le volume global et régional des matières grise et blanche et à estimer l'épaisseur ou d'autres propriétés morphologiques du cortex, telles que son plissement. Il est aussi possible de mesurer l'épaisseur du cortex à partir d'outils qui permettent une reconstruction automatique de la surface du cortex cérébral. La croissance de la matière blanche est aussi souvent évaluée à l'aide de l'imagerie par tenseur de diffusion (DTI, « *diffusion tensor imaging* ») qui permet d'étudier sa microstructure. Le DTI est une application de l'imagerie de diffusion qui permet de quantifier en chaque direction de l'espace la diffusion des molécules d'eau à travers une substance. Cette technique permet d'obtenir la direction de fibres cérébrales, et de reconstruire indirectement les faisceaux de matière blanche du cerveau en 3-D par tractographie. Ainsi, diverses caractéristiques et propriétés de la structure du cerveau sont capturées en fonction du type d'image acquise selon des paramètres déterminés lors de la séance d'acquisition (Paus et al. 1999; Paus, 2005; 2011).



**Figure 1. Technique de l'imagerie par résonance magnétique (IRM).** Gauche : Séance d'acquisition par IRM. Droite : Images de résonance magnétique en T1-pondéré du cerveau humain adolescent. A : Coupe axiale. B: Coupe sagittale. C: Coupe coronale.

### Développement de la matière blanche

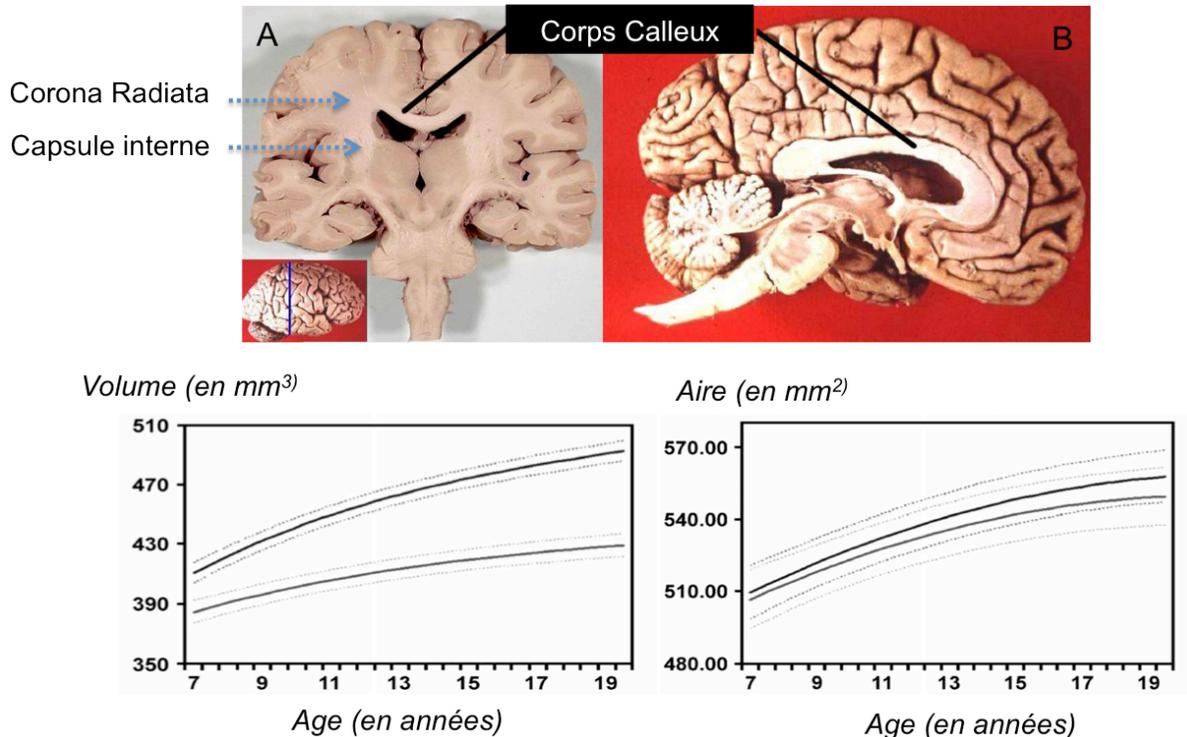
La matière blanche est composée de fibres nerveuses, des axones myélinisés et non-myélinisés regroupés en faisceaux, qui connectent entre elles différentes aires de la matière grise, où se situent les corps cellulaires des neurones. Ces fibres transmettent les impulsions nerveuses constituées de potentiels d'action. Les premiers travaux menés sur la croissance de la matière blanche ont d'abord mis en évidence la nature linéaire de sa croissance. Plus récemment, les nouvelles techniques d'imagerie ont permis de déceler certains pics de maturation de la matière blanche, notamment à l'adolescence.

- Croissance continue de la matière blanche durant l'adolescence.

Un des résultats les plus robustes rapportés dans les études menées en IRM, est l'augmentation constante du volume de la matière blanche dans plusieurs régions du cerveau pendant l'enfance et l'adolescence. Une des premières études menées sur le développement cérébral en IRM a révélé des différences au niveau de la densité entre la matière grise et la matière blanche entre un groupe d'enfants (âge moyen de 9 ans) et un groupe d'adolescents (âge moyen de 14 ans) (Sowell et al., 1999). Les résultats ont montré que les adolescents présentaient un volume plus élevé de la matière blanche et un volume plus faible de la matière grise dans le cortex frontal et le cortex pariétal par rapport au groupe plus jeune. L'augmentation de la matière blanche et la diminution de la matière grise dans le cortex frontal et pariétal pendant l'adolescence ont été ensuite confirmées ultérieurement dans le cadre de plusieurs études menées avec un nombre de participants de plus en plus important (Barnea-Goraly et al., 2005; Giedd, Rumsey, et al., 1996; Lenroot & Giedd, 2006; Paus, et al., 1999; Pfefferbaum et al., 1994). Une des plus vastes études menées en IRM sur le développement cérébral typique des enfants et des adolescents a été réalisée par le *National Institute of Mental Health* (NIMH) et comprend une combinaison de données anatomiques transversales (161 sujets) et longitudinales (329 scans) (Giedd et al., 1999). Dans cette cohorte, les chercheurs ont observé une augmentation constante du volume global de la matière blanche de 4 à 21 ans. Dans un sous-échantillon de la cohorte NIMH (N=111), les chercheurs ont documenté une augmentation continue de la densité de la substance blanche au niveau de la capsule interne et du faisceau arqué gauche, cette dernière contenant des fibres reliant les régions antérieure (Broca) et postérieure (Wernicke) de la parole (Paus, et al., 1999) (voir figure 2).

Blanton et al. (2004) ont documenté des différences de volume de la substance blanche entre les jeunes filles et les jeunes garçons au niveau du gyrus frontal inférieur gauche, notamment les régions operculaire, triangulaire et orbitales qui sont vraisemblablement impliquées dans la parole. Les résultats ont montré une augmentation linéaire du volume de matière blanche dans ces régions chez les garçons (n=25, 6-17 ans) et non chez les filles (n=21, 6-15 ans). Les conséquences fonctionnelles de cette augmentation de volume de substance blanche sont interprétées en terme d'augmentation de rapidité et d'efficacité de communication et de

partage d'informations par exemple, au sein du circuit fronto-cortical, mais aussi entre les régions du cortex frontal et d'autres régions corticales et sous-corticales (Blanton et al., 2004).



**Figure 2. Croissance de la matière blanche.** Haut : Aperçu de la matière blanche du cerveau. A) Coupe coronale montrant les principaux faisceaux. B) Coupe sagittale montrant le Corps Calleux. Bas : Augmentation du volume de matière blanche chez une cohorte de 145 participants âgés de 7 à 19 ans. Gauche : volume total de la matière blanche. Droite : aire totale du Corps Calleux en coupe sagittale ( $\text{mm}^2$ ). (Adapté de Giedd et al., 1999, avec autorisation).

- Pic de maturation de la matière blanche à l'adolescence.

Bien que la croissance linéaire de la matière blanche soit un résultat robuste de la littérature, de récentes études réalisées à l'aide des nouvelles méthodes de tractographie de la matière blanche, ont aussi montré des pics de changements importants durant l'adolescence au niveau de la microstructure de la matière blanche. Les données récentes acquises en DTI ont montré des changements non linéaires dans le développement de la matière blanche dans le cadre d'une étude longitudinale réalisée chez 103 participants âgés de 5 à 32 ans (Lebel & Beaulieu, 2011). Cette étude a montré des trajectoires de développement non linéaires de la matière blanche. En règle générale, les études ont rapporté des changements importants au niveau de la

microstructure de la matière blanche pendant l'adolescence (voir (Schmithorst & Yuan, 2010) pour revue) suggérant ainsi la présence d'un pic de maturation de la matière blanche durant l'adolescence (Bava et al., 2010). Ces tendances se poursuivent jusqu'au début de l'âge adulte (Barnea-Goraly, et al., 2005; Bonekamp et al., 2007; Mukherjee et al., 2001), bien que des données récentes suggèrent un modèle d'accroissement exponentiel de l'anisotropie qui atteint un plateau à la fin de l'adolescence et au début de la vingtaine (Lebel, Walker, Leemans, Phillips, & Beaulieu, 2008).

- La croissance du corps calleux.

Un autre exemple de variation régionale de la maturation de la matière blanche est celui de la croissance du corps calleux qui est le principal faisceau reliant les hémisphères cérébraux et qui assure le transfert et la coordination de l'information entre les deux hémisphères (voir figure 2). Les premières études transversales et longitudinales ont révélé une croissance continue des régions médianes et des régions postérieures du corps calleux et non des régions antérieures durant l'enfance et l'adolescence (Giedd, et al., 1999; Giedd, Rumsey, et al., 1996; Rajapakse et al., 1996). En effet, aucune de ces études, menées principalement au sein de cohortes d'enfants âgés de 4 à 18 ans, n'ont rapporté une variation de croissance au niveau des régions antérieures. En se basant sur ces deux résultats, ces études ont proposé l'hypothèse de la croissance rostro-caudale du corps calleux en suggérant que les régions antérieures du corps calleux étaient déjà formées dès le début de l'enfance, alors que les régions médianes et postérieures du corps calleux connaissaient une croissance importante durant l'enfance et l'adolescence. Ce résultat est très important puisque le corps calleux joue un rôle important dans l'intégration des activités du cerveau entre les hémisphères gauche et droit telles que le couplage inter-hémisphérique des ressources attentionnelles (Ansado, et al. 2009, Ansado et al, in press) et les habiletés sociales (Beauchamp et al., 2009). Ainsi, la croissance et la maturation du corps calleux semblent jouer un rôle majeur dans le développement de ces différentes habiletés cognitives et sociales durant l'adolescence. Toutefois, l'hypothèse de la croissance rostro-caudale du corps calleux a été remise en question suite à trois études récentes (Luders, Thompson, & Toga, 2010; Thompson et al., 2000), dont une effectuée auprès d'une large cohorte d'enfants et d'adolescents (N=370) qui ont été suivis longitudinalement durant 4 ans (Ansado et al., soumis). Ces résultats montrent en plus de la croissance des régions

médianes et postérieures du corps calleux, une croissance importante des régions antérieures du corps calleux qui surviendraient tôt dans l'enfance.

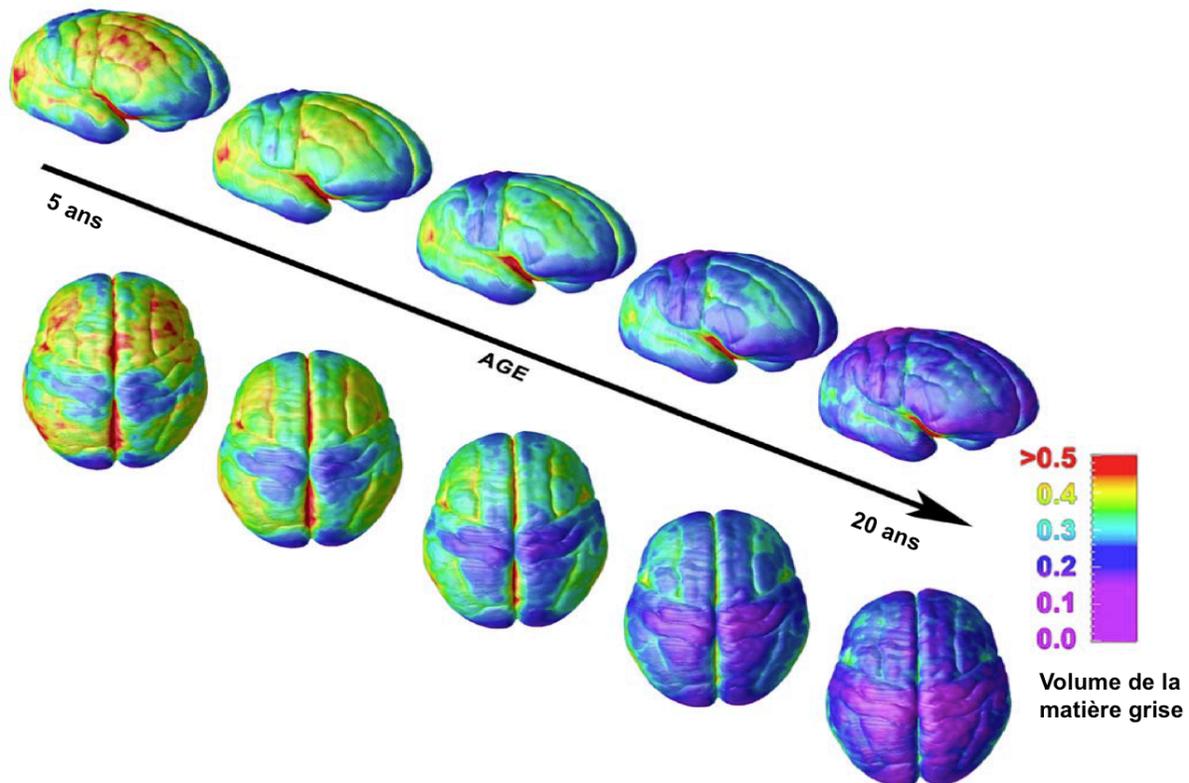
### Développement de la matière grise

On désigne sous le nom de matière grise la partie des tissus du système nerveux central composée essentiellement des corps cellulaires et de l'arbre dendritique des neurones ainsi que de certaines cellules gliales.

- La courbe de croissance en "u inversé".

L'augmentation du volume de matière grise corticale tend à suivre une courbe en "U inversé" et montre des pics de volumes à différents moments dans différents lobes (voir figure 3). Par exemple, la matière grise du lobe frontal atteint son volume maximal à 11,0 ans chez les filles et 12,1 ans chez les garçons. La matière grise du lobe temporal atteint un sommet à 16,7 ans chez les filles et 16,2 ans chez les garçons. Enfin la matière grise du lobe pariétal atteint son pic à 10,2 ans chez les filles et 11,8 ans chez les garçons (Giedd, 2004). Ainsi, la matière grise du cerveau ne semble pas suivre une courbe de croissance linéaire telle qu'observée au niveau de la matière blanche du cerveau. Dans l'échantillon NIMH, Giedd et al. ont rapporté une augmentation du volume des lobes frontaux et pariétaux, qui culminent aux alentours de 10 ans chez les filles et 12 ans chez les garçons (Giedd, Snell, et al., 1996). Suite à ce maximum, les résultats montrent une diminution des volumes de la matière grise dans ces deux lobes. Cette tendance n'est pas retrouvée au niveau de la matière grise des lobes temporaux et occipitaux. La diminution de la matière grise dans les lobes frontaux et pariétaux a été confirmée dans plusieurs études. Ainsi, Sowell et al. (1999) décrit une «perte» de la densité de matière grise à l'adolescence au niveau des lobes pariétaux en comparant un groupe d'enfant (7-11 ans) et un groupe d'adolescent (12-16 ans). Les auteurs décrivent également que cette diminution s'intensifie de l'adolescence à l'âge adulte (23-30 ans). En se basant sur des données longitudinales, Gogtay et al. (2004) ont confirmé une telle perte de matière grise. Cette diminution semble débiter aux alentours de la puberté au niveau des aires sensori-motrices et s'étend dans le sens rostral (vers l'avant du cerveau) en direction du cortex frontal, puis au niveau des cortex pariétaux et temporaux. La matière grise du cortex préfrontal dorsolatéral et de la partie postérieure du gyrus temporal supérieur semble être affectée en

dernier (Gogtay, et al., 2004). Dans l'ensemble, les résultats convergent en faveur d'une modification non linéaire de la matière grise durant l'enfance et l'adolescence qui commencerait notamment dès le début de la puberté.



**Figure 3.** Croissance de la matière grise. Vues latérale droite (en haut de l'axe «Age») et supérieure (au dessous de l'axe «Age») de la séquence dynamique de maturation de la matière grise à la surface du cortex. La barre latérale est une représentation en couleur en unités de volume de la matière grise. (Tiré de Lenroot et Giedd, 2006, avec autorisation.)

- L'amygdale et l'hippocampe.

D'autres structures, telles que les lobes temporaux, l'amygdale et l'hippocampe qui sont très impliquées dans les émotions, le langage, la mémoire, changent de façon dramatique entre l'âge de 4 et 18 ans (Lenroot & Giedd, 2006). Les résultats rapportés lors d'une étude transversale montrent que le volume de l'amygdale augmente significativement avec l'âge chez les garçons alors que le volume de l'hippocampe augmente de façon significative avec l'âge chez les femmes (Giedd et al., 1996). Ce patron de maturation dépendant du genre est compatible avec des observations effectuées auprès de primates non-humains chez qui on

retrouve un nombre relativement élevé de récepteurs androgènes (hormone qui stimule le développement et le maintien des caractères masculins) dans l'amygdale et un nombre relativement plus élevé de récepteurs d'œstrogène (hormone qui stimule le développement des caractères féminins) dans l'hippocampe (Lenroot et Giedd, 2006).

- Les noyaux sous-corticaux.

En ce qui concerne la matière grise sous-corticale, les noyaux gris centraux sont constitués par le noyau caudé, le putamen, le globus pallidus, le noyau sous-thalamique et la substance noire. Les noyaux gris centraux sont depuis longtemps connus pour leur rôle dans le contrôle du mouvement, le tonus musculaire, mais plus récemment pour leur implication dans les circuits de médiation des fonctions cognitives supérieures telles que l'attention et les états affectifs. Les études menées par Lenroot et Giedd (2006) montrent que le volume du noyau caudé suit une trajectoire de développement en U-inversé similairement à l'ensemble de la matière grise corticale en atteignant un pic à l'âge de 7,5 ans chez les filles et 10,0 ans chez les garçons (voir figure 3).

***En résumé :** La taille du cerveau totale est de 95% de la taille maximale à 6 ans, même si les composantes corticales et sous corticales du cerveau changent de façon spectaculaire au cours de l'enfance et de l'adolescence. Le volume de la matière grise suit une courbe de U-inversé et varie selon les régions spécifiques durant l'enfance et l'adolescence alors que les variations du volume de la matière blanche ont tendance à être plus linéaires et moins spécifiques à la région. La taille et la trajectoire développementale du cerveau sont très sensibles au dimorphisme sexuel.*

### **Développement neurofonctionnel à l'adolescence**

En complément aux études en IRM et en DTI, l'IRMf permet d'examiner les changements neurofonctionnels durant le développement et d'établir des relations entre la maturation de certaines structures cérébrales et le développement de fonctions cognitives spécifiques comme par exemple l'attention, la mémoire, les fonctions exécutives et les habilités sociocognitives. Les principes de base du développement neurofonctionnel du cerveau sont la spécialisation et l'intégration. L'information est traitée dans les régions hautement spécialisées mais souvent

spatialement séparées au niveau du cortex et des structures sous-corticales (Paus, 2003; 2009). Cette information est ensuite intégrée puis partagée à travers plusieurs sites corticaux et sous-corticaux via les projections cortico-corticales et cortico-sous-corticales. L'IRM fonctionnelle (IRMf) mesure ces changements fonctionnels au sein du cerveau en développement et constitue une avenue au potentiel significatif pour le champ des neurosciences développementales en offrant des pistes d'interprétation des comportements spécifiques à l'adolescence.

### Principes de base de la neuroimagerie fonctionnelle

Pour visualiser le fonctionnement du cerveau, l'IRMf s'impose comme méthode d'imagerie de premier plan, grâce à sa totale innocuité, sa résolution temporelle proche de la seconde et sa résolution spatiale de quelques millimètres. L'évaluation de l'activité neuronale est basée sur la mesure indirecte de la réponse hémodynamique et se fonde sur le couplage neurovasculaire. Dans les secondes qui suivent l'augmentation de l'activité neuronale d'une partie du cerveau, on observe une augmentation du débit sanguin cérébral régional dans cette zone afin d'adapter les besoins accrus en glucose et en oxygène du cortex activé. En utilisant le contraste « BOLD » (*blood oxygenation level dependent*), l'IRMf permet de suivre les modifications hémodynamiques induites par l'activité neuronale lors de la réalisation de tâches cognitives. Dans la majorité des études par IRMf, on mesure les changements du signal BOLD en réponse à divers stimuli sensoriels, moteurs ou cognitifs. Par conséquent, il est possible d'examiner les zones du cerveau susceptibles de répondre à de tels stimuli en utilisant un paradigme donné. Le principe général de l'analyse est celui de la soustraction entre l'activité cérébrale lors d'une condition expérimentale étudiée et l'activité cérébrale au cours d'une condition contrôle (Delmaire et al., 2007). Le choix du paradigme expérimental, de la technique utilisée et de l'analyse statistique dépend de la question posée.

### Les fonctions cognitives de haut niveau

Étant donné les changements structurels continus observés dans plusieurs régions cérébrales à l'adolescence, il est attendu que les habiletés cognitives qui dépendent de ces régions et leurs connexions complexes avec d'autres aires changent également durant cette période. Ces changements se manifestent au sein d'aspects spécifiques de la cognition dits de haut niveau,

c'est-à-dire qui requièrent une adaptation à des éléments nouveaux et relèvent de processus contrôlés, stratégiques et exécutifs.

- L'attention.

L'attention permet de traiter et d'organiser l'information pertinente parmi une multitude d'informations sensorielles qui parviennent à notre cerveau. Elle joue également un rôle critique dans le développement social, cognitif et émotionnel. Les déficits attentionnels sont retrouvés dans plusieurs pathologies chez l'adolescent, comme le trouble déficitaire de l'attention (TDA). Les études développementales suggèrent que certains mécanismes attentionnels sont en place dès la naissance, alors que d'autres suivraient une trajectoire de développement linéaire et différentielle jusqu'à l'âge adulte. Les études menées en neuroimagerie dans ce domaine montrent que les préadolescents, comparativement aux adultes, présentent une activation moins importante des régions cérébrales associées à l'attention telles que le cortex préfrontal et les aires temporo-pariétales (Konrad et al., 2005). Cependant, des aires à l'extérieur du réseau neuronal attendu sont activées chez les enfants relativement aux adultes, ce qui suggère qu'un réseau plus diffus est requis pour supporter le système attentionnel moins développé. Dans cette lignée, Booth et al. 2003 ont observé des différences développementales lors d'une tâche d'attention sélective visuelle alors que les préadolescents présentaient une plus grande activation du cortex cingulé antérieur et du thalamus que les adultes.

- La mémoire.

La mémoire est une fonction complexe qui poursuit son développement à l'adolescence et sous-tend, entre autres, les nombreux apprentissages qui jalonnent le parcours scolaire durant cette période. Les modèles de la mémoire distinguent généralement la mémoire de travail, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme. La mémoire dite « de travail » constitue la capacité à maintenir et manipuler de l'information pendant une période de plusieurs secondes. Les études menées en IRMf sur la mémoire de travail montrent une activation croissante avec l'âge du circuit identifié chez l'adulte comme responsable de ce processus : les cortex préfrontal dorsolatéral et pariétal postérieur (Bunge et al. 2007; 2012). On observe également

une diminution de la contribution de l'hippocampe dans la mémoire de travail avec l'âge (Finn, Sheridan, Kam, Hinshaw, & D'Esposito, 2010). La mémoire à long-terme constitue le système cérébral responsable de l'encodage, du stockage et de la récupération des informations. Les études en neuroimagerie notent une maturation fonctionnelle entre l'enfance et l'âge adulte des régions responsables de la restitution des informations en mémoire, soit les cortex préfrontal et pariétal et le noyau caudé. Les résultats suggèrent également que l'interaction fonctionnelle entre le lobe temporal médian et les régions préfrontales se développent à l'adolescence permettant une meilleure performance en récupération mnésique (Ofen, Chai, Schuil, Whitfield-Gabrieli, & Gabrieli, 2012).

- Les fonctions exécutives.

Tel que présenté précédemment, le cortex pré-frontal est l'une des dernières régions cérébrales à se développer au cours de l'adolescence et il semble jouer un rôle important dans la maturation des habiletés cognitives de haut niveau, notamment les fonctions exécutives. Le terme fonctions exécutives désigne un ensemble de processus qui permet à l'individu de contrôler et coordonner ses pensées et ses comportements. Cet ensemble d'habiletés de haut niveau est primordial pour un fonctionnement efficient dans la vie quotidienne. Les fonctions exécutives sont impliquées dans la réalisation des activités humaines complexes demandant une haute intégration de l'information de même que pour faire face aux situations nouvelles pour lesquelles l'individu ne possède pas de routines ou de schémas d'action automatisés. Le développement des fonctions exécutives s'effectue lentement jusqu'au début de l'âge adulte. Lors de l'adolescence, les capacités exécutives limitées des jeunes sont en asynchronie avec l'émergence observée d'une réactivité émotionnelle et d'un besoin d'autonomie grandissant; échouant parfois à les munir des dispositifs nécessaires à une retenue appropriée et un bon jugement en cette période d'expériences. À l'aide de l'IRMf, plusieurs paradigmes ont évalué les bases neurobiologiques des habiletés exécutives à l'adolescence, notamment l'impulsivité et l'inhibition. Globalement, ces études montrent que les adolescents recrutent des régions préfrontales, pariétales et striatales distinctes, mais souvent plus larges et plus diffuses que les adultes (Casey, Jones, & Hare, 2008a). L'activation des régions qui corrént avec la performance cognitive chez l'adulte, devient de plus en plus focale et activée avec l'âge. Pour leur part, l'activation des régions qui ne sont pas corrélées avec la performance diminue avec

l'âge. Ce patron a été observé à la fois au sein d'études transversales (Brown et al., 2005) et longitudinales (Durstun et al., 2006). Bien que ces types d'études en IRMf ne peuvent caractériser précisément les mécanismes qui sous-tendent ces changements neurodéveloppementaux (p. ex : arborisation dendritique, élagage synaptique), elles suggèrent que les changements au cours de l'adolescence résultent à la fois d'une spécification des régions cérébrales à l'origine du contrôle exécutif et d'un réglage minutieux des projections de ces régions.

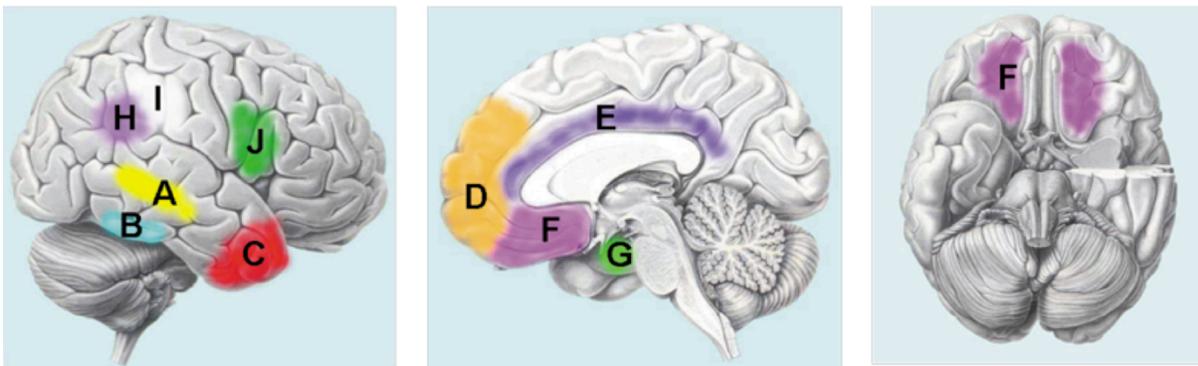
- Le langage.

L'adolescence est également caractérisée par un développement majeur au niveau de la forme, du contenu et de l'usage du langage. Durant ces années, l'individu apprend à maîtriser des fonctions syntaxiques plus sophistiquées, la longueur des phrases et des subordonnés augmente, le lexique (vocabulaire) se complexifie et les fonctions langagières dites de « haut niveau » se développent (p. ex : pragmatique). Ces changements ont été étudiés sous la loupe de la neuroimagerie fonctionnelle. Au niveau de la production du langage, on observe, à l'adolescence, un transfert allant d'une activation cérébrale bilatéralisée (hémisphères gauche et droit) à une représentation latéralisée au sein du lobe frontal (hémisphère gauche pour les droitiers). Parallèlement, l'activation au sein des régions clés du langage oral, comme l'aire de Broca (gyrus frontal inférieur gauche) et le cervelet droit, se focalise avec l'âge (Lidzba, Schwilling, Grodd, Krageloh-Mann, & Wilke, 2011). Au niveau de la compréhension du langage, sa représentation corticale devient plus focalisée avec l'âge au niveau des gyri temporaux médians et supérieurs (Lidzba, et al., 2011; Schmithorst, Holland, & Plante, 2006). Contrairement à la production orale, la compréhension du langage demeure représentée bilatéralement au sein du cerveau à l'âge adulte. Les habiletés langagières de haut niveau pour leur part sont reliées à une implication plus importante de l'hémisphère droit durant l'écoute d'une histoire (Lidzba, et al., 2011).

### La cognition sociale

Au cours de l'adolescence, des demandes élevées sont placées sur les relations entre les processus cognitifs et socio-affectifs, ce qu'est appelé la cognition sociale. La cognition sociale couvre d'abord les aspects de base de la perception du visage et des émotions et

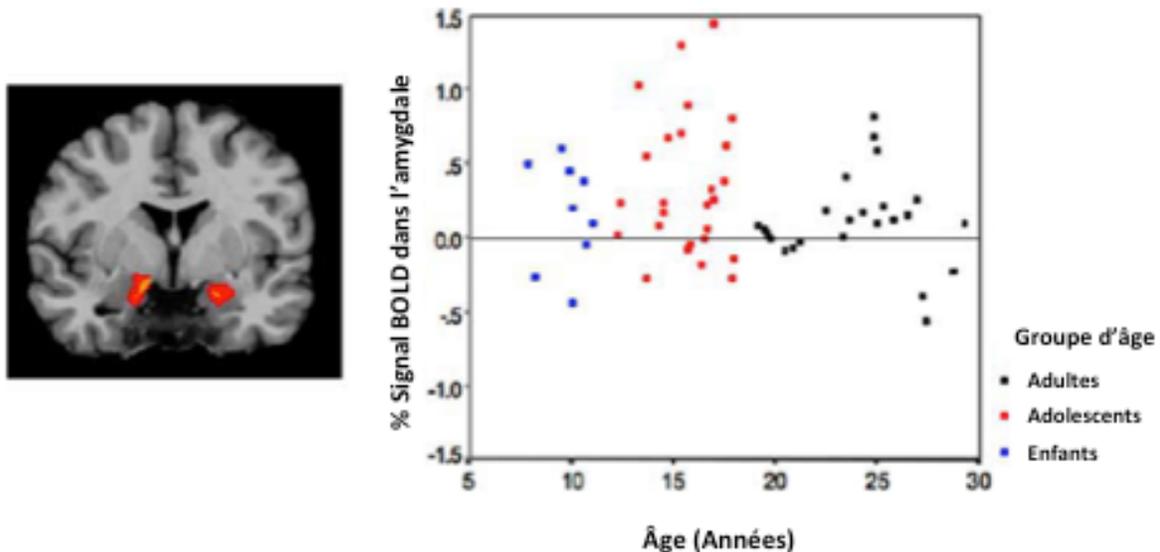
s'étend aux processus cognitifs complexes impliqués dans l'attribution des états mentaux qui modulent un comportement approprié en contexte social. Les changements biologiques et environnementaux à l'adolescence mènent à de nouvelles rencontres ainsi qu'à une conscience et un intérêt accrus envers autrui. L'adolescence est aussi marquée par une redéfinition des relations avec l'entourage, les jeunes se détachant du modèle d'identification parental pour construire leur autonomie. Dans un tel contexte, les habiletés sociocognitives sont sollicitées au quotidien dans le traitement de l'information sociale (indices verbaux et non-verbaux) et ultimement la prise de décision. Cependant, le développement émotionnel, comportemental et cognitif ne se produit pas de façon synchronisée si bien que ces habiletés atteignent leur maturité à des rythmes différents. Par ailleurs, les changements hormonaux à la préadolescence ont une influence sur la recherche de sensation, la quête de récompense et l'éveil émotionnel avant que les régions cérébrales responsables de la régulation du comportement soient pleinement développées. Conséquemment, les adolescents sont parfois plus vulnérables à la prise de risque et aux comportements sociaux mésadaptés.



**Figure 4. Représentation schématique des régions cérébrales contribuant au cerveau social :** A) sulcus temporal supérieur; B) gyrus fusiforme; C) pôle temporal; D) cortex préfrontal et pôle frontal; E) cortex cingulaire; F) cortex orbitofrontal; G) amygdale; H) jonction temporopariétale; I) cortex pariétal inférieur; J) cortex frontal inférieur; insula (pas représenté). (Tiré de Beauchamp & Anderson, 2010, avec autorisation).

L'ensemble des régions cérébrales qui sous-tendent la cognition sociale est désigné sous l'appellation de « cerveau social » et il a été démontré que ce dernier continue de se développer durant l'adolescence (Beauchamp, et al., 2009; Blakemore, 2008b; Burnett & Blakemore, 2009). Le cerveau social inclut le sulcus temporal supérieur, le gyrus fusiforme, le

pôle temporal, le cortex préfrontal et le pôle frontal, le cortex cingulaire, le cortex orbitofrontal, l'amygdale, la jonction temporopariétale, le cortex pariétal inférieur, le cortex frontal inférieur et l'insula. Nous verrons dans la section suivante que les études en IRMf montrent des différences entre l'adolescence et l'âge adulte au sein de ces régions en terme de patrons d'activité cérébrale et de connectivité fonctionnelle en lien avec divers aspects de la cognition sociale (voir figure 4).



**Figure 5. Patrons d'activation lors d'une tâche de perception faciale.** Activation bilatérale de l'amygdale (gauche). Le graphique démontre l'activation de l'amygdale au sein des adultes, des adolescents et des enfants lors d'une tâche de présentation d'expressions faciales. (Tiré de Casey et al., 2008, avec autorisation).

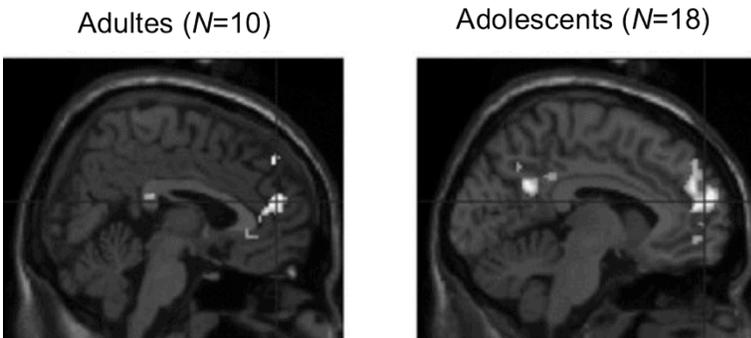
- La perception des visages.

La perception des visages, et tout spécialement le traitement des expressions faciales, sont importants à l'adolescence puisque cela guide les interactions sociales et fourni des indices importants sur les états mentaux d'autrui. Bien que les aspects fondamentaux de la perception des visages soient en place peu après la naissance on dénote un développement continu de l'aptitude à reconnaître les émotions faciales au cours de l'adolescence (Blakemore 2008). Au niveau neuronal, cela se manifeste notamment par une augmentation de l'activation de l'amygdale et du gyrus fusiforme (Guyer et al., 2008) chez les adolescents comparativement aux adultes dans des tâches d'observation de visages évoquant la peur (voir figure 5). Ces

résultats sont cohérents avec la trajectoire d'une compétence émergente dans la reconnaissance des visages de peur et suggèrent que la transition entre l'adolescence et la vie adulte est accompagnée par une diminution de la réactivité du gyrus fusiforme et de l'amygdale aux visages émotionnels. Une compréhension approfondie de la trajectoire développementale normale associée à la reconnaissance des émotions faciales est susceptible d'aider au dépistage précoce des désordres socioaffectifs (p. ex : autisme, dépression et troubles anxieux) et de permettre l'élaboration de pistes de traitement.

- La théorie de l'esprit.

Un autre aspect critique de la cognition sociale est la théorie de l'esprit, c'est-à-dire l'habileté à inférer des états mentaux à autrui tels que les intentions, les croyances et les désirs. Cette habileté permet donc de comprendre et prédire les comportements d'autrui à la lueur de leurs états mentaux. Il existe une littérature substantielle en neuroimagerie fonctionnelle qui indique que la théorie de l'esprit sollicite, chez l'adulte, un ensemble de régions cérébrales circonscrites comprenant la jonction temporo-pariétale, le cortex temporal antérieur, le sulcus temporal supérieur et la portion rostro-antérieure du cortex préfrontal médian (U. Frith & Frith, 2003). Le cortex temporal antérieur représente l'information sociale sémantique et le sulcus temporal supérieur est important pour décoder les gestes sociaux et les signaux prédictifs d'une action ou d'une intention. Les rôles de la jonction temporo-pariétale et de la partie rostro-antérieure du cortex préfrontal médian restent à clarifier, mais il est suggéré que ces régions soient impliquées dans la représentation et l'attribution d'états mentaux (Burnett, et al. 2011). Récemment, plusieurs études ont investigué les corrélats neuronaux de la théorie de l'esprit chez les adolescents. Malgré la variété des tâches utilisées pour évaluer la théorie de l'esprit, les études montrent constamment que l'activité cérébrale au sein du cortex préfrontal médian rostro-antérieur y est davantage élevée chez les adolescents que les adultes (voir figure 6) (Burnett, et al. 2011). L'activité au sein des composantes postérieures et temporales du système cérébral de la théorie de l'esprit, telles que le sulcus temporal supérieur, la jonction temporo-pariétal et le cortex temporal antérieur, montre un patron développemental inverse (Burnett & Blakemore, 2009). Il semble donc que le rôle des aires cérébrales impliquées dans la théorie de l'esprit change avec l'âge, l'activité se déplaçant des régions antérieures (cortex préfrontal) vers celles postérieures (cortex temporal antérieur).



**Figure 6. Comparaison des patrons d'activation impliquant le réseau cérébral de la théorie de l'esprit entre des adultes et des adolescents.** Le réseau cérébral, comprenant le cortex préfrontal médian, le sulcus temporal supérieur et le lobe temporal antérieur, est plus diffus et le niveau d'activation est plus élevé dans la partie rostro-antérieure du cortex préfrontal médian chez les adolescents que chez les adultes. (Tiré de Burnett & Blakemore, 2009 avec autorisation).

- L'évaluation sociale.

En ce qui concerne l'évaluation sociale (acceptation et rejet), les études en psychologie sociale démontrent depuis longtemps que les adolescents sont plus sensibles à être exclus des interactions sociales que les enfants ou les adultes. La neuroimagerie commence depuis peu à explorer les bases neuronales de cet effet non-linéaire. Un des paradigmes expérimentaux utilisés pour mesurer l'exclusion sociale se nomme « CyberBall » (K. D. Williams & Jarvis, 2006). Durant cette tâche, les participants sont informés qu'ils jouent à un jeu de ballon en ligne qui consiste à faire des passes avec deux autres joueurs. En réalité, les joueurs sont programmés de façon à ce qu'ils incluent ou excluent systématiquement le participant (en lui passant ou pas le ballon). Les études en IRMf utilisant des paradigmes d'évaluation sociale de ce type (CyberBall, clavardage en ligne, etc.) montrent des différences liées à l'âge au niveau de l'activité neuronale, particulièrement au sein du cortex préfrontal et des régions émotionnelles du cerveau (Burnett, Sebastian, Cohen Kadosh, & Blakemore, 2011). Ces différences d'activité corréleront avec les changements comportementaux mesurés de l'impact du rejet social sur l'humeur.

- L'influence des pairs.

L'effet de l'influence des pairs est d'un grand intérêt lorsque sont étudiés le comportement et la cognition sociale chez les adolescents. En effet, les besoins d'acceptation, d'approbation et d'appartenance sont vitaux durant l'adolescence. Dans un tel contexte, l'opinion des pairs est souvent plus importante que celui des parents. Cette influence peut être positive, mais parfois négative et précipiter les jeunes dans des comportements à risque afin de faire partie d'un groupe. Au niveau psychologique, l'influence des pairs peut se manifester de plusieurs façons allant d'un indigage implicite sur l'humeur ou les gestes corporels à des effets plus larges sur l'attitude sociale et les activités d'un individu. Peu d'études en IRMf se sont penchées sur cet aspect. Une étude particulière de (Grosbras et al., 2007) a divisé un groupe de préadolescents en deux sur la base d'une séparation médiane de leurs résultats à un test de résistance à l'influence des pairs. Il s'agissait d'un questionnaire avec des items évaluant l'applicabilité à soi d'énoncés tels que « Certaines personnes suivent leurs amis simplement pour les rendre heureux ». Les deux groupes d'adolescents se sont ensuite soumis à une séance d'imagerie fonctionnelle tandis qu'ils regardaient passivement des vidéos contenant des visages ou des gestes de mains ou de bras exécutés de façon neutre ou fâchée. Les sujets avec un haut score de résistance à l'influence des pairs montraient une plus forte connectivité entre les régions cérébrales dédiées à l'observation d'action (système fronto-pariétal et temporo-occipital) et celles liées à la prise de décision (cortex préfrontal) lorsqu'ils regardaient des stimuli évoquant la colère. Ces résultats sont cohérents avec l'approche selon laquelle l'augmentation de l'intégration fonctionnelle au sein de réseaux neuronaux liés à une tâche sous-tend le développement des habiletés cognitives associé à l'âge. Cette étude est un premier pas vers l'exploration des substrats neuronaux à l'origine de la sensibilité accrue à l'influence des pairs à l'adolescence. Elle suggère que le traitement d'indices non-verbaux (p. ex : émotions faciales) sous-tend en partie la résistance à l'influence des pairs et offre des pistes de réflexion susceptibles d'inspirer le développement de stratégies destinées à augmenter la résistance à la pression externe chez les adolescents.

- La prise de risque.

En ce qui concerne la prise de risque, la crainte du rejet social est un facteur à prendre en compte dans la propension des adolescents à se soustraire à l'influence des pairs et à s'engager dans des comportements à risque. Dans un tel contexte, plusieurs chercheurs ont utilisé l'IRMf pour examiner les différences possibles entre les enfants, les adolescents et les adultes alors qu'ils étaient assujettis à des pertes ou des gains de récompenses diverses. Étant donné son rôle dans le système de motivation et de récompense, le noyau accumbens (ou striatum ventral) a été la région ciblée par la majorité de ces études. Il semble que lorsque les adolescents s'exercent à une tâche qui implique la recherche de récompense, la région accumbens en proportion relative avec le cortex orbitofrontal est exagérément activée comparativement aux enfants et aux adultes (Galvan et al., 2006). Ainsi, il semble que la prise de risque augmente à l'adolescence en raison des changements dans le système du cerveau socio-émotionnel, ce qui augmente la recherche de récompense particulièrement en présence des pairs. La prise de risque diminue lors de la transition à l'âge adulte en raison des changements dans le système de contrôle cognitif du cerveau (notamment le cortex orbitofrontal) et une diminution relative de l'activité striatale, améliorant du même coup la capacité de l'individu à s'autoréguler.

***En résumé :*** *Les études en neuroimagerie fonctionnelle développementales suggèrent que l'adolescence est une période de maturation cérébrale importante. Ces dernières ont démontré qu'il existait à l'adolescence des différences au niveau de l'activité fonctionnelle de plusieurs régions du cerveau. Ces différences s'observent principalement au niveau des régions cérébrales qui sous-tendent les émotions (amygdale), les fonctions sociocognitives de haut niveau (cortex préfrontal) et la motivation (striatum). Les mécanismes potentiels à l'origine de ce neurodéveloppement sont multiples. L'un d'entre eux propose que l'organisation fonctionnelle du cerveau humain passerait de diffuse à focalisée de l'enfance à l'âge adulte.*

## **Les différences individuelles dans le développement cérébral**

Il existe d'importantes différences individuelles au niveau du développement neuronal, cognitif et social à l'adolescence. Les études de jumeaux suggèrent que ces différences sont en partie dues à l'émergence d'effets génétiques nouveaux durant la puberté et l'adolescence (Scourfield et al., 2003). Les facteurs génétiques sont donc susceptibles de jouer un rôle important dans les différences individuelles. Il est bien établi que les polymorphismes génétiques (variation inter-individuelle) affectent la cognition (Green et al., 2008). Des différences individuelles fortement héréditaires dans les habiletés cognitives sont associées à des différences structurelles au sein de régions spécifiques du cortex cérébral (Toga & Thompson, 2005). À l'heure actuelle, la façon avec laquelle les gènes interagissent avec l'environnement dans le contexte du développement cérébral fait l'objet d'un nombre grandissant d'études en neuroimagerie développementale.

Parallèlement, un champ de recherche peu étudié en neurosciences cognitives est l'effet du contexte et de la culture sur le développement du cerveau. Les recherches en psychologie interculturelle ont montré que l'expérience des adolescents était variable et contingente à la culture (Choudhury, 2010). La vie des adolescents de cultures différentes peut être radicalement divergente, mais peu d'informations sont disponibles sur la façon dont cela façonne le cerveau. Il a été suggéré, par exemple, que les caractéristiques communes aux jeunes occidentaux, comme les conflits intergénérationnels, découlent des valeurs culturelles individualistes au sein des sociétés occidentales, valeurs qui sont moins manifestes dans les sociétés pré-industrielles (Choudhury, 2010). De plus, on retrouve des variations culturelles au niveau de l'apparition de la puberté qui tend à être plus tôt dans les pays industrialisés, possiblement en raison de l'apport alimentaire (Berkey, Gardner, Frazier, & Colditz, 2000). Un élément crucial pour les recherches futures consiste à dissocier les changements pré-programmés génétiquement et les changements dus à l'environnement et la culture. Une spéculation intéressante est que l'adolescence représente une période de réorganisation synaptique et que, conséquemment, certaines régions du cerveau seraient particulièrement sensibles à l'expérience et aux stimulations de l'environnement durant cette période de vie.

## **L'impact du neurodéveloppement sur les conduites et la responsabilité de l'adolescent**

Les recherches sur les implications cognitives d'une maturation continue du cerveau au-delà de l'enfance s'avèrent pertinentes pour le développement social et le niveau d'instruction des adolescents. Plus d'études sont requises pour parvenir à un consensus sur la façon dont la myélinisation axonale ainsi que la prolifération et l'élagage synaptique influencent le développement social, émotionnel, linguistique, mathématique et créatif. En d'autres mots, quelles habiletés s'exposent à une perturbation, quelles traversent une période sensible pour une amélioration et comment la qualité de l'environnement interagit avec les changements cérébraux associés au développement de la cognition?

Parmi les découvertes effectuées grâce à la neuroimagerie, celle que le cortex préfrontal (une composante essentielle des réseaux neuronaux impliquée dans le jugement, la prise de décision et le contrôle des impulsions) continue sa maturation chez les adolescents a une influence considérable dans les domaines social, législatif, judiciaire, parental et éducationnel. À ce sujet, un dialogue entre les psychologues, les chercheurs en neurosciences, les membres des professions juridiques et les décideurs publics est déjà entamé dans le contexte des crimes juvéniles et de l'âge de la responsabilité criminelle. Les nombreuses données illustrant l'immaturation du cerveau adolescent pourraient repousser l'âge de la responsabilité criminelle et modérer les sentences sévères à l'endroit des adolescents. À cela s'ajoutent d'autres questions au sujet de l'âge minimal pour la conduite automobile, le droit de vote, la consommation d'alcool et le consentement sexuel. Nul doute que l'apport des neurosciences pourra s'avérer utile pour élaborer les futures procédures législatives concernant les adolescents et alimenter les discussions au sujet de plusieurs débats de société. Malgré l'attrait d'échanger la complexité et l'ambiguïté du comportement humain contre la clarté et l'esthétisme des images colorées de cerveau, nous devons faire preuve de prudence dans l'interprétation des résultats en neuroimagerie en lien avec les politiques publiques. Ces débats sont profondément complexes et requièrent un effort intégré qui fera intervenir les parents, les législateurs, les éducateurs, les scientifiques spécialisés en neurosciences, les cliniciens et les adolescents eux-mêmes.

## **Conclusion**

Depuis ces dernières années, de nombreuses études ont été menées en neuroimagerie pour étudier les changements liés à la croissance et à la maturité fonctionnelles du cerveau humain. En ce qui concerne la croissance, un certain consensus se dégage en faveur de l'augmentation continue de la matière blanche, à la fois globale et locale tout au long de l'adolescence. En revanche, il existe moins de convergence concernant la diminution du volume de matière grise dans différentes régions corticales pouvant soit refléter une perte liée à un éventuel «élagage» ou soit refléter un gain au niveau intra-corticale lié à la myélinisation du tissu. Néanmoins, certains résultats robustes montrent une croissance importante des régions cérébrales telles que l'amygdale, le cortex préfrontal et le striatum chez l'adolescent.

Les études menées en neuroimagerie fonctionnelle (IMRf) montrent que l'adolescence est une période de maturation neuronale importante marquée par le développement continu de l'activité de plusieurs régions cérébrales impliquées dans un large éventail de fonctions sociocognitives et émotionnelles. Au cœur de ce développement neurofonctionnel réside la notion selon laquelle un traitement neuronal immature dans le cortex préfrontal et d'autres régions corticales et sous-corticales, ainsi que leurs interactions, mène à des comportements orientés vers le risque, la récompense et la réactivité émotionnelle durant l'adolescence.

Ces changements développementaux peuvent être exacerbés ou atténués par les différences individuelles. Ainsi, la croissance cérébrale serait différente selon le genre et apparaît modulée par des fluctuations hormonales importantes à l'adolescence. De plus en plus de résultats remettent en cause une conception uniquement déterministe, voulant que seuls les gènes influent sur le cerveau et, par conséquent, sur le comportement de la personne. Comme l'ont indiqué un certain nombre d'études sur les effets de l'expérience concernant la structure et la fonction du cerveau, les mesures anatomiques et fonctionnelles dérivées par IRM pourraient aussi très bien refléter un effet cumulatif de l'expérience différentielle (comportementale) plutôt que l'inverse. Ainsi, de nouvelles pistes suggèrent l'intérêt d'étudier le rôle actif de la personne et de son environnement dans la modulation des processus neuro-développementaux à l'adolescence.

## RÉFÉRENCES

- Ansado, J., Collins, L., Fonov, V., Garon, M., Evans, A. & Beauchamp, M., H. A new template to study callosal growth Reveals an early intense period of maturation in childhood. *J Neurosci. (Soumis)*.
- Ansado, J., Collins, L., Joubert, S., Petrides, M., Fonov, V., Tomaiuolo, F., Brambati, S.M., Monchi, O., Faure, S. & Joanette, Y. Interhemispheric Coupling Improves the Brain's Ability to Perform Low-Cognitive-Demand Tasks in Alzheimer's Disease and High-Cognitive-Demand Tasks in Normal Aging », *Neuropsychology. (Sous-presse)*.
- Ansado, J., Faure, S., Joanette, Y. (2009). Le cerveau adaptatif: rôle du couplage interhémisphérique dans le maintien des habiletés cognitives. *Revue de Neuropsychologie*, 1 (2), 159-69.
- Barnea-Goraly, N., Menon, V., Eckert, M., Tamm, L., Bammer, R., Karchemskiy, A., . . . Reiss, A. L. (2005). White matter development during childhood and adolescence: a cross-sectional diffusion tensor imaging study. *Cereb Cortex*, 15(12), 1848-1854.
- Bava, S., Thayer, R., Jacobus, J., Ward, M., Jernigan, T. L., & Tapert, S. F. (2010). Longitudinal characterization of white matter maturation during adolescence. *Brain Res*, 1327, 38-46.
- Beauchamp, M. H., Anderson, V. A., Catroppa, C., Maller, J. J., Godfrey, C., Rosenfeld, J. V., & Kean, M. (2009). Implications of reduced callosal area for social skills after severe traumatic brain injury in children. *J Neurotrauma*, 26(10), 1645-1654.
- Berkey, C. S., Gardner, J. D., Frazier, A. L., & Colditz, G. A. (2000). Relation of childhood diet and body size to menarche and adolescent growth in girls. *Am J Epidemiol*, 152(5), 446-452.
- Blakemore, S. J. (2008). The social brain in adolescence. *Nat Rev Neurosci*, 9(4), 267-277.
- Blanton, R. E., Levitt, J. G., Peterson, J. R., Fadale, D., Sporty, M. L., Lee, M., . . . Toga, A. W. (2004). Gender differences in the left inferior frontal gyrus in normal children. *Neuroimage*, 22(2), 626-636.
- Bonekamp, D., Nagae, L. M., Degaonkar, M., Matson, M., Abdalla, W. M., Barker, P. B., . . . Horska, A. (2007). Diffusion tensor imaging in children and adolescents: reproducibility, hemispheric, and age-related differences. *Neuroimage*, 34(2), 733-742.

- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Lei, Z., Trommer, B. L., Davenport, N. D., . . . Mesulam, M. M. (2003). Neural development of selective attention and response inhibition. *Neuroimage*, *20*(2), 737-751.
- Bourgeois, J. P., Goldman-Rakic, P. S., & Rakic, P. (1994). Synaptogenesis in the prefrontal cortex of rhesus monkeys. *Cereb Cortex*, *4*(1), 78-96.
- Brown, T. T., Lugar, H. M., Coalson, R. S., Miezin, F. M., Petersen, S. E., & Schlaggar, B. L. (2005). Developmental changes in human cerebral functional organization for word generation. *Cereb Cortex*, *15*(3), 275-290. doi: 10.1093/cercor/bhh129
- Bunge, S. A. (2012). The developing human brain: a frontiers research topic. *Front Hum Neurosci*, *6*, 47.
- Bunge, S. A., & Wright, S. B. (2007). Neurodevelopmental changes in working memory and cognitive control. *Curr Opin Neurobiol*, *17*(2), 243-250.
- Burnett, S., & Blakemore, S. J. (2009). Functional connectivity during a social emotion task in adolescents and in adults. *Eur J Neurosci*, *29*(6), 1294-1301.
- Burnett, S., Sebastian, C., Cohen Kadosh, K., & Blakemore, S. J. (2011). The social brain in adolescence: evidence from functional magnetic resonance imaging and behavioural studies. *Neurosci Biobehav Rev*, *35*(8), 1654-1664.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Ann N Y Acad Sci*, *1124*, 111-126.
- Choudhury, S. (2010). Culturing the adolescent brain: what can neuroscience learn from anthropology? *Soc Cogn Affect Neurosci*, *5*(2-3), 159-167.
- Durston, S., Davidson, M. C., Tottenham, N., Galvan, A., Spicer, J., Fossella, J. A., & Casey, B. J. (2006). A shift from diffuse to focal cortical activity with development. *Dev Sci*, *9*(1), 1-8.
- Finn, A. S., Sheridan, M. A., Kam, C. L., Hinshaw, S., & D'Esposito, M. (2010). Longitudinal evidence for functional specialization of the neural circuit supporting working memory in the human brain. *J Neurosci*, *30*(33), 11062-11067.
- Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *358*(1431), 459-473.

- Galvan, A., Hare, T. A., Parra, C. E., Penn, J., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2006). Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *J Neurosci*, *26*(25), 6885-6892.
- Giedd, J. N. (2004). Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain. *Ann NY Acad Sci*, *1021*, 77-85.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Rajapakse, J. C., Vaituzis, A. C., Liu, H., . . . Castellanos, F. X. (1999). Development of the human corpus callosum during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, *23*(4), 571-588.
- Giedd, J. N., Rumsey, J. M., Castellanos, F. X., Rajapakse, J. C., Kaysen, D., Vaituzis, A. C., . . . Rapoport, J. L. (1996). A quantitative MRI study of the corpus callosum in children and adolescents. *Brain Res Dev Brain Res*, *91*(2), 274-280.
- Giedd, J. N., Snell, J. W., Lange, N., Rajapakse, J. C., Casey, B. J., Kozuch, P. L., . . . Rapoport, J. L. (1996). Quantitative magnetic resonance imaging of human brain development: ages 4-18. *Cereb Cortex*, *6*(4), 551-560.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., . . . Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *101*(21), 8174-8179.
- Green, A. E., Munafò, M. R., DeYoung, C. G., Fossella, J. A., Fan, J., & Gray, J. R. (2008). Using genetic data in cognitive neuroscience: from growing pains to genuine insights. *Nat Rev Neurosci*, *9*(9), 710-720.
- Grosbras, M. H., Jansen, M., Leonard, G., McIntosh, A., Osswald, K., Poulsen, C., . . . Paus, T. (2007). Neural mechanisms of resistance to peer influence in early adolescence. *J Neurosci*, *27*(30), 8040-8045.
- Guyer, A. E., Monk, C. S., McClure-Tone, E. B., Nelson, E. E., Roberson-Nay, R., Adler, A. D., . . . Ernst, M. (2008). A developmental examination of amygdala response to facial expressions. *J Cogn Neurosci*, *20*(9), 1565-1582.
- Konrad, K., Neufang, S., Thiel, C. M., Specht, K., Hanisch, C., Fan, J., . . . Fink, G. R. (2005). Development of attentional networks: an fMRI study with children and adults. *Neuroimage*, *28*(2), 429-439.

- Lebel, C., & Beaulieu, C. (2011). Longitudinal development of human brain wiring continues from childhood into adulthood. *J Neurosci*, *31*(30), 10937-10947.
- Lebel, C., Walker, L., Leemans, A., Phillips, L., & Beaulieu, C. (2008). Microstructural maturation of the human brain from childhood to adulthood. *Neuroimage*, *40*(3), 1044-1055.
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav Rev*, *30*(6), 718-729.
- Lidzba, K., Schwilling, E., Grodd, W., Krageloh-Mann, I., & Wilke, M. (2011). Language comprehension vs. language production: age effects on fMRI activation. *Brain Lang*, *119*(1), 6-15.
- Luders, E., Thompson, P. M., & Toga, A. W. (2010). The development of the corpus callosum in the healthy human brain. *J Neurosci*, *30*(33), 10985-10990.
- Mukherjee, P., Miller, J. H., Shimony, J. S., Conturo, T. E., Lee, B. C., Almlil, C. R., & McKinstry, R. C. (2001). Normal brain maturation during childhood: developmental trends characterized with diffusion-tensor MR imaging. *Radiology*, *221*(2), 349-358.
- Ofen, N., Chai, X. J., Schuil, K. D., Whitfield-Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. (2012). The development of brain systems associated with successful memory retrieval of scenes. *J Neurosci*, *32*(29), 10012-10020.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends Cogn Sci*, *9*(2), 60-68.
- Paus, T., Zijdenbos, A., Worsley, K., Collins, D. L., Blumenthal, J., Giedd, J. N., . . . Evans, A. C. (1999). Structural maturation of neural pathways in children and adolescents: in vivo study. *Science*, *283*(5409), 1908-1911.
- Petanjek, Z., Judas, M., Simic, G., Rasin, M. R., Uylings, H. B., Rakic, P., & Kostovic, I. (2011). Extraordinary neoteny of synaptic spines in the human prefrontal cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *108*(32), 13281-13286.
- Pfefferbaum, A., Mathalon, D. H., Sullivan, E. V., Rawles, J. M., Zipursky, R. B., & Lim, K. O. (1994). A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Arch Neurol*, *51*(9), 874-887.

- Rajapakse, J. C., DeCarli, C., McLaughlin, A., Giedd, J. N., Krain, A. L., Hamburger, S. D., & Rapoport, J. L. (1996). Cerebral magnetic resonance image segmentation using data fusion. *J Comput Assist Tomogr*, *20*(2), 206-218.
- Rose, A. B., Merke, D. P., Clasen, L. S., Rosenthal, M. A., Wallace, G. L., Vaituzis, A. C., . . . Giedd, J. N. (2004). Effects of hormones and sex chromosomes on stress-influenced regions of the developing pediatric brain. *Ann N Y Acad Sci*, *1032*, 231-233.
- Schmithorst, V. J., Holland, S. K., & Plante, E. (2006). Cognitive modules utilized for narrative comprehension in children: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, *29*(1), 254-266.
- Schmithorst, V. J., & Yuan, W. (2010). White matter development during adolescence as shown by diffusion MRI. *Brain Cogn*, *72*(1), 16-25.
- Scourfield, J., Rice, F., Thapar, A., Harold, G. T., Martin, N., & McGuffin, P. (2003). Depressive symptoms in children and adolescents: changing aetiological influences with development. *J Child Psychol Psychiatry*, *44*(7), 968-976.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Batth, R., Jernigan, T. L., & Toga, A. W. (1999). Localizing age-related changes in brain structure between childhood and adolescence using statistical parametric mapping. *Neuroimage*, *9*(6 Pt 1), 587-597.
- Thompson, P. M., Giedd, J. N., Woods, R. P., MacDonald, D., Evans, A. C., & Toga, A. W. (2000). Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps. *Nature*, *404*(6774), 190-193.
- Toga, A. W., & Thompson, P. M. (2005). Genetics of brain structure and intelligence. *Annu Rev Neurosci*, *28*, 1-23.
- Toro, R., Perron, M., Pike, B., Richer, L., Veillette, S., Pausova, Z., & Paus, T. (2008). Brain size and folding of the human cerebral cortex. *Cereb Cortex*, *18*(10), 2352-2357.
- Webb, S. J., Monk, C. S., & Nelson, C. A. (2001). Mechanisms of postnatal neurobiological development: implications for human development. *Dev Neuropsychol*, *19*(2), 147-171.
- Williams, K. D., & Jarvis, B. (2006). Cyberball: a program for use in research on interpersonal ostracism and acceptance. *Behav Res Methods*, *38*(1), 174-180.