

Université de Montréal

**Performance perceptive dans l'autisme :
du facteur « g » au facteur « p »**

par

Andrée-Anne Simard-Meilleur

Département de Psychologie

Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des Études Supérieures et Postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)
en psychologie recherche-intervention
option neuropsychologie

17 juin 2014

© Andrée-Anne Simard-Meilleur, 2014

Résumé

La perception est de plus en plus reconnue comme fondamentale à la compréhension du phénotype autistique. La première description de l'autisme, par Kanner en 1947, fait état d'un profil cognitif hétérogène caractérisé par des habiletés exceptionnelles à l'intérieur de domaines spécifiques de la perception (ex., la musique). L'accumulation des observations cliniques sur la présence de particularités perceptives a mené à l'élaboration d'études empiriques permettant d'objectiver des surfonctionnements dans le traitement élémentaire de l'information perceptive dans l'autisme. Parallèlement, des études cognitives suggèrent la présence d'une « intelligence différente » chez les personnes autistes. Celle-ci serait caractérisée par une dissociation entre des performances à différents tests d'intelligence fortement corrélés ensemble chez les personnes typiques. Le potentiel intellectuel des personnes autistes serait sous-estimé lorsque mesuré par l'échelle de Wechsler, plutôt que des mesures d'intelligence fluide comme les Matrices Progressives de Raven. Avec l'appui d'études en imagerie cérébrale, ces résultats suggèrent une relation unique entre la perception et l'intelligence chez cette population clinique.

Étant donné l'accumulation de preuves sur 1) la présence d'atypies perceptuelles, 2) le rôle différent de la perception dans l'intelligence et 3) l'importance des comportements répétitifs et intérêts restreints dans le phénotype autistique (DSM-5), le premier volet de cette thèse s'est intéressé à la relation entre les performances perceptives des personnes autistes et celle des personnes ayant un développement typique, au-delà de ce qui est expliqué par l'intelligence. À l'aide de modèles de régression linéaire, les résultats démontrent un profil de covariation spécifique à l'autisme pour les habiletés plurimodales. Contrairement aux personnes ayant un développement typique, ces associations persistent au-delà de ce qui est expliqué par l'intelligence générale ou par l'efficacité générale des systèmes perceptifs. Ce profil de covariation résiduelle propre aux personnes autistes suggère la présence d'un facteur plurimodal spécifique à ce groupe clinique : le facteur « p ».

Le deuxième volet de cette thèse s'est intéressé à la prévalence des habiletés exceptionnelles au niveau individuel, la relation les forces perceptives et les talents, ainsi qu'aux facteurs de prédisposition en lien avec le développement d'habiletés exceptionnelles. Les forces

perceptives des personnes autistes furent évaluées à l'aide de tâches expérimentales sensibles à la détection de surfonctionnements perceptifs, soit une tâche de discrimination de hauteurs sonores et une version modifiée du sous-test « Blocs » de l'échelle d'intelligence de Wechsler. Les talents furent évalués de manière clinique à l'aide de l'ADI-R (« Autism Diagnostic Interview-Revised »). Les données indiquent que 88.4 % des personnes autistes avec une intelligence dans la normale présentent au moins une habileté exceptionnelle (force perceptive ou talent). Les talents sont rapportés chez 62.5 % des cas et les forces perceptives se retrouvent chez 58 % des cas. La cooccurrence des forces perceptives entre les modalités perceptives est relativement peu fréquente (24 % à 27 %) et la présence d'un talent dans une modalité n'augmente pas les chances de présenter une force perceptive dans une même modalité. Une plus grande intelligence augmente les chances de présenter au moins un talent. En revanche, une intelligence plus faible, mais se situant tout de même dans les limites de la normale, est associée à un profil cognitif plus hétérogène avec des forces perceptives plus fréquentes.

En somme, l'intelligence autistique serait caractérisée par un rôle plus important de la perception, indépendamment des surfonctionnements perceptifs. Cette particularité cognitive se manifesterait par la présence d'un facteur plurimodal, « p », spécifique à l'autisme. Théoriquement, le facteur « p » reflèterait des modifications innées (ou « hardwired ») dans l'organisation corticale des microcircuits responsables de l'encodage des dimensions perceptives élémentaires. En revanche, une faible association intermodale entre les forces perceptives suggère que des modifications corticales sont essentielles, mais non suffisantes pour le développement d'habiletés exceptionnelles. Par des processus de plasticité, des modifications corticales auraient des répercussions sur le phénotype autistique en offrant une base plus « fertile » pour le développement d'habiletés exceptionnelles, voire savantes, lorsque la personne autiste serait exposée à des expériences de vie avantageuses. Par ailleurs, les résultats de cette thèse, combinés à la littérature existante sur l'intelligence et l'apprentissage des personnes autistes, nous amènent à réfléchir sur les approches d'évaluation et d'intervention les mieux adaptées au fonctionnement spécifique de cette population clinique.

Mots-clés : autisme, intelligence, surfonctionnement perceptif, audition, vision, perception, habiletés spéciales, talents, pics d'habileté, forces, plasticité, expertise.

Abstract

Perception is increasingly recognized as a fundamental aspect of the autism phenotype. Kanner's (1947) seminal description of autism highlights a heterogeneous cognitive profile characterized by exceptional skills within specific areas of perception (e.g., music). The accumulation of clinical observation on the presence of perceptual atypicalities led to the elaboration of empirical studies designed to objectify enhanced perceptual functioning in autism. Meanwhile, cognitive studies suggest the presence of a "different intelligence" in autism. Autistic intelligence would be characterized by a dissociation of performance between intelligence tests that are strongly correlated together in typical individuals. Research suggests that using tools posing higher demands on verbal skills, such as Wechsler Intelligence scale rather than measures of fluid intelligence, such as Raven Progressive Matrices, would result in an underestimation of autistics' intellectual potential. With the support of imaging studies, these results suggest a unique relationship between perception and intelligence in this clinical population.

Given the accumulating evidence on 1) the presence of perceptual atypicalities, 2) the different role of perception cognition, and 3) the importance of "repetitive behaviours and restricted interests" in the autistic phenotype (DSM-5), the first part of this thesis is interested in the differential relationship between perceptual performance in autism and controls with typical development, beyond what is explained by intelligence. Using linear regression models, results show a profile of plurimodal covariation specific to autism. Unlike control subjects, this association persists beyond what is explained by general intelligence or the overall effectiveness of perceptual systems. This finding is interpreted as an indication of a specific plurimodal factor in autism: the "p" factor.

The second part of this dissertation is interested in the prevalence of exceptional skills, the relationship between perceptual strengths and talents, and the predisposing factors related to the development of exceptional skills. Perceptual strengths were evaluated using experimental tasks sensitive for the detection of enhanced perceptual functioning: a pitch discrimination task and a modified version of Wechsler's block design test. Talents were evaluated clinically using the Autism Diagnostic Interview-Revised (ADI-R). Results show that 88.4% of people with autism and

normal intelligence had at least one exceptional skill (perceptual strengths or talent). Talents were reported in 62.5% of cases and perceptual strengths were found in 58% of cases. The co-occurrence of perceptual strengths across modalities was relatively infrequent (24% to 27%) and the presence of a talent in one modality did not increase the chances of presenting another perceptual strength in the same modality. Greater intelligence increased the chances of presenting at least one talent. In contrast, lower intelligence, still within the normal range, was associated with a more heterogeneous cognitive profile and more frequent perceptual strengths.

In sum, autistic intelligence is characterized by a greater role of perception, regardless of enhanced perceptual functioning. This cognitive characteristic is manifested by a specific autism plurimodal factor "p". Theoretically, the factor "p" reflects hardwired alterations in cortical microcircuits organization responsible for the encoding of basic perceptual dimensions. In contrast, weak association between perceptual strengths across modalities suggests that cortical changes would be essential, but not sufficient for the development of exceptional skills. By processes of plasticity, cortical changes would affect the autistic phenotype, offering more "fertile" grounds for the development of exceptional skills. Exceptional skills would develop in autistics exposed to life experiences adapted to their cognitive style. The findings of this dissertation combined with current literature on intelligence and learning lead us to reflect on assessment and intervention approaches most adapted to autistics' specific cognitive style.

Keywords: autism, intelligence, enhanced perceptual functioning, audition, vision, perception, special skills, talents, peaks of abilities, strengths, plasticity, and expertise.

Table des Matières

Résumé.....	ii
Abstract.....	iv
Liste des tableaux et figures.....	ix
Liste des sigles et abréviations.....	xi
Remerciements.....	xiii
CHAPITRE 1: CONTEXTE THÉORIQUE	
1. La perception sensorielle	
1.1 Fonctionnement et organisation corticale des systèmes perceptifs.....	2
1.1.1 Le système auditif.....	5
1.1.2 Le système visuel.....	6
1.2 Le mécanisme d'inhibition latérale.....	6
1.3 Niveaux de traitement des processus perceptifs.....	7
2. L'Intelligence	
2.1 Modèles théoriques de l'intelligence.....	10
2.2 Mesures d'intelligence.....	13
2.3 Relations entre intelligence et perception	
2.3.1 Intelligence et discrimination sensorielle.....	15
2.3.2 Intelligence et vitesse de traitement.....	16
2.3.3 Intelligence et inhibition sensorielle.....	16
2.4 Rôle de la génétique et de l'environnement dans l'intelligence et la perception.....	17
3. L'autisme	
3.1 Classification, description et prévalence.....	19
3.2 L'intelligence autistique.....	21
3.3 Terminologie et effet de l'appariement.....	24
3.4 Habiletés exceptionnelles dans l'autisme	

3.4.1 Talents.....	25
3.4.2 Forces perceptives de bas niveau et de niveau intermédiaire.....	26
3.5 Relation entre habiletés exceptionnelles.....	31
3.6 Modèles théoriques	
3.6.1 Modèle de surfonctionnements perceptifs.....	33
3.6.2 Modèle de la faible cohérence centrale.....	34
4. Objectifs et hypothèses de recherche.....	35
4.1 Étude 1.....	36
4.2 Étude 2.....	37
CHAPITRE 2: ARTICLES DE LA THÈSE	
Article 1: <i>Autism-Specific Covariation of Perceptual Performances: “g” or “p” Factor?</i>	40
Article 2: <i>Prevalence of Clinically and Empirically Talents and Strengths in Autism</i>	75
CHAPITRE 3: DISCUSSION GÉNÉRALE	
1. Résumé des objectifs de recherche et des hypothèses.....	109
2. Synthèse des résultats	
2.1. Étude 1 : Relation entre atypies perceptives à travers les modalités.....	110
2.2. Étude 2 : Prévalence, variables de prédisposition et cooccurrence des habiletés exceptionnelles.....	114
2.3. Comparaison des résultats des deux études.....	117
3. Contributions théoriques	
3.1. Introduction du facteur « p » au modèle d’intelligence autistique.....	121
3.2. Hypothèses sur l’origine du facteur « p ».....	123
3.3. Manifestation du facteur « p » dans les systèmes de fonctionnement cérébral global.....	128
3.4. Hypothèses sur l’origine des habiletés exceptionnelles dans l’autisme.....	131
4. Implications cliniques.....	135
5. Limites et perspectives futures.....	141
CONCLUSION.....	143

BIBLIOGRAPHIE.....144

ANNEXES

Annexe I : Liste des facteurs généraux de la théorie d'intelligence CHC.....i

Annexe II : Discrimination de fréquence spatiale.....iii

Annexe III : Forces perceptives absolues et relatives aux MPR.....ix

Annexe IV : Discrimination de hauteurs sonores dans le sous-groupe de musiciens.....x

Annexe V : Relation entre signes cliniques et fonctionnements perceptifs.....xii

Liste des tableaux et figures

Introduction

Figure 1: Illustration du cheminement cortical de l'information auditive et visuelle.....	3
Figure 2: Modèle à trois niveaux de Carroll.....	12

Article 1: Autism-Specific Covariation of Perceptual Performances: « g » or « p » Factor?

Tableau 1: Descriptive statistics.....	50
Tableau 2: Between-group differences in mean task performance controlling for intelligence....	57
Tableau 3: Mean performances on tasks for each group.....	58
Tableau 4: Between-group differences in residual covariations between task performances.....	59
Tableau S1: Number of participants excluded.....	66
Figure 1: Illustration of the theoretical models that fit a pattern of covariation between tasks....	46
Figure 2: Schematic representation of the study's factorial design and presentation of the experimental stimuli and tasks.....	47
Figure S1. Task performance - intelligence relationships: groups differences.....	67

Article 2: Prevalence of Clinically and Empirically Defined Talents and Strengths in Autism

Tableau 1: Group studies investigating numerous talents and strengths in ASD.....	80
Tableau 2: Descriptive characteristics of participants.....	85
Tableau 3: Descriptive characteristics of participants with and without outstanding skills.....	88
Figure 1: An example of two models of the block design task for the minimum and maximum perceptual cohesiveness levels.....	84
Figure 2: Graph showing the percentage of our sample with and without reported talents, or "Special Isolated Skills".....	89
Figure 3: Performance level on experimental tasks and on the two intelligence measures.....	90
Figure 4: Graph showing the percentage of our sample with and without strengths, or "Perceptual Peaks".....	92

Discussion Générale

Tableau 1 : Taux de cooccurrence entre les talents.....	115
Figure 1 : Illustration générique d'inégalité des pentes de régression entre les groupes.....	111
Figure 2 : Illustration du modèle théorique correspondant au profil de covariations entre les tâches.....	122
Figure 3 : Modèle hypothétique sur l'origine du facteur « p » et de son rôle dans l'intelligence et le développement de forces perceptives et de talents dans l'autisme.	124

Liste des sigles et abréviations

ADI-R: *Autism Diagnostic Interview- Revised*

ADOS-G: *Autistic Diagnostic Observation Schedule-Generic*

ASD: *Autism spectrum disorders*

BA : *Brodman Area/ Région de Brodmann*

BD: *Block Design/Dessin avec blocs*

DSM: Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux

EPF: *Enhanced Perceptual Functioning model/Modèle de surfonctionnement perceptif*

FSIQ: *Full Scale IQ/QI global*

IRM: Imagerie par résonance magnétique

IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

LC: Luminance-contraste

MEG: *Magnétoencéphalographie/ Magnetoencephalography*

MPR : *Matrices Progressive de Raven/ : Raven Progressive Matrices (RPM)*

MRI: *Magnetic resonance imaging*

PC: *Perceptual cohesiveness/Cohésion perceptive*

PP: *Perceptual Peaks*

QIG: Quotient intellectuel global

SF: *Spatial frequency / Fréquence spatiale*

SIS: *Special Isolated Skills*

SLDR: *Spearman's Law of Diminishing Returns/Loi des rendements décroissants de Spearman*

TD: *Typically developing/Développement typique*

TSA: Trouble du spectre autistique

WCC : *Weak Central Coherence model/ Model de la faible cohérence centrale*

à ma mère,

REMERCIEMENTS

Comme pour tout cheminement doctoral, ces dernières années ont été marquées de nombreux moments d'enthousiasme et de joie, mais également de périodes de doute et de découragement. L'accomplissement de ce travail n'aurait pas été possible sans la précieuse contribution de nombreuses personnes que je veux remercier ici.

Je tiens premièrement à exprimer ma plus vive reconnaissance à *mon directeur de recherche*, Dr Laurent Mottron, sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Dr. Mottron. J'aimerais vous exprimer ma plus grande gratitude pour votre confiance, vos multiples conseils et pour toutes les heures que vous avez consacrées à diriger cette recherche. Je vous remercie également de m'avoir partagé votre passion pour la recherche et la clinique qui m'a aidé à réfléchir différemment sur ce qu'est l'autisme. Même s'ils semblaient parfois douteux pour certains, j'ai également bien apprécié vos goûts culinaires variés et uniques. Je vous remercie pour cette opportunité de faire partie d'une équipe exceptionnelle. Ce fut un véritable plaisir de travailler sous votre supervision.

À *mes parents*, un merci tout spécial pour votre amour et soutien inconditionnel, votre confiance et pour les opportunités de vie qui m'ont permis de poursuivre et accomplir de merveilleux projets, dont ce doctorat. Je vous aime plus que tout!

Maman. Tu es pour moi un modèle personnel et professionnel. Merci d'avoir partagé avec moi ta passion pour la neuropsychologie et de m'avoir offert l'opportunité d'apprendre d'une des meilleures neuropsychologues que je connaisse. Merci maman xxx

Papa. Merci de m'avoir transmis l'importance de la discipline et du « hard work ». Ces habiletés m'ont été utiles, voire essentielles, dans l'accomplissement de ce doctorat. Il ne faut surtout pas oublier nos petits moments Facetime avec Wang Xing, qui m'encourageaient à compléter mon doctorat pour pouvoir te voir plus rapidement. Merci papa xxx

To my friends, thank you to everyone close and far [... like, all the way in Africa ;) ...] who have shared with me the ups and downs of this journey. Un gros merci à vous tous de m'avoir accompagné dans cette aventure avec moi. A unique *Thank You* goes out to my #1 Cheerleaders:

Marie-Christine. Thanks for being the bestest lil' sister, but also a role model for enjoying every moment of life. Thank you for encouraging me to take risks and push myself beyond my goals. Un merci aussi au meilleur beau-frère, Claude, our never-ending debate on the nature of intelligence while enjoying your special drink concoctions has incited me to always think beyond the limits of mainstream science ;) Merci à vous deux xxx

Robin. Thanks for always being by my side over the years. Your innate business sense and drive to succeed is admirable. Thank you for encouraging me to listen to my gut feeling and confiding your trust in me as a young professional. I'm excited and happy to share this next phase of my life and career with you. Thank you Robin xxx

Christina. Best roommate ever! Thank you for your constant words of encouragements and picking me up during harder times. Thank you for your remarkable generosity, random BuzzFeed emails and the perfect G&Ts. Our Friday night BBQ and Sundays with the kiddos were faultless in keeping me grounded when the PhD got wild. Thanks Chris xxx

À mon équipe de recherche et à mes collaborateurs,

Les Mottronettes. Ces dernières années n'auraient pas été les mêmes sans les mémorables lunchs thématiques, moments de fou rire, party de bonne bouffe, et voyages de conférences, qu'on a pu partagé au fil des ans. Fabienne, Élise, Patricia, Isabelle, Claudine, Valérie et compagnie, merci pour vos « pep talks », votre compréhension et vos précieux conseils. Pat, quel plaisir de travailler ensemble sur l'article et sur la construction du meilleur tableau, ever ;) ! Chloé, assistante de recherche cool, « trendy », et efficace, merci! Jess, OMG, clinique-recherche, Montréal-Hamilton [... Dr. B ;) ...], et maintenant un doctorat! Merci xxx

Claude. Ce fut un plaisir de travailler avec toi. Merci de m'avoir encouragé à me surpasser dans mes connaissances statistiques. Merci pour ta rigueur. Mon travail avec toi fut une expérience stimulante!

Armando. Collaborator and role model in mastering the art of stress management in the research world ;) Your wealth of knowledge alongside your great sense of humour has made my research experience that much more fun over the years.

Merci à tous!

CHAPITRE 1 : CONTEXTE THÉORIQUE

1. La perception

La perception sensorielle est un processus important de la cognition qui permet au cerveau de recueillir, par les sens, différentes stimulations provenant de l'environnement. Au sein de chaque système perceptif, un ensemble d'étapes permet de décoder, analyser et interpréter un « input » sensoriel afin de progresser d'une simple détection (ex. contrastes visuels, ligne d'une orientation) à une interprétation plus complète permettant d'acquérir une représentation mentale d'un stimulus (ex. la forme d'un carré) et l'identification de celui-ci à l'aide d'une étiquette verbale (ex. « carré »). La perception ne se limite toutefois pas à la simple réception de l'information. Elle serait aussi influencée et modulée par des processus attentionnels, ainsi que par les connaissances et les attentes acquises lors d'expériences préalables. La perception est à la base de plusieurs processus cognitifs plus complexes qui permettent d'acquérir des connaissances, de former des souvenirs et de raisonner afin de prendre des décisions pour résoudre des problèmes de la vie quotidienne.

1.1. Fonctionnement et organisation corticale des systèmes perceptifs

Les processus perceptifs pour l'ensemble des modalités se caractérisent par une organisation hiérarchique dirigée de manière fonctionnelle (Grill-Spector & Malach, 2004). Un processus perceptif commence par la réception de l'« input » sensoriel par les organes sensoriels et la progression du signal le long des voies directes et indirectes des régions sous-corticales vers les cortex primaires avant d'arriver aux régions sensorielles associatives unimodales et multimodales qui intègrent, respectivement, l'information d'un ou plusieurs sens (Figure 1). Notons que cette conception générale d'un système perceptif composé d'une organisation fonctionnelle linéaire et hiérarchique est adéquate, mais qu'elle représente une simplification du système réel. En fait, de nombreuses connexions efférentes modulent le traitement de l'information en amont par des processus de rétroaction, qui varient selon les demandes attentionnelles de la tâche effectuée (Gilbert & Sigman, 2007; O'Connor, Fukui, Pinsk, & Kastner, 2002; Watanabe et al., 1998).

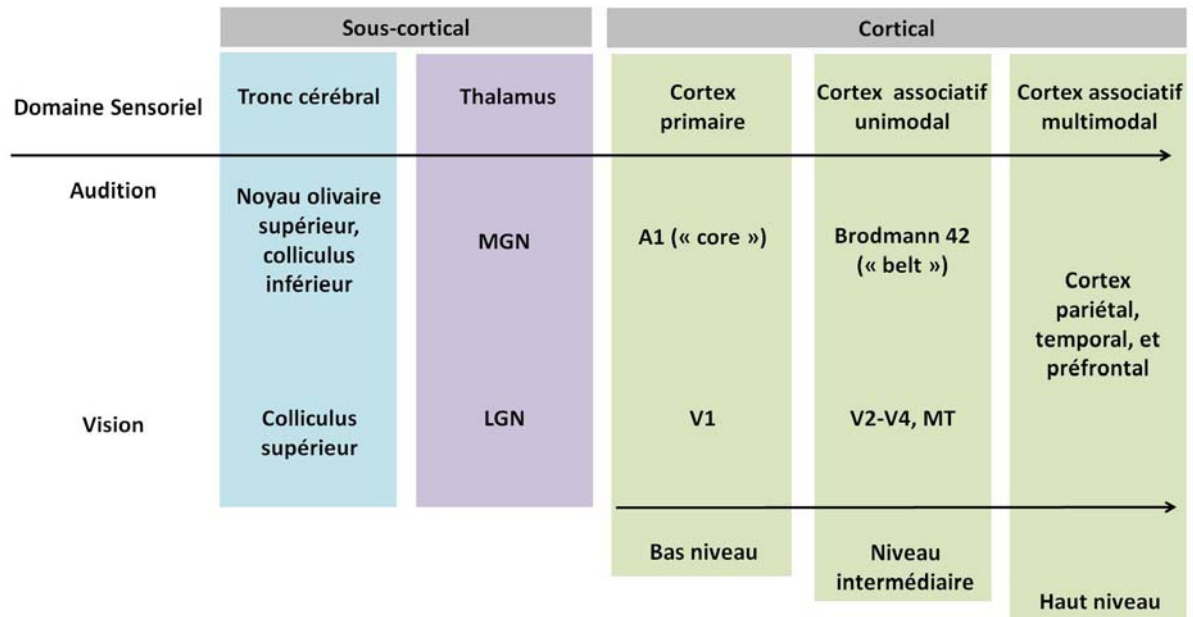


Figure 1. Illustration simplifiée du cheminement cortical de l'information auditive et visuelle.

Au niveau périphérique, les stimuli physiques parviennent aux organes sensoriels avant d'être transformés en signaux électriques véhiculés par les nerfs sensoriels. L'influx nerveux est alors acheminé au cortex sensoriel primaire par des relais sous-corticaux qui incluent le thalamus. Le thalamus gère l'information pouvant se rendre au cortex en empêchant ou en augmentant le passage d'une information spécifique. En raison des connexions qu'il entretient avec plusieurs régions du cerveau, le thalamus joue également un rôle important pour d'autres fonctions cognitives telles que l'attention et la mémoire.

Le cortex primaire est constitué de neurones sensibles aux propriétés psychophysiques élémentaires des stimuli sensoriels. Il est ainsi composé de champs récepteurs restreints et spécifiques qui répondent de manière préférentielle à des caractéristiques élémentaires telles que la fréquence ou la position d'une stimulation dans le champ visuel. Les systèmes visuel et auditif présentent une organisation topographique qui se définit comme une représentation cartographique similaire entre les organes périphériques et le cortex primaire. Avec la progression du traitement, l'analyse corticale intègre une quantité croissante d'information de sorte qu'il y a de moins en moins de relations ou de correspondances topographiques. La rétinitopie désigne l'organisation spatiale des réponses neuronales spécifiques au domaine visuel. Elle est maintenue du décodage de la stimulation visuelle par la rétine de l'œil, jusqu'à

l'analyse plus complète du signal par le cortex visuel primaire (V1, aire striée). Par exemple, il existe dans le cortex visuel une correspondance entre la disposition des éléments du champ visuel qui arrivent sur la rétine et leur disposition à la surface des aires cérébrales primaires. La tonotopie, quant à elle, est l'équivalent de la rétinotopie pour le système auditif. Elle correspond au même type d'organisation spatiale, de la membrane basilaire de la cochlée au cortex auditif primaire (A1, gyrus de Heschl) (Kandel, Schwartz, & Jessell, 2000).

Au-delà des aires primaires, l'information progresse vers les régions sensorielles dites secondaires ou associatives. À l'aide de neurones comportant des champs récepteurs plus grands, ces régions ont comme fonction principale l'intégration des attributs décodés et l'assemblage des propriétés élémentaires pour en extraire les propriétés globales des stimuli. Aussi bien pour la modalité visuelle que la modalité auditive, l'analyse perceptive se divise en deux voies de traitement avec des fonctions distinctes : la voie du « quoi » et la voie du « où » (Belin & Zatorre, 2000). La voie du « quoi » est responsable de la catégorisation des stimuli. En audition, ceci comprend l'identification des hauteurs sonores et des phonèmes, alors qu'en vision, cette voie permet l'identification des couleurs et des formes. Fait intéressant, on retrouve dans les systèmes perceptifs visuel et auditif des régions cérébrales spécialisées qui répondent de manière préférentielle à un type d'information. Par exemple, le gyrus fusiforme serait associé au traitement des visages (Kanwisher & Yovel, 2006) ou au traitement de stimuli visuels faisant l'objet d'une expertise spécifique (ex., perception des oiseaux chez un ornithologue) (Gauthier, Skudlarski, Gore, & Anderson, 2000). Quant à la voie du « où », elle est impliquée dans la localisation spatiale des stimuli et son activité est modulée par la complexité de l'information. Ces deux voies sont très interconnectées et présentent un chevauchement fonctionnel permettant une perception unique de notre environnement.

Enfin, l'information perceptive est véhiculée des régions strictement définies comme étant perceptives vers des régions associatives multimodales qui permettent la conjugaison des informations sensorielles et des représentations en mémoire acquises préalablement. Il existe des connexions entre les régions perceptives et les régions qui sous-tendent des fonctions de plus haut niveau telles le cortex frontal (ex. planification, jugement, langage), le cortex pariétal

(ex. localisation visuospatiale, langage, attention) et certaines régions du système limbique comme l'amygdale (ex. traitement des émotions) et l'hippocampe (ex. processus mnésiques).

Les systèmes perceptifs détiennent donc une organisation fonctionnelle hiérarchique au sein de laquelle le traitement des stimuli les plus simples n'implique que les régions sensorielles primaires (Grill-Spector & Malach, 2004; Loffler, 2008; Wessinger et al., 2001; Zatorre, 2001). Avec la progression du signal vers les aires sensorielles associatives, on retrouve une augmentation de la sensibilité de la réponse associée aux propriétés complexes et une spécialisation des régions corticales. Le traitement sensoriel présente donc une organisation caractérisée par des connexions directes (« feedforward ») entre différents niveaux de traitement, mais également des connexions de rétroaction (« feedback ») entre les régions fonctionnelles (Felleman & Van Essen, 1991; Gueguin, Le Bouquin-Jeannes, Faucon, Chauvel, & Liegeois-Chauvel, 2007; Hackett et al., 2014). Les connexions de rétroaction contrôlent et modulent les qualités de l'information analysée en amont afin de préciser le signal pour la suite du traitement qui est effectué par les processus de plus haut niveau.

1.1.1. Le système auditif

Avant d'arriver au système nerveux central, les organes auditifs périphériques effectuent la décomposition des caractéristiques temporelles/spectrales du son en une série de décharges neuronales spécifiques. Le son est caractérisé par une fréquence spectrale (c.-à-d., perception de hauteur sonore), par une fréquence temporelle (c.-à-d., perception de modulation) et par un niveau d'intensité (c.-à-d., perception du volume). Afin qu'un son soit perçu par l'humain, il doit être composé de fréquences spectrales entre 12 et 20 000 Hz (Olson, 1967; Rosen & Howell, 2011). Le niveau de sensibilité maximale d'environ 1000 Hz (700 à 2000 Hz) correspond à la zone de fréquence optimale pour la compréhension du langage (Moore, 2003). Le cortex auditif est séparé grossièrement en trois différentes régions fonctionnelles : le « core », le « belt » et le « parabelt ». Le « core » correspond au cortex auditif primaire (A1 ou BA 41) localisé au niveau du gyrus transverse de Heschl dans le lobe temporal. La représentation tonotopique des hautes et des basses fréquences se situe dans la région médiale et latérale du gyrus de Heschl, respectivement. Le cortex auditif primaire est dévoué principalement au traitement de sons purs, simples ou dits de premier ordre. Le « belt » et le « parabelt » correspondent à des régions

corticales associatives ou secondaires (BA 22, 42) qui sont sensibles aux sons avec une structure spectrotemporelle plus complexe dite de deuxième ordre (ex. stimuli vocaux) (Moore, 2003).

1.1.2. Le système visuel

Lors d'une stimulation visuelle, l'influx nerveux provenant du stimulus externe est capté par la rétine, puis traverse le nerf optique avant d'arriver aux régions sous corticales dont le corps genouillé latéral du thalamus. Le corps genouillé latéral intègre l'information provenant des deux yeux. L'information visuelle progresse ainsi des régions sous corticales vers le cortex visuel primaire (c.-à-d., V1 ou cortex strié) le long de deux voies structurellement et fonctionnellement distinctes. La première voie est la voie ventrale inféro-temporale, caractérisée par une majorité de projections provenant des cellules parvocellulaires et responsable de la vision détaillée (la voie du « quoi »). Les cellules de la voie ventrale traitent préférentiellement les variations de couleur et de fréquences spatiales permettant le décodage des angles, des jonctions et de l'orientation (Hubel & Wiesel, 1962) afin d'identifier des formes stationnaires et des patrons visuels. La deuxième voie est la voie dorsale pariétale qui est composée majoritairement de fibres afférentes des cellules magnocellulaires. Elle se spécialise dans l'analyse des aspects spatiaux et temporels de l'information visuelle (ex. mouvement, profondeur) afin de localiser le stimulus dans l'environnement (la voie du « où »). À travers son cheminement, l'information atteint les régions visuelles associatives (c.-à-d., non-primaires ou aires extrastriées) spécifiques à chaque voie (ex., V2-V4 pour la voie ventrale ; MT pour la voie dorsale) qui, à l'aide de champs récepteurs plus larges, participent à l'intégration d'une quantité croissante d'informations recueillies lors des premières étapes de la perception visuelle.

1.2 Le mécanisme d'inhibition latérale

Cette prochaine section présentera un mécanisme spécifique au traitement primaire de l'information sensorielle : le mécanisme d'inhibition latérale. La compréhension de ce mécanisme s'avère importante pour la suite des travaux de la présente thèse qui s'intéresse, entre autres, au traitement perceptif des dimensions psychophysiques simples chez une population clinique. Tel que présenté dans la section précédente sur l'organisation des systèmes perceptifs, le traitement sensoriel se caractérise généralement par des connexions directes et de rétroaction entre les régions fonctionnelles à différents niveaux de traitement. En plus des interactions entre les niveaux (c.-à-d., connexions longues), il existe aussi des interactions directes et de rétroaction au

sein de chaque niveau (c.-à-d., connexions courtes ou latérales). Ces connexions entre les neurones amplifient le signal acheminé aux étapes subséquentes de traitement afin d'augmenter la définition des composantes élémentaires. Le mécanisme d'inhibition latérale est basé sur l'organisation en colonnes du système visuel (Polat, 1999; Yu, Klein, & Levi, 2002) et du système auditif (Houtgast, 1972; Pantev et al., 2004). Il amplifie un signal par la modulation des connexions excitatrices et inhibitrices des neurones environnants. Les connexions rapprochées entre un neurone et ses voisins seraient davantage excitatrices, alors que les connexions distantes avec d'autres neurones plus éloignés seraient principalement inhibitrices. Cette augmentation du signal des neurones cibles (connexions excitatrices) combinée à la diminution du signal des neurones adjacents (connexions inhibitrices) (c.-à-d, diminution du bruit) permet de raffiner le réglage de chaque colonne de cellules qui répond préférentiellement aux caractéristiques élémentaires d'un stimulus. Ainsi, la détection des dimensions perceptives simples (ex., contraste, fréquences spatiales et sonores) rendue possible par les réponses sélectives des neurones du cortex primaire dépendrait de l'efficacité des connexions inhibitrices latérales entre les colonnes corticales (Oswald, Schiff, & Reyes, 2006).

1.3 Niveaux de traitement des processus perceptifs

Les processus perceptifs peuvent être divisés globalement en trois niveaux de traitement, notamment le *bas niveau* (« low-level »), le *niveau intermédiaire* (« mid-level ») et le *haut niveau* (« high-level ») (Figure 1). De la même manière, différents types d'information peuvent être classifiés sous cette terminologie selon le niveau de traitement cortical qu'ils requièrent. De manière générale, la division des processus perceptifs allant de bas niveau à haut niveau correspond grossièrement aux étapes de traitement allant des régions primaires aux régions associatives. Cependant, il est important de noter que cette division représente une catégorisation globale des étapes que comportent les processus perceptifs. En réalité, la relation entre différents niveaux de traitement est non-linéaire et complexe. Ainsi, les limites de chaque niveau sont floues et peuvent varier d'une étude à l'autre. Néanmoins, cette nomenclature en trois niveaux de traitement permet de simplifier la compréhension d'un système complexe. Elle sera ainsi utilisée tout au long de cette thèse.

Les processus dits de « bas niveau » impliquent l'analyse initiale de l'information dès l'entrée corticale. Lors du traitement de « bas niveau », les régions primaires du cerveau extraient les dimensions psychophysiques simples de l'information perceptive. Par exemple, le traitement de « bas niveau » permet la détection de fréquences sonores simples d'une mélodie (modalité auditive) ou l'orientation de traits visuels qui composent une image (modalité visuelle).

Dans un deuxième temps, le traitement de « niveau intermédiaire » est défini comme l'analyse plus avancée de l'information impliquant des régions corticales voisines, dites associatives. Il permet l'assemblage et l'organisation des caractéristiques psychophysiques de base afin, par exemple, de détecter le contour d'une mélodie simple (modalité auditive) ou de distinguer une forme visuelle de l'arrière-plan (modalité visuelle). Lors d'une tâche perceptive de « niveau intermédiaire », l'information peut être analysée selon une stratégie « locale » ou « globale ». L'utilisation d'une stratégie dite « locale » permet de décomposer un stimulus afin d'analyser ses composantes indépendamment l'une de l'autre. À l'inverse, lors de l'utilisation d'une stratégie « globale », le stimulus est perçu dans son ensemble, comme un tout. Selon l'hypothèse de la priorité de la perception globale (traduite de « global-precedence hypothesis ») (Navon, 1977), l'expérience perceptive d'une personne se caractériserait dans un premier temps par une priorité du traitement global de l'information lorsque les stimuli sont composés d'éléments avec une grande similarité et proximité. Le niveau de congruence entre les composantes locales qui forment un percept détermine le niveau de « cohésion perceptive ». Ainsi, lorsque les éléments qui forment le percept sont congruents, par exemple avec une grande similarité, la cohésion perceptive est décrite comme élevée et l'attention est dirigée vers l'aspect global du stimulus. Ceci permet de détecter rapidement les objets et les « patterns » (modalité visuelle) ou encore de percevoir une mélodie dans son ensemble plutôt que comme une série de notes isolées (modalité auditive). Dans les contextes de cohésion perceptive élevée, l'attention peut aussi être dirigée vers les éléments individuels (c.-à-d., les détails) qui composent un groupe d'information. Toutefois, cette attention spécifique vers les détails surviendrait nécessairement après le traitement global de l'information et se produirait de manière intentionnelle en fonction des demandes de la tâche. En effet, la détection des éléments locaux est plus lente que la détection des éléments globaux lorsque les éléments qui composent le stimulus sont congruents

(Fink et al., 1996). À l'inverse, la perception locale serait plus rapide que la perception globale lorsque la cohésion perceptive est moindre.

Enfin, le traitement de « haut niveau » requiert la participation de réseaux neuronaux sophistiqués qui impliquent les régions corticales plus antérieures du cerveau. Ces processus sont impliqués dans la résolution de tâches plus complexes faisant appel, entre autres, aux capacités de catégorisation et de raisonnement abstrait.

2. L'intelligence

Le concept d'intelligence, en tant que caractéristique commune aux êtres humains, a été grandement étudié par plusieurs philosophes, psychologues et scientifiques au cours de l'histoire. La présence de différences interindividuelles dans les niveaux d'intelligence est un résultat robuste et peu questionné dans la littérature. Toutefois, la nature de l'intelligence et l'identification de composantes communes à la cognition humaine demeurent des domaines de recherche considérablement actifs à ce jour.

Charles Spearman (1904), un pionnier dans l'étude de l'intelligence, propose que toutes performances cognitives, incluant celles mesurées par des tests très différents, soient positivement corrélées entre elles (c.-à-d., « positive manifold »). Cette association, démontrée à l'aide de modèles d'analyse factorielle, suggère la présence d'une unité conceptuelle qu'il nomme *l'intelligence générale* ou *le facteur « g »*. Cet ensemble de corrélations positives entre divers tests en lien avec ce facteur d'intelligence générale représente un des résultats les plus répliqués en psychologie (Carroll, 1993; Deary, 2000). Le facteur « g » serait situé au niveau le plus inclusif (ou global) de la hiérarchie des habiletés mentales et il est généralement caractérisé comme un trait mental relativement stable au cours de la vie (Gottfredson, 2003). La prochaine section souligne les avancements les plus importants de la recherche quant à l'élaboration des modèles théoriques sur la nature de l'intelligence.

2.1. Modèles théoriques de l'intelligence

La théorie de l'intelligence générale de Spearman propose un modèle caractérisé par un facteur unique, le facteur « g », pour expliquer l'intelligence commune à l'espèce humaine. Le concept d'intelligence se retrouve également chez d'autres espèces animales, mais les débats en lien avec ce sujet ne feront pas partie de cette thèse. En dépit du concept de facteur unique, des études en cognition humaine ont démontré que les coefficients de corrélations entre les tests ne sont pas parfaits. Ceci suggère que le facteur « g » expliquerait seulement une partie de la relation entre les tests, mais non la totalité. Par exemple, le facteur « g » expliquerait environ la moitié de la variance dans les tâches de perception. Ainsi, Spearman propose une théorie alternative à deux facteurs. Celle-ci explique la partie de la variance non attribuable au facteur

« g » par la contribution unique d'un autre facteur qui serait spécifique à chaque test. Par exemple, dans un test de vocabulaire, une partie de la variance serait attribuable au facteur « g », alors que le reste de la variance serait plutôt associé à une composante propre au test, telle que la capacité à définir des mots de manière précise. À l'aide d'analyses factorielles, il fut démontré que certains tests seraient de meilleures mesures de l'intelligence générale. Ces tests démontrent une plus importante « saturation » de la performance sur le facteur « g » (« factor loading »), c.-à-d., des corrélations élevées entre différents tests avec moins d'effet spécifique à chaque test.

À l'inverse du modèle théorique de facteur unique de Spearman, d'autres chercheurs ont proposé la présence de différentes intelligences au sein d'un même individu. Thurstone (1938) propose un modèle composé de sept (7) habiletés mentales primaires pouvant être évaluées de manière distincte en tant qu'habiletés cognitives indépendantes. Celles-ci comprennent les habiletés de compréhension verbale, fluidité verbale, traitement des nombres, traitement des relations spatiales, mémoire associative, vitesse de traitement perceptif et raisonnement abstrait. D'après Thurstone, un facteur général serait retrouvé au niveau statistique pour tout regroupement de tests positivement corrélés entre eux. Toutefois, la nature d'un tel facteur pourrait différer selon le regroupement de tests utilisés. Ainsi, selon Thurstone et contrairement à ce que propose Spearman, un facteur général d'intelligence n'impliquerait pas nécessairement un seul et unique processus psychologique ou biologique.

La combinaison des résultats collectés par Spearman et Thurstone sur de larges groupes populationnels suggère que l'intelligence serait multidimensionnelle et donc mieux expliquée par un modèle hiérarchique composé d'un facteur général unique accompagné de facteurs de « groupe » subsidiaires. Le modèle de Cattell-Horn-Carroll (ou CHC) serait parmi les modèles théoriques de l'intelligence les plus acceptés de la littérature. Ce modèle s'inspire des construits de base de la théorie d'intelligence fluide (Gf) et cristallisée (Gc) de Cattell-Horn et de l'organisation hiérarchique de la théorie à trois niveaux (« Three-stratum ») de Carroll (Figure 2). Dans le modèle de Carroll (1993), chaque niveau (ou « stratum ») explique une partie de la variabilité des corrélations entre les éléments du niveau précédent. Le premier niveau (stratum I) comprend les nombreuses habiletés spécifiques évaluées par chaque test. Celles-ci sont

desservies par des habiletés plus générales du deuxième niveau (stratum II) qui se catégorisent en huit (8) facteurs (G_x). Chaque facteur du deuxième niveau représente un construit différent de la cognition humaine (ex., vitesse de traitement, intelligence fluide, mémoire). Le troisième niveau (stratum III) du modèle de Carroll est le plus inclusif. Il englobe l'ensemble des habiletés et explique la corrélation entre les facteurs des deux autres niveaux à l'aide du facteur unique d'intelligence générale, « g », identifié par Spearman.

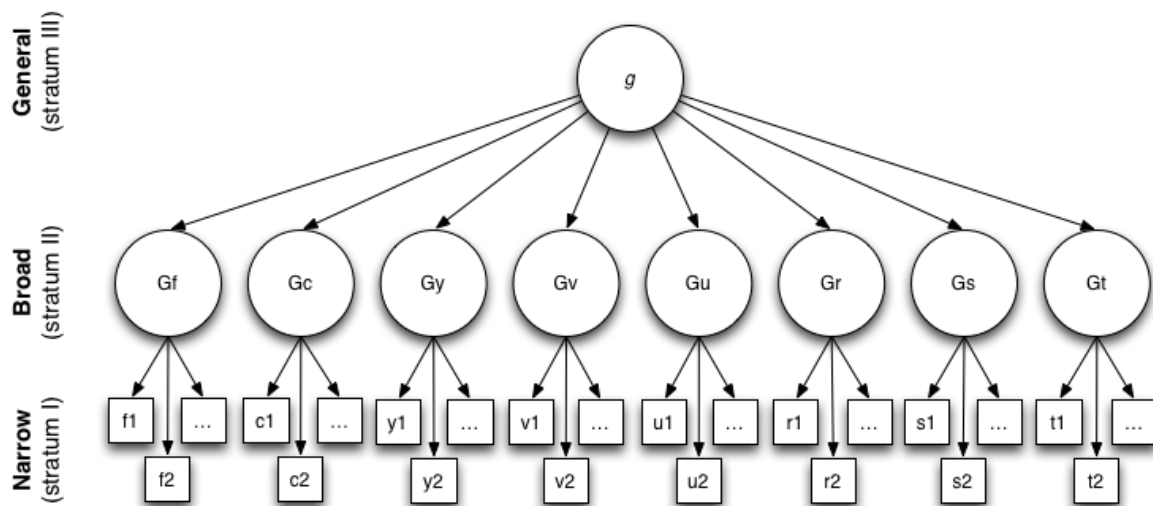


Figure 2. Modèle à trois niveaux de Carroll. g : facteur d'intelligence générale; Gf : intelligence fluide; Gc : intelligence cristallisée; Gy : mémoire générale et apprentissage; Gv : perception visuelle générale; Gu : perception auditive générale; Gr : habileté de récupération générale; Gs : vitesse cognitive générale; Gt : temps de réaction/de décision. Le modèle CHC ajoute : Gq : connaissances quantitatives et Grw : habileté de compréhension et expression de lecture et écriture. Reproduit avec permission.

Parmi les facteurs généraux du modèle CHC, cette thèse s'intéresse particulièrement au facteur d'intelligence fluide, ou Gf (une liste des facteurs généraux, traduite de McGrew et al. 2009, est disponible dans l'annexe I). D'après Spearman, l'intelligence générale serait étroitement reliée aux capacités de raisonnement fluide, soit l'habileté à penser de manière flexible au-delà des termes concrets afin d'identifier des relations entre des objets, des idées ou des concepts, dans le but de tirer des conclusions et d'émettre des inférences permettant de

résoudre des problèmes. D'ailleurs, le facteur Gf a été démontré comme étant le facteur le plus hautement corrélé avec l'intelligence générale ($r=0.77 - 0.88$) comparativement aux autres facteurs de deuxième niveau du modèle CHC (McGrew, 2009). Les habiletés d'apprentissage par association, la mémoire de travail et la vitesse de traitement cognitif seraient toutes sollicitées par le raisonnement fluide, tel que mesuré par les Matrices Progressives de Raven (MPR) (Kaufman, DeYoung, Gray, Brown, & Mackintosh, 2009; Williams & Pearlberg, 2006). Cependant, le facteur Gf, à lui seul, ne serait pas suffisant pour expliquer le facteur « g » dans son ensemble.

Un autre principe important de l'intelligence est la loi des rendements décroissants de Spearman, traduite de « Spearman's Law of Diminishing Returns ». Cette loi propose que la force de la corrélation entre les tests cognitifs et le facteur « g » soit plus importante chez les individus avec une déficience intellectuelle que chez ceux avec une intelligence dans les limites de la normale. Notamment, des études ont démontré qu'avec l'augmentation des rendements intellectuels, les niveaux de performance aux construits du deuxième niveau deviennent de plus en plus différenciés, c.-à-d. de moins en moins corrélés entre eux. Ce résultat a été répliqué à travers de nombreuses études (Detterman & Daniel, 1989; Legree, Pifer, & Grafton, 1996; Lynn, 1992; Reynolds & Keith, 2007).

2.2 Mesures d'intelligence

L'échelle d'intelligence de Wechsler fut développée par David Wechsler afin d'obtenir une mesure valide d'intelligence dans la population adulte. Cette échelle, tout comme la première échelle d'intelligence développée par Alfred Binet, ne mesure pas la *quantité* d'intelligence, mais permet plutôt de situer la performance d'une personne par rapport à celle des pairs du même âge. Le concept de quotient d'intelligence (QI), introduit dans le test d'intelligence Stanford-Binet, est défini comme le rapport entre l'âge mental et l'âge chronologique selon la formule (âge mental/âge chronologique) x 100. Comme le modèle CHC, l'échelle de Wechsler se base sur le principe d'une intelligence multidimensionnelle composée de plusieurs construits. La structure de l'échelle correspond à l'organisation à trois niveaux du modèle de CHC (Wechsler, 2005; Wechsler, 2008). Le niveau standardisé de performance générale, nommé QI global (QIG), correspond au troisième niveau du modèle CHC, ou le facteur « g ». Les différents indices composant le QIG reflètent des construits du second niveau du modèle CHC. Ceux-ci incluent

l'indice de compréhension verbale (ICV) (correspondant à Gc et Gq), l'indice de raisonnement perceptif (IRP) (correspondant à Gf et Gv), l'indice de mémoire de travail (IMT) (correspondant à Gsm) et l'indice de vitesse de traitement (IVT) (correspondant à Gs).

Compte tenu de l'importance attribuée aux capacités de raisonnement dans l'intelligence générale, d'autres chercheurs en psychologie se sont intéressés au développement d'une mesure spécifique du facteur de raisonnement fluide plutôt qu'à une batterie de tests évaluant le rendement général basé sur différents construits cognitifs. John C. Raven développa ainsi le « Raven's Standard Progressive Matrices Test » (1938), traduit en français comme les Matrices de Raven (MPR). Ce test non verbal est composé de 60 items à choix multiples présentés visuellement. Les items sont regroupés en 5 séries (A à E) de 12 items chacune. Les items sont organisés en ordre croissant de difficulté à l'intérieur de chaque série. Pour chaque item, la personne doit identifier l'élément manquant qui complète un motif visuel, présenté sous forme de matrices (4x4, 3x3 ou 2x2). Il existe trois versions du test : (1) les Matrices progressives standards, (2) les Matrices progressives colorées destinées aux jeunes enfants, aux personnes plus âgées ou celles atteintes de problèmes d'apprentissage et (3) les Matrices progressives avancées, adaptées pour les adolescents et les adultes d'intelligence au-dessus de la moyenne.

L'échelle d'intelligence de Wechsler et les MPR se distinguent par leurs procédures d'administration et leur conceptualisation théorique. Les MPR sont présentées sous forme de choix multiples, nécessitant très peu de consignes orales, tandis que plusieurs tests de l'échelle de Wechsler sollicitent les capacités verbales de compréhension et d'expression. Sur le plan théorique, l'échelle de Wechsler se base sur une théorie multidimensionnelle de l'intelligence afin d'estimer l'intelligence générale à partir de l'évaluation de différentes capacités cognitives. En revanche, les MPR portent spécifiquement sur l'évaluation de l'intelligence fluide en tant que facteur fortement associé à l'intelligence générale. Malgré ces importantes différences, les niveaux de performance obtenus à chacun des deux tests seraient hautement corrélés dans la population générale. Cette corrélation entre deux tests de formats très différents appuie la théorie de Spearman sur la présence d'un processus d'intelligence générale unique, fondamental et impliqué dans l'ensemble des activités intellectuelles.

Bien que l'échelle d'intelligence de Wechsler soit l'outil de mesure le plus utilisé pour

l'évaluation cognitive, l'utilisation des MPR s'avère plus adaptée pour l'examen de certains groupes tels que les personnes ayant une déficience sensorielle. En effet, des études ont démontré que les enfants ayant une déficience auditive obtiennent des performances dans la moyenne aux MPR, alors qu'ils présentent un rendement au niveau de la déficience intellectuelle à l'échelle verbale Wechsler (Conrad, 1979). Ce résultat souligne l'importance d'utiliser une mesure d'intelligence générale adaptée à la population testée afin d'obtenir une estimation adéquate des capacités intellectuelles globales sans la contamination de facteurs secondaires.

2.3 Relation entre intelligence et perception

2.3.1 Intelligence et discrimination sensorielle

Les premières études sur la relation entre la discrimination sensorielle simple et l'intelligence proposent que le lien étroit entre ces deux concepts s'explique par la présence d'un processus neural commun (Mackintosh, 2011). Dans ses travaux sur l'intelligence, Spearman définit la discrimination sensorielle comme la forme d'opération mentale la plus simple. Il classifie ainsi la cognition humaine en deux entités séparables, mais non indépendantes : la « discrimination sensorielle générale » et « l'intelligence générale ». Cette classification de la perception se distingue du modèle CHC qui inclut les facteurs sensoriels au même niveau hiérarchique que les autres facteurs de deuxième niveau, tous soutenus par l'intelligence générale. La relation étroite entre l'intelligence et les capacités de discrimination sensorielle est un résultat relativement robuste ayant été démontré au sein de différentes modalités, notamment dans les domaines de la perception auditive, visuelle et tactile (Acton & Schroeder, 2001; Deary, 2000; Deary, Bell, Bell, Campbell, & Fazal, 2004; Li, Jordanova, & Lindenberger, 1998; Meyer, Hagmann-von Arx, Lemola, & Grob, 2010; Olsson, Björkman, Haag, & Juslin, 1998; Watson, 1991). Notamment, Acton et collègues (2001) démontrent auprès d'un échantillon d'environ 900 jeunes adultes une relation faible à modérée entre l'intelligence, telle que mesurée par la batterie standard de JOCRF (« Johnson O'Connor Research Foundation »), et la capacité de discrimination de couleurs ($r=0.31$) et de hauteur sonore ($r=0.21$). Ce résultat fait écho à des études antérieures chez des préadolescents de 11 à 13 ans qui démontrent une relation faible à modérée entre l'intelligence, telle que mesurée par les MPR ou le Mill Hill Vocabulary test, et la discrimination de hauteur sonore ($r=0.15 - 0.34$) (Deary, 1994; Deary, Caryl, Egan, & Wight, 1989). Au-delà de ces relations, l'intelligence estimée par le test Cattell Culture Fair, soit une mesure d'intelligence fluide,

partagerait 85 % de sa variance avec un facteur général de discrimination sensorielle dérivé des tests de discrimination de couleurs et d'intensité sonore (Deary et al., 2004). D'autres chercheurs ont aussi démontré une relation modérée ($r = 0.23 - 0.31$) entre l'intelligence générale et les capacités de discrimination tactile (Li et al., 1998). Quant à la relation spécifique entre l'intelligence et la discrimination de poids, les résultats demeurent mixtes, ce qui ne permet pas de tirer de conclusions claires actuellement (Deary, 2000; Meyer et al., 2010).

2.3.2 Intelligence et vitesse de traitement perceptif

La relation entre l'intelligence et la vitesse de traitement, telle que mesurée par des tâches de temps d'inspection, est bien établie dans la littérature (Grudnik & Kranzler, 2001; Olsson et al., 1998). Les personnes de plus haut niveau d'intelligence nécessitent un temps d'exposition plus bref pour percevoir des différences perceptives simples (ex. longueur de lignes, changement d'intensité sonore) entre deux stimuli et ce, tant pour la modalité visuelle qu'auditive (ex. longueur de lignes, changement d'intensité sonore). En modalité auditive, la relation entre le temps d'inspection et l'intelligence ne résulterait pas du lien entre cette variable et la discrimination de hauteur sonore, qui elle corrèle avec l'intelligence. En fait, la relation entre le temps d'inspection en modalité auditive et l'intelligence serait distincte de la relation entre la discrimination de hauteur sonore et l'intelligence. Ceci soutient la théorie de Spearman et le modèle CHC qui considèrent le traitement sensoriel primaire et la vitesse de traitement comme deux composantes distinctes soutenues de manière globale par l'intelligence.

2.3.3 Intelligence et inhibition sensorielle

Il est donc apparent que la vitesse de traitement, tout comme les capacités de discrimination sensorielle, joue un rôle dans l'efficacité du cerveau à traiter une information et expliquerait ainsi une proportion de la variance dans l'intelligence. Toutefois, la vitesse de traitement à elle seule ne peut expliquer l'ensemble de la variance concernant les capacités de traitement de l'information associées à l'intelligence. Pour toute opération, le cerveau doit traiter une grande quantité d'information. Ainsi, son efficacité repose non seulement sur la vitesse de traitement de cette information, mais également sur sa capacité à supprimer l'information non pertinente (Schwartz & Simoncelli, 2001; Vinje & Gallant, 2000). Toutefois, la relation entre l'intelligence et la capacité à inhiber l'information sensorielle non pertinente afin

de maximiser les ressources cognitives fut peu étudiée jusqu'à récemment. Melnick et al. (2013) ont testé l'hypothèse selon laquelle l'efficacité du cerveau à traiter un large débit d'information dépendrait de sa capacité à inhiber des stimuli non pertinents. Une inhibition plus rapide et efficace des stimuli non pertinents maximiserait l'efficacité du traitement de l'information pertinente. Comme prédit, les auteurs démontrent une corrélation élevée entre la capacité de suppression de l'information sensorielle non pertinente, qui inclut la vitesse de traitement et l'efficacité des mécanismes d'inhibition, et l'intelligence telle que mesurée par le QIG de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes (WAIS) ($r = 0.64$ à 0.71) et les autres indices (ICV: $r=0.69$, IRP : $r=0.47$, IMT : $r=0.49$, IVT : $r=0.50$). Selon ces auteurs, le facteur principal expliquant la relation entre intelligence et la perception serait davantage l'efficacité du traitement de l'information au niveau neuronal, plutôt que les capacités de discrimination sensorielle en soi, qui elles détiendraient une relation plus faible avec l'intelligence.

2.4 Rôle de la génétique et de l'environnement sur l'intelligence et la perception

L'influence de la génétique sur l'intelligence générale, ou le facteur « g », irait au-delà de celle retrouvée pour toute autre caractéristique humaine (ex. la grandeur) (Mackintosh, 2011). La complexité des études sur la génétique de l'intelligence s'explique par son origine polygénique qui est en constante interaction avec l'environnement. Cependant, les études s'entendent relativement bien quant au taux d'héritabilité pour une population évaluée dans des environnements dits « ordinaires » au sein de sociétés industrialisées (c.-à-d., accès à l'éducation, nutrition saine, etc.). Le taux d'héritabilité varierait également en fonction de l'âge. Selon Bouchard et al. (2009), il y aurait une augmentation du taux d'héritabilité de l'intelligence générale avec l'âge, allant d'environ 50 % chez les enfants à 80 % chez les adultes plus âgés. Ceci indique qu'au moins 50 à 80 % de la variation du QI peut être attribuable à des facteurs génétiques. En revanche, dans des études de jumeaux monozygotes, l'influence environnementale serait plus importante que l'influence génétique à l'âge de 5 ans, bien qu'elle diminuerait rapidement avec le temps se situant à environ 10 % à 17 ans.

D'après le modèle d'intelligence CHC, le facteur « g » englobe les habiletés perceptives. Il est ainsi juste de prédire que les habiletés perceptives puissent également être sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux. Par conséquent, en plus de la variabilité

interindividuelle liée à la génétique, il serait également important de prendre en considération les aspects environnementaux pouvant affecter le développement du système sensoriel tels que le niveau d'expérience musicale ou l'exposition aux arts pendant l'enfance. Plusieurs études dans le domaine de l'entraînement musical ont démontré un lien entre l'expérience de la musique et les fonctions cognitives. Les personnes ayant reçu un entraînement musical présenteraient un QI plus élevé que celles n'ayant pas suivi de leçons (Schellenberg, 2011). Cependant, les résultats quant au lien de causalité et la direction de la relation entre l'expérience musicale et l'intelligence demeurent mitigés.

3. L'Autisme

3.1 Classification, description et prévalence

L'autisme est une variante neurodéveloppementale faisant partie des « Troubles Envahissants du Développement » (TED) selon la nomenclature du DSM-IV (APA, 1994) ou du « Troubles du Spectre Autistique » (TSA) selon la toute nouvelle nomenclature du DSM-5 (APA, 2013). Les TSA sont caractérisés par une série de signes comportementaux qui se manifestent avant l'âge de trois ans et qui sont divisés en trois domaines : 1) le domaine social, 2) le domaine de la communication, et 3) le domaine des comportements répétitifs et intérêts restreints. Le DSM-5 se distingue du DSM-IV en fusionnant en une seule catégorie les critères sociaux et les critères de la communication, tout en conservant la sphère des comportements répétitifs et intérêts restreints comme une seconde catégorie distincte. Le maintien de cette deuxième catégorie distincte reflète la reconnaissance par la communauté scientifique de l'importance des atypies perceptuelles et des comportements/intérêts stéréotypés et répétitifs dans le phénotype autistique. Cette thèse s'intéressera principalement à l'efficacité de ces processus perceptifs dans la population autiste.

Dans son ensemble, les TSA se caractérisent par une importante variabilité symptomatique, de sorte que l'ensemble des signes cliniques ne se retrouve pas nécessairement chez tous les individus avec la même intensité ou avec le même niveau d'impact fonctionnel (c.-à-d. hétérogénéité du phénotype). Ainsi, le diagnostic se base sur des critères polythétiques plutôt que sur des caractéristiques obligatoires. Dans environ 22 % des cas, il y aurait également un historique de régression développementale avant l'âge de trois ans qui se caractérise principalement par une perte des habiletés verbales (Meilleur & Fombonne, 2009). L'ancienne classification, sous la nomenclature des TED, incluait trois sous-groupes cliniques : l'autisme, le syndrome d'Asperger et les TED non spécifiés. Par ailleurs, dans cette version du DSM, on retrouvait également le syndrome de Rett et le trouble désintégratif de l'enfance qui se distinguent par une étiologie différente des trois premières conditions, ce qui explique leur retrait au sein des TSA dans la plus récente version du DSM. Les travaux de cette thèse s'intéressent tout particulièrement à l'autisme (tel que défini par le DSM-IV) compte tenu des nombreuses études qui suggèrent la présence d'atypies plus marquées des processus perceptifs

non verbaux dans ce groupe, comparativement au syndrome d'Asperger ou aux TED-non spécifiés (Barbeau, Soulieres, Dawson, Zeffiro, & Mottron, 2013; Bonnel et al., 2010; Jones et al., 2009b). D'après les critères du DSM-IV, l'autisme se caractérise par des atypies sur le plan des interactions sociales (ex. ne partage pas spontanément des objets ou son plaisir), de la communication (ex. difficulté à soutenir une conversation réciproque) et des intérêts restreints et comportements répétitifs (ex. préoccupation persistante pour les parties d'objets) (APA, 1994; Lord & Rutter, 1994). En plus de ces symptômes, les personnes autistes démontrent un développement atypique du langage caractérisé par un retard dans l'acquisition des mots/phrases et une fréquence élevée de particularités verbales telles que l'écholalie et l'utilisation de phrases stéréotypées. Bien que les sous-groupes cliniques soient maintenant fusionnés en un seul spectre autistique, le DSM-5 continue de rendre compte de ces particularités développementales en incluant au diagnostic des « spécificateurs ». Ainsi, il faut spécifier si le diagnostic de TSA s'accompagne ou non d'une déficience intellectuelle, d'un déficit du langage, d'une condition médicale, génétique ou environnementale, ainsi que de catatonie. De plus, le nouveau système de catégorisation diagnostique inclut la qualification du niveau de « sévérité » des atteintes comportementales.

En plus des symptômes dans les domaines de la socialisation, de la communication et des comportements répétitifs et intérêts restreints, des études ont démontré des difficultés motrices chez les personnes ayant un TSA. Par ailleurs, ces difficultés motrices seraient plus apparentes chez les sujets présentant un diagnostic de syndrome d'Asperger tel que défini par le DSM-IV (DSM-5 : TSA *sans atypies* dans le développement du langage) que chez les sujets présentant un diagnostic d'autisme selon le DSM-IV (DSM-5 : TSA *avec atypies* dans le développement du langage). Cependant, les autistes manifesteraient également des particularités motrices lorsque comparés à la population générale, bien que celles-ci semblent être de nature différente de celles retrouvées chez dans le syndrome d'Asperger. Les difficultés motrices des autistes seraient associées à des limitations dans la préparation optimale du mouvement (Linkenauger, Lerner, Ramenzoni, & Proffitt, 2012; Mayes & Calhoun, 2007), incluant une pauvre anticipation lors de l'initiation d'une action (Rinehart, Bradshaw, Brereton, & Tonge, 2001). D'après une revue de littérature réalisée par Gowen et Hamilton (2013), les problèmes moteurs des autistes seraient associés à un traitement atypique de l'information perceptive en lien avec des difficultés

d'intégration de l'information sensorimotrice et un ralentissement dans la planification du mouvement. Dans le même ordre d'idées, notre équipe a récemment démontré un ralentissement des mouvements unilatéraux simples associés à une diminution du temps de réaction simple chez les autistes (Barbeau, Meilleur, Zeffiro, & Mottron, accepté) (Chapitre 4, article 3). Ce résultat soutient l'hypothèse selon laquelle les problèmes moteurs dans l'autisme sont associés à la vitesse d'exécution ou d'anticipation plutôt qu'à des problèmes primaires des mécanismes d'organisation motrice (Gowen & Hamilton, 2013; Rinehart et al., 2001).

Bien que l'origine des TSA demeure peu comprise, plusieurs études soulignent le rôle de composantes génétiques (Abrahams & Geschwind, 2008; Ronemus, Iossifov, Levy, & Wigler, 2014), biologiques (Belmonte et al., 2004; Coghlan et al., 2012), environnementales (Currenti, 2010) et développementales dans l'apparition de la condition. L'autisme serait plus commun chez les garçons que chez les filles avec un ratio de 4:1. La prévalence des TSA varie d'une étude à l'autre. Selon une récente étude menée aux États-Unis en 2010 par le « Center for Disease Control and Prevention » (CDC, 2014), deux études de 2010 démontrent une prévalence de 1.47 % (147/10 000). Une étude épidémiologique réalisée par la commission scolaire anglophone de Montréal en 2010 rapporte, quant à elle, une prévalence un peu plus faible, soit une prévalence de 0.79 % (79.1/10 000) pour les TSA et une prévalence de 0.25 % (25.4/10 000) pour l'autisme selon les critères diagnostiques du DSM-IV (Lazoff, Zhong, Piperni, & Fombonne, 2010).

3.2 L'intelligence autistique

Jusqu'à présent, la recherche sur l'intelligence chez les TSA s'est basée sur les connaissances et les modèles établis dans la population typique. Selon une étude épidémiologique de 2010, 31 % des enfants avec un TSA auraient un QI au niveau de la déficience intellectuelle (QI<70), 23 % auraient un QI dans la zone limite (QI=71-85) et 46 % aurait un QI dans la moyenne ou au-dessus de la moyenne (QI>85)(CDC, 2014). Étant donné que les travaux de cette thèse portent spécifiquement sur l'autisme selon les critères diagnostiques du DSM-IV, cette prochaine section sera limitée à la description des recherches conduites sur ce groupe clinique. La compréhension de la nature de l'intelligence chez les personnes autistes a plusieurs implications tant sur le plan clinique que celui de la recherche. Par exemple, une meilleure compréhension de l'intelligence autistique permettra de mieux orienter les choix de mesures

d'appariement entre les sujets autistes et les sujets du groupe contrôle au sein des études empiriques, d'évaluer plus précisément l'efficacité de certaines interventions en recherche clinique, ainsi que d'établir des méthodes d'évaluation et des approches éducationnelles plus adaptées à cette population clinique.

Au niveau développemental, on retrouverait un changement important dans le rendement intellectuel (QI) des enfants autistes au cours de leur développement (Eaves & Ho, 2004). Ceci se distinguerait du profil cognitif relativement stable retrouvé chez les enfants ayant un développement typique. Ainsi, une évaluation intellectuelle qui se limite à un moment précis dans le développement du jeune enfant autiste pourrait contribuer à une augmentation de l'erreur, plus particulièrement lorsqu'évalué avant l'âge de 6 ans.

Un autre aspect important dans la compréhension de l'intelligence autistique porte sur le choix de l'outil utilisé pour mesurer le fonctionnement cognitif de cette population. Le profil cognitif des autistes est fréquemment évalué à l'aide de l'échelle d'intelligence de Wechsler normée sur une population avec un développement typique. Le profil des personnes autistes à cette échelle se caractérise par un rendement verbal généralement plus faible (QIV) que le rendement de performance non verbal (QINV). Spécifiquement, on retrouve des forces visuospatiales observées plus fréquemment au sous-test « blocs », mais aussi au sous-test « assemblage d'objets », accompagnées d'une faiblesse plus ou moins marquée au sous-test « compréhension » (Ehlers et al., 1997; Lockyer & Rutter, 1970; Mottron, Soulières, & Meilleur, 2008). Malgré cette différence significative ou marginalement significative entre le niveau d'habiletés verbales et non verbales, les études se fient fréquemment au rendement global obtenu à cette échelle pour estimer le potentiel cognitif des personnes autistes. Ainsi, ce groupe clinique est généralement décrit comme ayant des capacités cognitives réduites, voire même déficitaires, avec des forces isolées à des tests spécifiques.

Les forces cognitives observées dans l'autisme sont fréquemment attribuées à des déficits au niveau des processus de traitement de haut niveau (Happé & Frith, 2006), plutôt qu'à des manifestations d'un potentiel intellectuel réel à l'intérieur d'un profil caractérisé par des faiblesses verbales. Une étude par Dawson et al. (2007) a mis à l'épreuve cette hypothèse en évaluant un groupe d'enfants et d'adultes autistes à l'aide du test d'intelligence fluide le mieux

reconnu dans la littérature, les MPR (décrit plus en détail dans la section 2.2). Les auteurs observent chez les autistes une différence d'en moyenne 30 points en percentile entre leur rendement à l'échelle de Wechsler et celui aux MPR, au profit du dernier. Pour certains sujets autistes, la différence de rendement entre les deux tests peut parfois atteindre 70 points en percentile, toujours au profit des MPR. Fait important, cet écart ne se retrouve pas dans le groupe contrôle composé de personnes ayant un développement typique. Cette étude constitue un avancement scientifique important en remettant en question la conceptualisation de l'intelligence chez les personnes autistes. Les auteurs concluent que les instruments de mesure d'intelligence normés sur une population non autiste pourraient mener à une estimation inexacte du potentiel intellectuel des autistes.

Étant donné l'importance de ce résultat, notre équipe de recherche a tenté de répliquer cette étude auprès d'enfants autistes d'âge scolaire caractérisés comme étant « non ou peu verbaux ». Ces enfants fréquentaient une école spécialisée et ils étaient considérés comme étant de « bas niveau » de fonctionnement cognitif et/ou non testables avec les tests cognitifs traditionnels (Courchesne, Simard-Meilleur, Pioulin-Lord, Dawson, & Soulières, soumis). Cette étude innovatrice a utilisé une approche basée sur l'évaluation des forces perceptives répertoriées chez les autistes. Parmi les 30 enfants autistes évalués, aucun n'a réussi à compléter l'échelle de Wechsler, alors que 87 % ont réussi à compléter les MPR colorées encastrables. Parmi les enfants ayant complété les MPR, 65 % ont démontré un rendement entre le 5^e et le 90^e rang centile. En accord avec Dawson et al. (2007), il y aurait donc un sous-groupe d'enfants autistes « non ou peu verbaux » avec des capacités cognitives supérieures à ce qui est prédit par les mesures d'intelligence conventionnelles.

Dans le but de mieux comprendre les substrats neuronaux de l'intelligence autistique, Soulières et al. (2009) ont utilisé un paradigme d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) pour évaluer l'activité corticale d'un groupe d'adolescents et d'adultes durant la complétion des MPR. L'étude a démontré que chez les sujets autistes, par comparaison aux sujets du groupe contrôle, les mécanismes corticaux de traitement de l'information visuelle joueraient un rôle particulièrement important pour les habiletés de raisonnement. Selon les auteurs, ce constat pourrait potentiellement se généraliser aux capacités cognitives au sens

large. Toutefois, cet apport de la perception dans l'intelligence générale des personnes autistes demeure méconnu.

3.3. Terminologie et effet de l'appariement

Avant d'amorcer la présentation des particularités perceptives dans l'autisme, cette section présentera la terminologie utilisée dans les travaux de cette thèse. Ceci permettra de diminuer toute confusion en lien avec le vocabulaire choisi. D'abord, le terme « habiletés exceptionnelles » sera utilisé pour référer à tous types de surfonctionnements pour lesquels les autistes obtiennent des performances au-delà de leur niveau de fonctionnement et/ou au-delà du niveau de fonctionnement d'un groupe contrôle à développement typique apparié selon l'âge chronologique. L'étude des habiletés exceptionnelles sera séparée en deux catégories : les « talents » définis selon des observations cliniques (ex. items d'habiletés spéciales isolées de l'ADI) (Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994) et les « forces perceptives » définies selon un niveau de performance obtenu à des tâches perceptives expérimentales menées en laboratoire.

Une habileté dite exceptionnelle peut donc être définie de diverses façons selon la mesure de base sur laquelle la performance est comparée. Selon la définition utilisée par Caron et collègues (2006), un « pic absolu » est défini comme étant une performance significativement supérieure à la moyenne d'un groupe à développement typique. Un « pic relatif », quant à lui, est généralement défini comme une performance à un test spécifique qui se situe significativement au-dessus du propre rendement intellectuel de la personne. Des études antérieures ont utilisé un écart-type de +1.50 à +1.65 pour définir une différence significative indiquant la présence d'un pic perceptif défini de manière absolue ou relative (Caron et al., 2006a; Jones et al., 2009b).

Le choix de la mesure utilisée pour qualifier le rendement intellectuel de base est donc crucial à l'identification des pics d'habiletés, particulièrement pour les recherches sur des groupes cliniques présentant un profil cognitif généralement plus hétérogène que la population générale. D'ailleurs, en autisme, la présence de pics d'habiletés serait parfois fortement dépendante du choix de la mesure d'intelligence. Par exemple, Barbeau et al. (2013) ont démontré que les sujets autistes « perdent » leur avantage à une tâche de temps d'inspection visuelle lorsque ceux-ci sont appariés aux sujets contrôles en utilisant les scores aux MPR plutôt que le QIG de l'échelle de Wechsler.

3.4. Habiletés exceptionnelles dans l'autisme

3.4.1 Talents

Les premières descriptions d'individus présentant des talents (ou des habiletés savantes, spéciales, isolées) en dépit d'un fonctionnement intellectuel apparemment déficitaire remontent à plus d'un siècle (Down, 1887; Heaton & Wallace, 2004; Smith, 1983; Southall, 1979). Un profil hétérogène, caractérisé par un écart hors du commun entre le niveau de fonctionnement intellectuel et/ou adaptatif et au moins un domaine de compétence, semble plus commun chez les personnes atteintes d'un trouble neurodéveloppemental, notamment qui se situent sur le spectre de l'autisme. Kanner (1943) et Asperger (1944) rapportent des talents dans 54 % et 75 % des cas inclus dans leurs premières descriptions de ce que l'on reconnaît aujourd'hui comme étant les TSA.

Chez les individus ayant une déficience intellectuelle, les talents sont généralement définis comme un domaine de fonctionnement se situant dans la moyenne, ou autrement comme une divergence importante entre son niveau de performance dans un domaine précis et le niveau de fonctionnement intellectuel normatif pour son âge chronologique ou développemental. Sauf quelques exceptions (Bouvet, Donnadieu, et al., 2014; Heaton, Pring, & Hermelin, 1999), la majorité des études de cas sur les talents se base sur l'observation et le jugement d'un proche pour un domaine de compétence exceptionnelle (ex. musique, dessin, mémoire, lecture). Les habiletés savantes chez les personnes autistes peuvent se distinguer en deux catégories : celles en lien avec la perception (ex. reproduction de dessins en trois dimensions ou mémoire musicale) et celles plus associées au langage (ex. hyperlexie ou mémoire pour les noms). De manière générale, la majorité des talents émergent entre les âges de 8 à 15 ans (Dubischar-Krivec et al., 2009; Soulieres et al., 2010). D'un point de vue développemental, le profil cognitif des personnes autistes se caractériserait par une augmentation de la dissociation entre les aptitudes verbales et non verbales avec la maturation et conséquemment, par l'apparition de pics d'habiletés dits « cognitifs » pendant l'enfance (Joseph, Tager-Flusberg, & Lord, 2002).

Actuellement, les taux de prévalence des talents sont très variables, allant de 10 à 71% selon les études et les définitions employées (Rapin, 1996; Rimland, 1978). Une étude empirique plus récente rapporte des talents et des pics d'habiletés spécifiques à l'intérieur d'un profil

cognitif chez 28 % des personnes autistes (Howlin, Goode, Hutton, & Rutter, 2009). La variabilité entre les taux de prévalence à travers les études compromet la possibilité de conclure sur la spécificité des talents dans le phénotype autistique. Néanmoins, les autistes constitueraient 50 % des individus présentant ce type de profil hétérogène caractérisé par des domaines de compétences apparemment isolés (Treffert, 2009) . Ce résultat suggère donc que le cerveau autistique soit plus sensible au développement d'habiletés divergentes comparativement aux personnes avec d'autres conditions neurodéveloppementales (Heaton & Wallace, 2004; Miller, 1999; O'Connor & Hermelin, 1989) et aux personnes avec un développement typique.

3.4.2 Forces perceptives de bas niveau et de niveau intermédiaire

L'étude empirique des forces perceptives dans l'autisme est issue des nombreuses descriptions de personnes autistes présentant des talents (c.-à-d., savants) dans des domaines impliquant les processus perceptifs (ex. musique, dessin). Parallèlement, plusieurs observations cliniques rapportent des comportements atypiques à base perceptive chez les jeunes enfants autistes, tels qu'une attention intense pour les détails des objets (Leekam, Nieto, Libby, Wing, & Gould, 2007; Mottron, Dawson, Soulieres, Hubert, & Burack, 2006a; Mottron, Mineau, Martel, Bernier, Berthiaume, Dawson, Lemay, Palardy, Charman, Faubert, et al., 2007; Zwaigenbaum et al., 2005). Ces comportements pourraient représenter des marqueurs précoces de l'autisme. Ainsi, notre groupe a créé une situation de jeu permettant de mettre en évidence ces comportements perceptifs qui peuvent être parfois négligés lors des évaluations avec les outils diagnostiques standards comme l'ADOS-G (Jacques, Mineau, Ferguson, Cousineau, & Mottron, en préparation).

Ces comportements atypiques pourraient représenter une manifestation clinique d'un développement atypique du système perceptif ou à l'inverse, ils pourraient contribuer au développement atypique de ce système; ces deux conditions n'étant pas mutuellement exclusives. Par exemple, Matsuzaki et al. (2012) ont démontré que l'hypersensibilité auditive chez les TSA était associée à une réponse caractéristique du cortex auditif primaire en lien avec une immaturité neurologique.

Forces ou pics perceptifs de bas niveau. Dans la modalité auditive, les personnes autistes démontrent un traitement plus efficace de l'information primaire comparativement à des sujets

contrôles avec un développement typique (ex. discriminer des sons purs variant en fréquence) [enfants : Heaton et al. (1998); adolescents et adultes : Bonnel et al. (2003a)]. Depuis ces premières études, une supériorité du traitement des sons purs chez les autistes, dès l'âge de 7 ans, fut répliquée par différentes équipes (Bonnel et al., 2010; Eigsti & Fein, 2013; Heaton, Williams, Cummins, & Happe, 2008; O'Riordan & Passetti, 2006; Stanutz, Wapnick, & Burack, 2014), à l'exception de deux études (Bhatara, Babikian, Laugeson, Tachdjian, & Sininger, 2013; Jones et al., 2009b). Bhatara et al. (2013) ne retrouvent pas de supériorité pour la discrimination de fréquences moyennes (500 et 1000 Hz) et rapportent un avantage chez les sujets contrôles pour les hautes fréquences (4000 Hz). Ces résultats pourraient s'expliquer par une différence dans la présentation des stimuli (paradigme de choix forcé avec trois plutôt que deux stimuli) et/ou par les caractéristiques des participants du groupe clinique (ex : diagnostic sur le spectre de l'autisme, âge moyen de 15 ans, intelligence verbale et non verbale dans la moyenne). L'autre étude par Jones et al. (2009), comportant des participants (âge moyen=15 ans) avec un diagnostic sur le spectre de l'autisme n'a également pas retrouvé de surfonctionnement auditif lors d'analyses de groupe. Cependant, des analyses supplémentaires ont démontré la présence de pic perceptif auditif (+1.65 ET au-dessus de la moyenne du groupe contrôle) chez un sous-groupe de TSA (20 %) caractérisé par un retard dans le développement du langage et un fonctionnement intellectuel normal (répliqué par Bonnel et al., 2010). Par ailleurs, des données en IRMf appuient l'idée selon laquelle il existe une association entre la présence d'un retard de langage et un traitement auditif atypique (Samson, Hyde, et al., 2011). Comparativement au groupe TSA sans retard de langage et au groupe contrôle avec un développement typique, le groupe TSA avec retard de langage présentait une augmentation relative de l'activité des aires primaires lors d'une tâche auditive simple composée de sons purs modifiés sur leur qualité temporelle.

En vision de bas niveau, le patron de résultats est considérablement plus variable que celui retrouvé en audition. Ainsi, dans le but de trouver un analogue des résultats en audition, plusieurs études ont été menées sur diverses composantes perceptives impliquées dans le traitement primaire de l'information visuelle (ex. discrimination de luminance-contraste et fréquences spatiales). Bertone et al. (2005) ont initialement proposé une sensibilité accrue pour le traitement de l'information dite de « premier ordre » dans l'autisme (c.-à-d., information

traitée par les aires visuelles primaires ou V1), reflétée par un seuil de discrimination de contraste plus faible chez un groupe d'adolescents et d'adultes autistes. De Jonge et al. (2007) ont tenté de répliquer ce résultat à l'aide d'un test clinique, « Vistech chart », comme mesure de la sensibilité au contraste, mais n'ont retrouvé qu'une tendance marginalement significative vers des seuils de détection plus faibles chez le groupe avec un TSA et ce, spécifiquement pour le traitement de stimuli de fréquence spatiale moyenne et élevée (12-18 cycles par degré, cpd). En ce sens, Keita et al. (2014) ont démontré une plus grande sensibilité des autistes dans la détection de variations de contrastes pour des réseaux de fréquence spatiale moyenne (8 cpd), mais pas pour des fréquences spatiales plus basses. Récemment, Schwarzkopf et al. (2014) ont utilisé une tâche d'imagerie fonctionnelle avec l'analyse de champs réceptifs populationnels (« population receptive field ») afin d'évaluer la réponse sélective du cortex visuel. Les résultats de cette nouvelle approche dans l'étude du traitement visuel de bas niveau suggèrent que le surfonctionnement perceptif des personnes avec un TSA ne serait pas associé à un réglage plus fin du traitement de l'information spatiale au niveau des aires primaires, mais plutôt à une altération des processus de plus haut niveau impliquant les régions extrastriées.

De manière similaire aux conclusions tirées des recherches en modalité auditive, il est également possible que la variabilité entre les études sur le fonctionnement visuel de bas niveau s'explique par l'hétérogénéité des groupes cliniques. Notamment, les études regroupent souvent des personnes ayant un TSA avec ou sans retard de langage, correspondant grossièrement aux conditions d'autisme et de syndrome d'Asperger, respectivement. Pourtant, le syndrome d'Asperger semblerait se distinguer de l'autisme à plusieurs niveaux, comme par un développement typique du langage et des pics de performance à des épreuves cognitives de nature verbale plutôt que visuospatiales (Mottron et al., 2008).

L'ensemble de ces résultats pointe donc vers une altération des mécanismes de bas niveau dans l'autisme, avec davantage de preuves empiriques en audition qu'en vision. Comparativement au traitement auditif supérieur des fréquences spectrales, on retrouverait en vision une surdiscrimination du contraste plus marquée pour l'information de haute fréquence spatiale (c.-à-d. des détails). En vision, il est possible que des différences dans le déploiement attentionnel jouent un rôle plus important dans la manifestation d'atypies perceptives de bas

niveau en autisme que des altérations macroscopiques au niveau des régions primaires (Schwarzkopf et al., 2014).

Forces ou pics perceptifs de niveau intermédiaire. D'autres études, conduites en parallèle, ont investigué l'intégrité des mécanismes perceptifs de niveau intermédiaire qui permettent de regrouper des éléments perceptifs locaux afin de percevoir des figures à plus grande échelle. Ces études ont utilisé des tâches dites « hiérarchiques » qui comportent différents niveaux d'intégration permettant de distinguer l'efficacité des processus de traitement local et global.

En modalité auditive, Mottron et collègues (2000) ont examiné le traitement intermédiaire à l'aide d'une tâche musicale hiérarchique, analogue à au sous-test modifié de « blocs » de l'étude de Caron et al. (2006a). L'analogie entre ces deux tâches tient à ce que toutes deux mesurent la performance dans des conditions faisant préférentiellement appel soit aux processus de traitement local, soit aux processus de traitement global. En audition, la distance entre deux notes consécutives (c.-à-d., intervalle) représente le niveau local tandis que la direction d'intervalles consécutifs entre les notes (c.-à-d., contour mélodique) représente le niveau global (Peretz, 1990). En se basant sur ces définitions, Mottron et al. (2000) ont démontré que les autistes détectaient les modifications locales d'une mélodie de façon plus efficace que le groupe contrôle, avec des performances équivalentes au groupe contrôle pour la détection de la dimension globale. Ils en concluent que les personnes autistes démontrent, tout comme en vision, une supériorité du traitement local de l'information auditive, tout en conservant une capacité normale pour le traitement de l'information globale lorsque cette stratégie est requise pour la réussite de la tâche. De manière générale, un traitement intact du traitement global de l'information auditive est un résultat maintenant assez robuste dans la littérature (Bouvet, Simard-Meilleur, Paignon, Mottron, & Donnadieu, 2014; Heaton, 2005; Heaton, Williams, Cummins, & Happe, 2007; Mottron, Peretz, et al., 2000; Quintin, Bhatara, Poissant, Fombonne, & Levitin, 2013). Cependant, une supériorité du traitement local dans des tâches auditives hiérarchiques est moins systématiquement rapportée dans la littérature. Foxton et al. (2003), quant à eux, ont défini le niveau local comme étant un changements dans la direction d'un l'intervalle à la suite d'une modification de la hauteur sonore d'une note avec ou sans changement dans la position de ce changement au cours d'une mélodie simple composée de 5

notes. Le percept global se caractérise plutôt par la perception du contour de la mélodie pouvant être montant et ensuite descendant, ou l'inverse. Ils ont démontré une diminution de l'interférence globale dans un groupe TSA. Contrairement aux sujets contrôles pour qui le traitement global interfère avec l'identification de changements subtils au niveau local, la performance du groupe TSA était constante à travers les trois conditions. Toutefois, l'avantage pour le traitement local de l'information retrouvé par Mottron et collègues (2000) n'a pas été répliqué. À l'aide d'un paradigme similaire à celui de Mottron et al. (2000), Heaton et al. (2005) ne retrouvent également pas de supériorité pour le traitement de l'information locale à une tâche auditive hiérarchique administrée chez un groupe d'enfants. Les auteurs expliquent ces résultats par une différence développementale entre les participants de cette étude (âge moyen= 10 ans) et ceux de l'étude de Mottron et al. (2000) (âge moyen= 17 ans). Afin de clarifier les résultats sur la présence ou non d'un pic de niveau intermédiaire en audition, une équipe de France, en collaboration avec notre groupe, a évalué 18 sujets autistes et 18 sujets contrôles avec développement typique en utilisant un nouveau paradigme permettant d'estimer la sensibilité aux changements mélodiques locaux et globaux de manière indépendante (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014). Les résultats démontrent une performance supérieure lors du traitement des éléments locaux et une réduction de l'interférence globale chez les autistes comparativement aux sujets contrôles.

En modalité visuelle, le pic d'habileté au sous-test « blocs » de l'échelle de Wechsler est l'un des pics les plus répliqués dans la littérature. Si l'on prend comme mesure de pic d'habileté l'écart entre le sous-test « bs » et les autres sous-tests de l'échelle de Wechsler, près de 50 % des autistes présentent une performance au sous-test « blocs » de plus de 1.5 écart-type au-dessus de leur niveau de performance globale à l'échelle de Wechsler, versus 2 % de la population non autiste (Caron et al., 2006a). Cette supériorité se manifesterait non pas par une meilleure exactitude des réponses, mais par une résolution plus rapide de la tâche. Selon certains auteurs, elle s'expliquerait par la combinaison d'une supériorité dans le traitement de bas niveau et d'une moindre influence de la perception de l'ensemble (global) sur la perception des détails (local) (Caron et al., 2006a). La présence d'un pic relatif au sous-test « blocs » prédirait une performance supérieure à d'autres épreuves visuelles qui sont elles aussi favorisées par une approche plus locale, notamment les tâches de figures cachées et les paradigmes de recherche visuelle (De

Jonge, Kemner, & van Engeland, 2006; Jarrold, Gilchrist, & Bender, 2005; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997; Mottron, Burack, Iarocci, Belleville, & Enns, 2003; Pellicano, Gibson, Maybery, Durkin, & Badcock, 2005; Ropar & Mitchell, 2001; Shah & Frith, 1983). La performance des autistes à ces tâches se différencierait non seulement de celle des personnes avec un développement typique, mais aussi de celle de certaines conditions psychiatriques (ex. dépression, schizophrénie) (Bolte, Holtmann, Poustka, Scheurich, & Schmidt, 2007).

Des études en IRMf ont tenté de comprendre les substrats neuronaux en lien avec la surperformance au sous-test « blocs » (Bolte, Hubl, Dierks, Holtmann, & Poustka, 2008) et de figures cachées (Ring et al., 1999) chez les autistes. Le patron d'activation des autistes se caractériserait par une plus grande activité des régions visuelles primaires, suggérant l'utilisation d'une stratégie centrée sur le système visuo-perceptif. Par comparaison, le patron d'activation des sujets contrôles reflèterait plutôt une stratégie centrée sur des systèmes corticaux plus antérieurs impliquant des processus cognitifs de plus haut niveau. Ainsi, un traitement centré sur la perception avec un traitement local plus indépendant ou autonome des processus dits globaux se maintiendrait à travers l'organisation des systèmes perceptifs dans l'autisme, allant du bas niveau au niveau intermédiaire.

3.5 Relation entre différentes habiletés exceptionnelles

Il existe peu d'études sur l'association entre les pics perceptifs à travers différentes modalités et/ou différents niveaux de traitement, et encore moins sur la relation entre pics perceptifs et talents. Ceci découle du fait que ces études sont généralement conduites en parallèle par divers groupes de chercheurs avec des spécialisations différentes.

Le groupe de Peretz de l'Université de Montréal a mené plusieurs études comportementales sur les capacités de discrimination auditive chez des adultes avec une amusie congénitale. À l'inverse du groupe autiste, ces personnes démontrent une diminution de la capacité de discrimination entre des paires de sons purs (Peretz et al., 2002). Ce déficit serait associé à une perturbation générale du traitement plus avancé de l'information musicale, par exemple la perception et la mémorisation de patrons musicaux (Foxton, Dean, Gee, Peretz, & Griffiths, 2004; Peretz & Hyde, 2003). Ces résultats proposent donc une association particulière entre la capacité à discriminer des sons selon leur hauteur sonore et des tâches cognitives

demandant un traitement cortical plus avancé, tel que la détection de patrons musicaux et la mémorisation.

D'autres études ont plutôt documenté la relation entre talent et perception en examinant les effets spécifiques qu'un entraînement intensif puisse avoir sur la performance de personnes avec un développement typique. Le domaine de l'entraînement musical représente le domaine le plus documenté quant à l'effet d'un entraînement spécifique sur les mécanismes de perception et la cognition en générale. On rapporte une association importante entre l'expérience musicale et une surdiscrimination auditive lorsqu'évaluées par des tâches musicales et de langage (Besson, Schön, Moreno, Santos, & Magne, 2007). D'autre part, un entraînement musical en bas âge (avant l'âge de 9 ans) serait associé à une meilleure capacité de traitement local (c.-à-d., détails), tant en modalité auditive (Herholz & Zatorre, 2012) que visuelle (Stoesz, Jakobson, Kilgour, & Lewycky, 2007). Ceci fut également documenté chez l'adulte par une étude qui démontre une meilleure performance au sous-test « blocs » chez un groupe de musiciens adultes avec l'oreille absolue (Brown et al., 2003). Les études de l'effet de l'entraînement en art visuel sur les capacités perceptives spécifiques sont beaucoup plus limitées qu'en musique. Cependant, une étude récente auprès d'étudiants suivant un programme d'art a démontré une corrélation entre la qualité de dessins représentationnels et des altérations fonctionnelles et structurelles du cerveau (Chamberlain et al., 2014). Les auteurs rapportent une augmentation de la densité de la matière grise dans le précuneus droit du cortex visuel et des changements au niveau de la matière blanche dans les régions frontales inférieures. Des altérations fonctionnelles marquées par une augmentation de l'activation du cervelet droit lors d'une tâche de dessin seraient également associées à l'expérience artistique. L'ensemble de ces études démontre donc des altérations du cerveau en lien avec l'entraînement artistique, de manière similaire à ce qui est retrouvé dans d'autres domaines d'expertise comme la musique (Gaser & Schlaug, 2003).

En autisme, Heaton et al. (2003, 2005) ont investigué l'association entre la capacité de discrimination et la capacité de mémorisation auditive chez un groupe d'enfants. À l'aide d'une tâche de « sons cachés » dans laquelle les enfants devaient identifier un son manquant dans un accord musical, ils démontrent une meilleure capacité d'identification, une meilleure capacité d'association son-nom et une mémorisation significativement supérieure des associations

appries chez les enfants autistes comparativement aux sujets contrôles. D'après les auteurs, le groupe autiste serait moins dépendant de la mémoire de travail auditive. Les autistes présenteraient une meilleure représentation des variations de hauteurs sonores, ce qui les rendrait moins susceptibles aux effets d'interférence. En vision, Caron et al. (2006) rapportent que 83 % des participants avec une meilleure discrimination visuelle de bas niveau dans l'étude de Bertone et al. (2005) présentaient un pic d'habileté relatif au sous-test « blocs » de l'échelle de Wechsler. L'étude de la relation des pics perceptifs entre les modalités s'avère encore plus rare. Cependant, une étude par Heaton et al. (1998) démontre une association entre une surdiscrimination auditive et une meilleure performance au sous-test « blocs » chez les enfants autistes sans expérience musicale.

3.6 Modèles théoriques

3.6.1 Modèle de surfonctionnement perceptif

Le modèle de « surfonctionnement perceptif » (SFP) (ou en anglais *Enhanced Perceptual Functioning* : EPF) propose une série de principes basés sur des données probantes permettant de formuler diverses hypothèses sur le fonctionnement cognitif des personnes autistes (Mottron & Burack, 2001; Mottron et al., 2006a). Sur la base des résultats de plusieurs études, ce modèle propose que les autistes privilégient un traitement local des stimuli perceptifs, mais que la possibilité de traiter l'information globalement soit conservée lorsque cette méthode s'avère plus économique pour l'accomplissement d'une tâche. Cette possibilité de navigation libre entre l'orientation locale et globale donnerait un avantage aux personnes autistes pour la résolution de tâches hiérarchiques tant visuelles qu'auditives (Caron et al., 2006a; Mottron et al., 2003; Mottron, Pertz, et al., 2000; Wang, Mottron, Peng, Berthiaume, & Dawson, 2007). De plus, une moindre susceptibilité à l'influence de distractions environnantes et un traitement supérieur des dimensions visuelles élémentaires (détails) contribueraient à une meilleure performance dans une variété d'autres tâches visuospatiales (Caron et al., 2006a; De Jonge et al., 2006; Jarrold et al., 2005; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997; Mottron, Belleville, & Menard, 1999; Mottron et al., 2003; O'Riordan, 2000; O'Riordan, Plaisted, Driver, & Baron-Cohen, 2001; Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen, 1998). Le modèle de SFP se base sur la supposition que la perception est la première étape d'une analyse complexe de l'environnement. Par conséquent, des atypies dans le

système de traitement de l'information perceptive de base influenceraient la perspective de l'environnement. Ceci se reflèterait au niveau clinique par une variété de comportements atypiques comme les regards latéraux (Mottron, Mineau, Martel, Bernier, Berthiaume, Dawson, Lemay, Palardy, Charman, & Faubert, 2007). Le modèle de SFP n'invoque pas l'hypothèse d'un véritable déficit dans les processus de traitement « top-down », c'est-à-dire l'influence d'un déficit des fonctions cognitives de haut niveau sur le traitement de bas niveau, mais fait plutôt état d'une relation atypique entre le traitement de haut niveau et le traitement surdéveloppé pour l'information perceptive de bas niveau. D'après ce modèle, les atypies cognitives s'expliqueraient davantage par un système de traitement dont l'ensemble des composantes diffère dès sa conception, plutôt que par un « effet de cascade » négatif résultant d'une ou plusieurs altérations spécifiques qui affecteraient un développement et un traitement initialement typique.

3.6.2 Modèle de la faible cohérence centrale

Le modèle de la « faible cohérence centrale » (FCC) (ou en anglais *Weak Central Coherence* : WCC) fut développé en parallèle au modèle de SFP pour décrire la cognition en autisme (Happé & Frith, 2006). Contrairement au modèle de SFP, le modèle FCC explique le profil de performance observé dans les tâches de bas et de haut niveau par une diminution de la tendance naturelle à traiter l'information de façon globale et en contexte, associée à un biais vers un traitement plus local. Le style cognitif des personnes autistes se caractériserait donc par une diminution des capacités de traitement global, c.-à-d. une faible cohérence centrale, ce qui entraînerait une surperformance dans les tâches où un traitement des éléments simples est avantageux. Cependant, une accumulation des données sur les capacités de traitement global en autisme suggère qu'il n'y aurait en réalité pas de déficit réel dans cette habileté cognitive, mais plutôt que le traitement global de l'information serait plus optionnel dans l'autisme que chez les sujets contrôles.

4. Objectifs et hypothèses de recherche

Cette thèse doctorale s'intéresse à la nature de la relation des performances dans différents domaines de la perception ayant préalablement démontré des surfonctionnements chez la population autiste, ainsi qu'à la prévalence des habiletés exceptionnelles chez les personnes autistes. Ces informations ont une portée théorique importante pour la compréhension du phénotype et des mécanismes sous-jacents aux particularités perceptives retrouvées dans cette population clinique. L'objectif premier est d'établir le profil de relation des performances perceptives dans l'autisme, indépendamment de la présence de surfonctionnements. Le second objectif est de documenter la prévalence des habiletés exceptionnelles mesurées au niveau individuel et de mettre en relation les forces perceptives et les talents. Les résultats des deux études seront ensuite combinés afin d'approfondir notre compréhension de la notion de plasticité liée à des processus innés et expérientiels dans l'autisme.

À ces fins, des mesures comportementales reflétant l'intégrité des systèmes perceptifs de bas niveau et de niveau intermédiaire à travers les modalités perceptives ont été obtenues dans un groupe d'adolescents et d'adultes contrôles et autistes. Dans la modalité visuelle, une épreuve de discrimination de luminance-contraste et une tâche modifiée du sous-test « blocs » ont été choisies pour cibler des processus visuels à différents niveaux de traitement. Étant donné l'incertitude du résultat sur le surfonctionnement perceptif visuel de bas niveau avec la tâche de discrimination de contraste, une tâche de discrimination de fréquences spatiales analogue à la tâche de discrimination de hauteurs sonores a aussi été administrée (annexe II). Cependant, pour des raisons statistiques mettant en doute la validité de la tâche de discrimination de fréquences spatiales (c.-à-d., présence de plusieurs omissions, manque de corrélation entre les conditions), cette tâche n'est pas incluse dans le premier article de cette thèse. Dans la modalité auditive, une tâche de discrimination de la hauteur sonore et une tâche hiérarchique de discrimination de mélodie ont été utilisées. Afin d'assurer un contrôle adéquat de l'intelligence, nous avons inclus les deux mesures d'intelligence les plus fréquemment utilisées dans les études en autisme : l'échelle de Wechsler et les MPR.

4.1 Étude 1 : Relation entre atypies perceptives à travers les niveaux et les modalités

Bien qu'une accumulation de données suggère la présence d'un fonctionnement perceptif atypique en vision et en audition, la plupart des études ne portent que sur une seule modalité à un niveau traitement spécifique. Par conséquent, la relation entre les performances à travers les modalités ou encore le lien entre les performances à différents niveaux de traitement demeurent méconnus. En parallèle, des études sur l'intelligence chez les personnes à développement typique ont démontré une corrélation importante entre les capacités cognitives et perceptives. Selon certains chercheurs, cette variance commune entre différentes habiletés s'expliquerait par un facteur général d'intelligence, le facteur « g ». Dans l'autisme, on retrouverait un rôle prépondérant de la perception dans la résolution de tâches perceptives et non perceptives. Ainsi, la première partie de cette étude tentera d'établir la relation entre la performance perceptive et l'intelligence chez les autistes et les contrôles. Dans un deuxième temps, les différences de performance entre les groupes pour chaque tâche seront analysées en appliquant un contrôle adéquat de l'intelligence selon les résultats de la première étape. Enfin, dans une troisième étape, nous ferons l'analyse du profil de covariation entre les tâches chez les autistes et les contrôles, en contrôlant pour l'intelligence. La présence d'une relation unique entre les capacités de perception, au-delà de l'intelligence, permettrait d'isoler un facteur spécifique à l'autisme. Un facteur spécifique à la perception serait en conformité avec les hypothèses du modèle de SFP sur la cognition autistique.

Sur la base des travaux de recherche sur l'intelligence dans la population générale, on s'attend à ce que les performances perceptives des sujets contrôles soient prédites par l'intelligence telle que mesurée par les MPR ou l'échelle de Wechsler. Chez les autistes les performances perceptives seraient mieux prédites par les MPR que l'échelle de Wechsler. Quant aux différences de performances perceptives entre les groupes, on s'attend à retrouver de meilleures performances chez les autistes que chez les sujets contrôles à travers toutes les tâches administrées. Toutefois, selon les résultats de Dawson et al. (2007) et Barbeau et al. (2013), nous émettons également l'hypothèse qu'il y aura une diminution des effets de groupe lorsque les groupes sont appariés selon les scores aux MPR plutôt que ceux de l'échelle de Wechsler. Enfin, nous prédisons des profils de covariation différents entre les groupes. Sur la base des modèles

d'intelligence, on s'attend à ce que les covariations entre les tâches perceptives s'expliquent par l'intelligence chez les personnes avec un développement typique. En revanche, chez les autistes, l'intelligence ne permettrait pas d'expliquer l'ensemble de la variance soutenant la relation entre les tâches perceptives, entraînant ainsi des covariations résiduelles. Cette covariation résiduelle serait indicative d'un facteur « caché » qui exercerait une influence commune sur la perception, indépendamment de l'intelligence.

4.2 Étude 2 : Prévalence individuelle des habiletés exceptionnelles et relation entre forces perceptives, talents et autres facteurs de prédisposition

La seconde partie de cette thèse combine les résultats expérimentaux de l'étude 1 aux données cliniques d'une base de données afin d'étudier la prévalence des habiletés exceptionnelles dans l'autisme. Les forces perceptives ont été mesurées à partir de la performance aux conditions les plus difficiles des tâches de discrimination de hauteur sonore et de la version modifiée du sous-test « blocs ». L'évaluation des talents, investiguée lors d'une entrevue diagnostique standardisée (ADI-R), se base sur des témoignages de parents quant à la présence actuelle et/ou passée d'habiletés remarquables. Le critère « actuel et/ou dans le passé » fut choisi plutôt qu'uniquement « actuel », car certains talents sont étroitement liés au développement (ex. la lecture).

Nous avons ainsi conçu une étude visant à examiner la prévalence des talents et des forces perceptives dans l'autisme. L'étude s'intéresse également à la relation entre talents, forces perceptives et diverses variables de prédisposition (ex. fonctionnement cognitif, âge et genre). Elle permettra de raffiner la description du phénotype autistique et de mieux saisir le rôle de l'expérience acquise, comparativement à une prédisposition innée dans le développement des compétences exceptionnelles.

Sur la base d'études antérieures et des principes du modèle de SFP, nous prévoyons qu'environ 25 à 50 % des personnes autistes présenteront au moins une habileté exceptionnelle et qu'un individu avec une habileté exceptionnelle aurait plus de chances d'en présenter une deuxième. Par ailleurs, nous émettons l'hypothèse que les chances de présenter une habileté exceptionnelle soient augmentées par un meilleur niveau de fonctionnement intellectuel. Considérant l'hypothèse d'un effet de l'expérience sur le développement des talents, on s'attend

également à une augmentation de la prévalence d'habiletés exceptionnelles avec l'âge. Enfin, sur la base des études antérieures, nous nous attendons à ce que le genre ne soit pas un facteur important de prédisposition pour le développement d'habiletés exceptionnelles.

CHAPITRE 2 : ARTICLES DE LA THÈSE

Article 1: Autism-Specific Covariation of Perceptual Performances: “g” or “p” Factor?

Andrée-Anne Simard-Meilleur¹, Claude Berthiaume¹, Armando Bertone^{1,2}, Laurent Mottron¹

¹ The University of Montreal Center of Excellence for Pervasive Developmental Disorders (CETEDUM). Hôpital Rivière-des-Prairies.

² School/Applied Child Psychology, Department of Education and Counselling Psychology, McGill University.

Publié:

Meilleur A-AS, Berthiaume C, Bertone A, Mottron L (2014) Autism-Specific Covariation in Perceptual Performances: “g” or “p” Factor? PLoS ONE 9(8): e103781. doi:10.1371/journal.pone.0103781

Abstract

Autistic perception is characterized by atypical and sometimes exceptional performance in several low- (e.g., discrimination) and mid-level (e.g., pattern matching) tasks in both visual and auditory domains. A factor that specifically affects perceptive abilities in autistic individuals should manifest as an autism-specific association between perceptual tasks. The first purpose of this study was to explore how perceptual performances are associated within or across processing levels and/or modalities. The second purpose was to determine if general intelligence, the major factor that accounts for covariation in task performances in non-autistic individuals, equally controls perceptual abilities in autistic individuals. We asked 46 autistic individuals and 46 typically developing controls to perform four tasks measuring low- or mid-level visual or auditory processing. Intelligence was measured with the Wechsler's Intelligence Scale (FSIQ) and Raven Progressive Matrices (RPM). We conducted linear regression models to compare task performances between groups and patterns of covariation between tasks. The addition of either Wechsler's FSIQ or RPM in the regression models controlled for the effects of intelligence. In typically developing individuals, most perceptual tasks were associated with intelligence measured either by RPM or Wechsler FSIQ. The residual covariation between unimodal tasks, i.e. covariation not explained by intelligence, could be explained by a modality-specific factor. In the autistic group, residual covariation revealed the presence of a plurimodal factor specific to autism. Autistic individuals show exceptional performance in some perceptual tasks. Here, we demonstrate the existence of specific, plurimodal covariation that does not depend on general intelligence (or "g" factor). Instead, this residual covariation is accounted for by a common perceptual process (or "p" factor), which may drive perceptual abilities differently in autistic and non-autistic individuals.

Keywords: autism, g factor, intelligence, enhanced perceptual functioning, auditory, visual perception, pitch, luminance-contrast, block, music, peak of abilities, GABA.

Introduction

In addition to socio-communicative alterations, autistic individuals present lifelong behavioural characteristics related to visual and auditory perception (Mottron et al., 2006a). These include hypersensitivity to noise (Lord et al., 1994), prolonged visual exploration of objects (Zwaigenbaum, 2010), early preference for geometric figures over social information (Pierce, Conant, Hazin, Stoner, & Desmond, 2011), and early detection of cross-modal synchrony (Klin, Lin, Gorrindo, Ramsay, & Jones, 2009). The prominence of these behaviours has led to the inclusion of sensory atypicalities and behaviours among the diagnostic criteria for the Autism Spectrum Disorder in the latest version of the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5) (APA, 2013). Note that, in keeping with the current consensus on language in autism research, the term “autistic” rather than “person with autism” is employed in a respectful way (Pellicano & Stears, 2011; Sinclair, 1999).

Atypical perceptual abilities have also been demonstrated in experimental settings with tasks that assess low- and mid-level information processing. Low-level refers to the early stages of information processing upon entry into the perceptual system. This is mediated by primary cortical areas (e.g., visual area V1) that extract elementary perceptual dimensions (e.g., luminance-contrast, spatial frequency, pitch) and send feedforward signals to mid-level cortical systems for further processing. Autistic atypicalities are mostly characterized by exceptional extraction of low-level physical dimensions of auditory (Bonnell et al., 2010; Bonnell et al., 2003b; Heaton, Williams, et al., 2008; Jones et al., 2009a) (see also Bhatara et al. 2013) and visual (Bertone, Mottron, Jelenic, Faubert, et al., 2005; Falter, Braeutigam, Nathan, Carrington, & Bailey, 2012; Jemel, Mimeault, Saint-Amour, Hosen, & Mottron, 2010; McCleery, Allman, Carver, & Dobkins, 2007; Remington, Swettenham, & Lavie, 2012) (see also Schwarzkopf et al. 2014) information. As a result, autistic individuals perform better in discrimination tasks than age- and intelligence-matched typically developing participants.

Mid-level perceptual mechanisms involve later stages of perceptual processing (i.e., extra striate, associative cortical areas, etc.) and the integration of low-level signals and grouping processes (e.g., pattern recognition and manipulation). Mid-level information processing is more susceptible than low-level systems to the influences of expectations and semantic knowledge. In autism, high performance in mid-level tasks is primarily the result of a non-mandatory influence

of global/gestalt effects. High performances are consistently demonstrated during visuospatial tasks requiring pattern extraction, detection, matching and/or manipulation (Caron et al., 2006a; Perreault, Gurnsey, Dawson, Mottron, & Bertone, 2011), but have also been documented in the auditory domain during musical tasks (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014; Heaton, Hudry, Ludlow, & Hill, 2008; Mottron, Peretz, & Menard, 2000b). Some of these perceptual capabilities are evident as early as three years of age (Kaldy, Kraper, Carter, & Blaser, 2011), indicating that high perception in autistic individuals manifests at various steps of processing in different modalities and relatively early in development.

Knowledge of how perceptual performances are associated within or across levels of processing and/or modalities is crucial to determine whether altered autistic perception results from the effect of a factor, or atypical process, specific to autism. Although high perceptual processing in both auditory and visual modalities has been associated with autism, most studies demonstrating autistic perceptual alterations have examined one modality or level in isolation. Therefore, it remains unknown whether high processing in a particular domain of perception is related to performance in other perceptual functions, levels and modalities, despite the frequent assumption that this is the case (Jarvinen-Pasley et al., 2008; Vlamings, Jonkman, van Daalen, van der Gaag, & Kemner, 2010).

There is a correlation between perceptual and other cognitive abilities in typically developing individuals. Spearman used factorial analyses to suggest that correlation between diverse cognitive abilities may be explained by a general intelligence factor, which he labelled the “g-factor” (Spearman, 1904). In autism, recent data suggest that perception makes a strong contribution to intelligence and that its high autonomy involves the optional use of higher cortical areas (e.g., low functional activation of prefrontal areas) during the processing of perceptual and non-perceptual information (Soulières et al., 2009). The identification of a relationship between perceptual abilities, besides general intelligence in autistic individuals but not in typically developing individuals would provide evidence for a perceptual factor specific to autism. The existence of a general perceptual factor would be consistent with the Enhanced Perceptual Functioning (EPF) model of autistic cognition (Mottron, Bouvet, et al., 2013; Mottron, Dawson, Soulières, Hubert, & Burack, 2006b). According to the EPF model, autistic cognition is characterized by a bottom-up processing style dominated by the strong activation of early neural

mechanisms across perceptual modalities (Samson, Mottron, Soulieres, & Zeffiro, 2012) and autonomy of perceptual processes toward top-down influences (i.e., a weak effect of expectations on percepts such as visual illusions (Mitchell, Mottron, Soulieres, & Ropar, 2010)).

Research on autistic perceptual strengths and weaknesses has been largely conducted with control groups most frequently matched to the autism group with the Wechsler scale (i.e, FSIQ), and, to a lesser extent, Raven's Progressive Matrices (RPM) as a measure of intelligence (Mottron, 2004). The RPM assesses fluid intelligence, which is strongly associated with general intelligence in typical development. It is administered as a series of multiple-choice questions, requiring no verbal instructions. In contrast, the Wechsler Intelligence Scale, which is based on a multidimensional theory of intelligence, assesses different cognitive abilities to measure overall intellectual performance. Several of its subtests assess comprehension and verbal expression skills. Although the Wechsler Intelligence Scale is the most commonly used tool for cognitive assessment, RPM may be more suitable to measure intelligence in some people with a handicap that alters the encoding of information. For instance, children with a hearing impairment perform in the average range on the RPM, whereas they perform in the range for intellectual disability on the Wechsler verbal IQ scale (Conrad, 1979). This result supports the importance of using a measure of general intelligence tailored to the population being tested to obtain an adequate estimate of overall intellectual capacity without bias from secondary factors.

Although matching autistic and non-autistic groups with an intelligence measure is necessary to control for general cognitive ability between groups, the method used to match intelligence may also significantly affect the results and their interpretation. In some cases, significant differences in the performance of perceptual tasks between groups matched on Wechsler Full Scale IQ, disappear when the same groups are matched on Raven Progressive Matrices (Barbeau et al., 2013), a measure that is considered by some as a more accurate reflection of autistic intelligence (Dawson, Soulieres, Gernsbacher, & Mottron, 2007; Hayashi, Kato, Igarashi, & Kashima, 2007). This lack of equivalence between measures of intelligence that are strongly correlated in typical development further suggests that the components of general intelligence in autism may differ from those in non-autistic individuals.

The main purpose of this study was therefore to determine how perceptual performances are associated within or across processing levels (low- and mid-level) and/or modalities (visual

and auditory) in autism. We sought to examine the effect of intelligence on perceptual performances, and whether patterns of covariation differ between autistic and non-autistic individuals. Based on studies of intelligence, we expect that covariation between perceptual abilities are explained by general intelligence in typically developing individuals. In contrast, in autistic individuals, we expect to find residual covariation between perceptual abilities that is explained by another factor besides general intelligence. This residual covariation would be indicative of a hidden “p” factor, which exerts a common influence on perceptual tasks, irrespective of intelligence (Figure 1a).

We chose luminance-contrast discrimination (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005) and a modified block design task (Caron, Mottron, Berthiaume, & Dawson, 2006b) to examine low- and mid-level visual processes, respectively. For hearing, we used a low-level pitch discrimination task and a mid-level melody discrimination task (Mottron, Peretz, & Menard, 2000a). Tasks were chosen on the basis of evidence suggesting that they are able to detect high performances associated with autism. These tasks were selected to examine both the relationship between modalities and between different levels of processing. Figure 2 provides a schematic representation of the study’s factorial design.

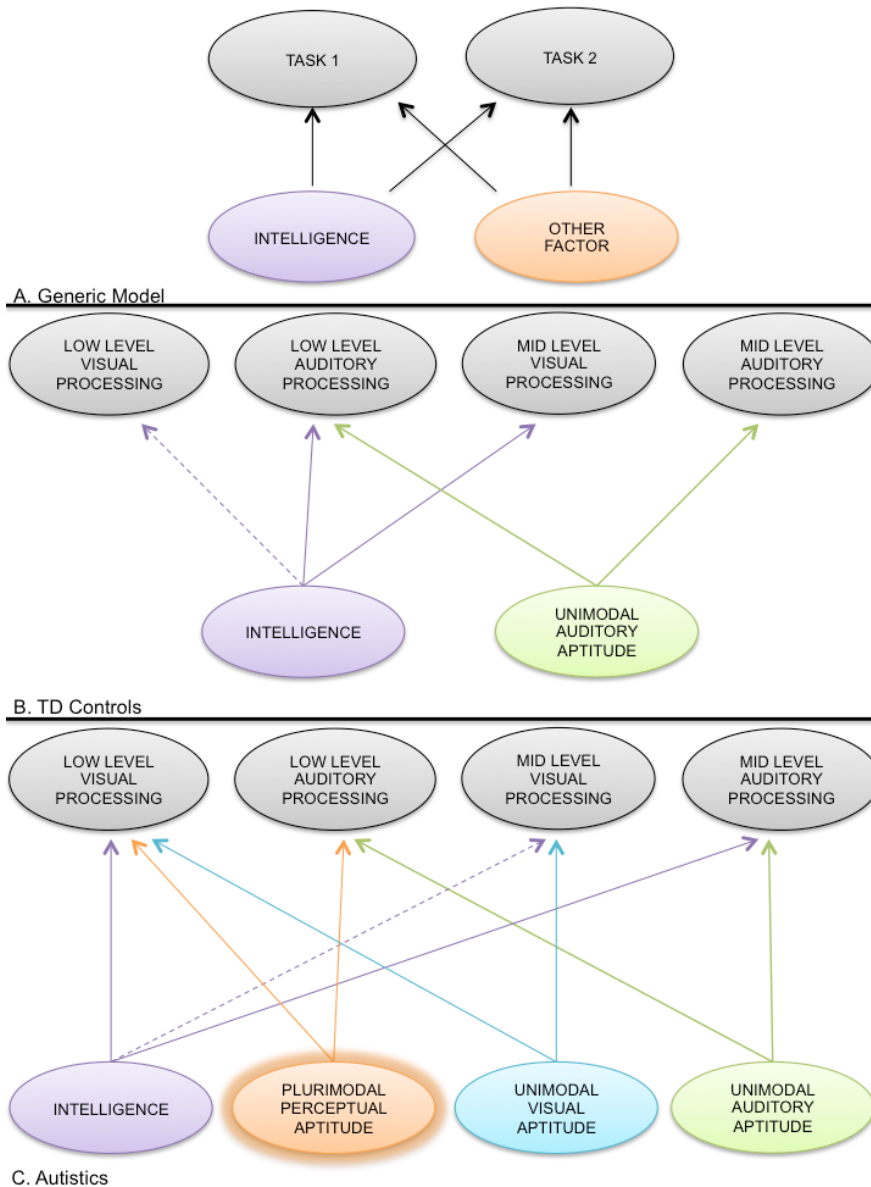


Figure 1. Illustration of theoretical models to explain the pattern of covariation between tasks. Across all figures, experimental tasks are presented in the top row, in grey. Factors are shown in the lower row, in colour. The “Intelligence” factor (purple) includes the effect of RPM, FSIQ or both, depending on the variable and group. These models describe the significant contribution of a given factor (i.e., intelligence or other factor) to the variance of any given perceptual task performance. **A.** Generic model. Arrows from the same factor (here, intelligence) pointing towards two tasks (here, 1 and 2) indicate that the correlation between these two tasks can be explained by their common relationship with the factor, represented here as intelligence. In the example presented, the intelligence factor does not fully explain the variance of tasks 1 and 2,

and a residual covariation attributed to “another factor” (orange), not dependent on intelligence, explains this residual correlation. **B.** (TD controls) and **C.** (Autistic individuals). Models that fit the observed patterns of covariation in this study for each group separately (statistics available in Table 2 and 4). The factors not dependent on intelligence, that contribute to residual covariations include: the “Unimodal Auditory Aptitude” factor (green), the “Unimodal Visual Aptitude” factor (blue) and the “Plurimodal Perceptual Aptitude” factor (orange). The “Unimodal Auditory Aptitude” factor is a common factor found in both autistic individuals and in the general TD population and explains the relationship between levels of processing within a single perceptual modality. The “Unimodal Visual Aptitude” factor is an analogue to the “Unimodal Auditory Aptitude” factor, but within the visual modality. This factor reaches significance only in the autistics group in the current study. The “Plurimodal Perceptual Aptitude” factor is different from the unimodal aptitude factors and is present only in autistic individuals. This factor is the main finding of the current study and is given the abbreviated “*p*-factor” label in the discussion. Full Lines: $p < 0.05$; Dotted lines: $p < 0.1$.

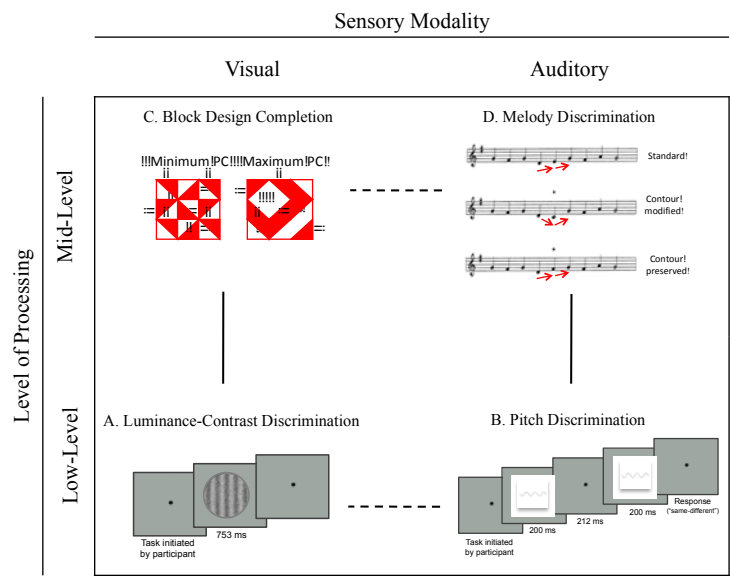


Figure 2. Schematic representation of the study’s factorial design and presentation of experimental stimuli and tasks. The four experimental tasks are presented in each quadrant. Each task is characterized by a sensory modality (visual or auditory) and by a level of cortical processing engaged during task completion (low- or mid-level). **A.** Luminance-contrast (LC)

discrimination: gratings were presented for 753 ms each and separated by an inter-stimulus interval of 271 ms, during which a noise mask was presented to minimize spatial after effects. **B.** Pitch discrimination: pure tones were presented for 200ms each and separated by an inter-stimulus interval of 212 ms. **C.** Block design completion: examples of minimum and maximum perceptual cohesiveness (PC) models. **D.** Melody discrimination: examples of a standard melody compared to contour modified and contour preserved conditions. Red arrows represent contour direction. Lines represent relationships of interest in the current study. Full lines: unimodal relationships, between levels of processing; Dotted lines: plurimodal relationships, within levels of processing.

Methods

Participants

The target clinical population was comprised of adolescents and adults on the Autism Spectrum (AS). Forty-six autistic individuals and 46 typically developing (TD) participants completed the study. Most autistic individuals had delayed or abnormal language development, because this particular subgroup has been shown to have superior perceptual performance more consistently than AS individuals without developmental language abnormalities (Bonnell et al., 2010). All but three autistic participants presented either a delay in speech onset (30/46) defined according to the ADI-R (first word onset after 24 months or first phrase onset after 33 months) or a score >1 on any of the following ADI items: immediate echolalia, stereotyped speech/delayed echolalia or pronoun reversal suggesting atypical language development (11/46). Standardized information on language development was not available for two participants without language delay or atypicalities in language development. These individuals were diagnosed with autism on the basis of expert clinical judgment and DSM-IV criteria only. Participants were recruited from the « Centre d'Excellence des Troubles Envahissants du Développement de l'Université de Montréal » (CETEDUM) database. No Research Resource Identifier (RRID) can be provided for this population database because it is not publically available. Nonetheless, additional information regarding population characteristics can be requested within the limits of confidentiality. Forty-three autistic participants were diagnosed with the Autism Diagnostic Interview (ADI-R) (Lord et al., 1994) and/or the Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS-G) (Lord, Rutter, DiLavore, & Risi, 1999) (ADI only: three; ADOS only: two; ADI+ADOS: 38). Trained clinical professionals

working at the specialized clinic at the Rivière-des-Prairies Hospital carried out both diagnostic tests. Three autistic participants were diagnosed based on DSM-IV criteria and expert (LM) clinical judgment. Neither TD participants nor their first-degree relatives had any history of AS, or other neurodevelopmental or neurological conditions. All participants completed the Autism Quotient (AQ) questionnaire (Woodbury-Smith, Robinson, Wheelwright, & Baron-Cohen, 2005). One control participant reached a score of 30, which is above the recommended cut-off score of 26 (Woodbury-Smith et al., 2005). This participant was excluded from the analysis of auditory tasks due to formal musical training; however, the participant was included in the analysis of visual tasks because his performance was comparable to that of other TD controls. All of the participants had a full scale IQ score above the range of intellectual disability (FSIQ > 70). Participants who could not complete practice trials (conducted a maximum of 3 times) and those who scored minimally in the first test items or did not complete enough trials to obtain a valid threshold measure, were excluded. The number of excluded participants by analysis is available as supporting information (Table S1). In addition, eight controls and three autistic participants with more than five years of formal music education, as measured with an in-house 20-item questionnaire, were excluded from the auditory task analyses (Micheyl, Delhommeau, Perrot, & Oxenham, 2006; Tervaniemi et al., 2009). Table 1 shows the descriptive statistics for age, AQ, intelligence, and baseline motor speed. Participants and their caregiver, for those under the legal age, gave informed, written consent. The research ethics committee (CER) of the Riviere-des-Prairies Hospital approved the study.

Table 1. Descriptive statistics for all participants including age and Wechsler's Intelligence Scale IQ (FSIQ, VIQ, NVIQ) and Raven Progressive Matrices (RPM) scores: mean (standard deviation); range.

	TD Controls	Autistic Individuals	Statistics	<i>p</i>
n (males: females)	46 (38M: 8F)	46 (38M: 8F)	-	-
Age in years	20.20 (3.74); 18-28	20.57 (5.83); 14-36	t(76.669)=-.362	.718
Autism Quotient	13.74 (4.55); 7-30	25.93 (8.22); 9-45	t(70.177)=-8.802	<.001***
Wechsler FSIQ ^a	108.65 (12.59); 80-131	94.70 (15.41); 71-130	t(90)=4.757	<.001***
VIQ	108.89 (12.23); 78-128	92.86 (19.64); 47-128	t(67.765)=4.534	<.001***
NVIQ	107.33 (13.64); 79-133	99.70 (13.54); 71-131	t(88)=2.659	.009**
RPM ^b	67.13 (23.00); 23-99	71.30 (22.10); 10-99	U=927	.306
Motor speed in seconds	12.63 (3.63); 8.28-22.54	13.40 (3.42); 7.60-21.69	t(82)=-.990	.325

^a Standard scores on the Wechsler's Intelligence Scales; ^bPercentile on the Raven Progressive Matrices; TD: Typically Developing, FSIQ: Full Scale IQ (n total=92), VIQ: Verbal IQ (n total=87), NVIQ: Non-verbal IQ (n total=90), RPM: Raven Progressive Matrices (n total=92); Significance levels : **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.005.

Stimuli and Procedure

All participants underwent preliminary visual and auditory acuity testing with standard tests [Runge test and Snellen chart for vision and a pure-tone audiogram (250–8000 Hz) for audition] and had normal to correct-to-normal vision; none of the participants had hearing aids or hearing loss. Testing was conducted in the auditory testing room of the Perceptual Neurosciences Laboratory (PNLab) for Autism and Development, located at Rivière-des-Prairies Hospital. This room is designed to minimize external noise and light sources. Auditory and visual stimuli were produced and presented via the DataPixx™ graphics and data acquisition toolbox and run on an Apple Macintosh G4 platform with an 18-inch Viewsonic E90FB .25 CRT (1280 X 1024 pixels) monitor refreshed at a rate of 75Hz. The background of the display was kept as a grey colour ($x = 0.2783$ | $y = 0.321$) with an average intensity of 40 cd/m^2 , with a minimum (L_{\min}) luminance value of 0.50 cd/m^2 and a maximum (L_{\max}) luminance value of 89.50 cd/m^2 . Auditory stimuli were presented to both ears simultaneously with Sennheiser HD280 earphones at an intensity of 65 db SPL. The stability of parameters defining the auditory and visual stimuli was assessed with a Quest 1100 sonometer and Minolta CS-100 colorimeter, respectively. All participants underwent preliminary visual and auditory acuity testing with standard tests [Runge test and Snellen chart for vision and a pure-tone audiogram (250–8000 Hz) for audition] and had normal to correct-to-normal vision; none of the participants had hearing aids or hearing loss. The auditory and visual tasks were carried out in a semi-randomized order to counterbalance for crossover, learning, and/or fatigue effects. Tasks involving the same modality were never presented in succession.

Low-level Visual Task. Luminance-contrast (LC) discrimination was examined with a task from a study by Bertone et al. (2005). In this task, participants are asked to fixate a dot on a screen and identify the spatial orientation of sine-wave static gratings by pressing the “right” or “up” arrow of a standard computer keyboard to indicate horizontal or vertical orientation, respectively. Gratings are a regularly spaced collection of identical, parallel, elongated elements. A sine-wave grating is a repeated number of fuzzy dark and light bars, or cycles defined by its level of luminance. An example of a vertically oriented sine-wave grating is shown in Figure 2a. Gratings were presented alone on the screen and the participant initiated each subsequent trial

by pressing the spacebar of the keyboard; no time limit was imposed. The task started with five practice trials in which the participant needed to reach a minimum score of 80% correct before continuing to the experimental task. The task used a constant stimuli procedure to determine the identification threshold. Stimuli were presented 10 times for each level of luminance modulation (10%, 5%, 3.5%, 2%, 1.25%, and 0.625%) and for each orientation for a total of 120 trials. Spatial frequency was kept constant at 1 cpd. A Weibull psychometric function (Weibull, 1951) was then applied to the set of responses to determine the discrimination threshold for a performance level of 75% correct. This measure of LC discrimination threshold served as the variable of interest (the lower the threshold score, the better the performance). Given that values were very small, LC discrimination threshold scores multiplied by 100 were used in the analyses. This linear transformation had no effect on statistical significance.

Low-level Auditory Task. Pitch discrimination was used to investigate low-level auditory processing. Participants listened to a standard pure-tone of fixed value (500, 1000, or 1500 Hz), followed or preceded by a comparison pure-tone, and were asked to indicate whether the two stimuli perceived were the same or different (Figure 2b). Participants held a VPixx response box in each hand and pressed the top button of the box in the left hand if they thought that the pitch was the same and the top button of the box in the right hand if they thought that it was different. Subsequent trials were initiated 750 ms after the participant pressed the bottom button with either hand; no time limit was imposed. Thresholds for the three standard stimuli were obtained within a single adaptive staircase procedure, Harvey's ML-PEST (Harvey, 1997). Thresholds were measured 3 times and averaged to obtain an accurate threshold estimation for each standard stimulus. Before the experimental trials, each participant completed 10 practice trials and had to reach a minimum score of 80% correct responses before continuing the experimental task. The average pitch discrimination threshold served as the variable of interest (the lower the threshold score, the better the performance). The discrimination threshold is expressed as a Weber fraction (w): the fractional change in frequency required to discriminate each standard condition ($\Delta f/f$), where Δf is the minimum difference in frequency required to discriminate accurately between standard and comparison stimuli, and f is the reference standard frequency.

Mid-Level Visual Task. Hierarchical local-global processing of visual information was investigated with a modified version of the Block Design subtest of Wechsler's Intelligence Scale from Caron et al. (2006). This block design task incorporates a large range of difficulty and target figures that vary in their level of perceptual cohesiveness (PC). The PC level is manipulated by changing the number of opposite-coloured edges, or *edge cues*. The higher the number of edge cues, the lower the PC and the faster the task is completed. There were three PC levels: minimum, intermediate and maximum (Figure 2c), corresponding to easy, moderate and hard levels of difficulty, respectively. Task difficulty also increased with the number of blocks included in the model (4, 9, or 16). Participants were encouraged to work as quickly and precisely as possible. A time limit of 120, 180, and 240 seconds was established for the 4, 9 and 16 block models, respectively. A measure of baseline motor speed was obtained by administering a control condition consisting of a plain red target figure for each model size. Completion time for construction of the target figure was recorded, in seconds, with a standard stopwatch. Timing began upon presentation of the model and ended once the figure was completed or the time limit was reached. The variable of interest was the average completion time of the most difficult maximum PC condition in the six different trials (the faster completion time, i.e. the lower the score, the better the performance). Performance in the maximum PC condition was chosen as the variable of interest because it detects differences between groups with the highest level of sensitivity.

Mid-Level Auditory Task. Hierarchical local-global processing of auditory information was investigated with a melody discrimination task inspired by an earlier study by Peretz (1987). The melodies were made up of nine notes each lasting 350 ms except for the last note which lasted twice as long (700 ms). In the "contour-modified condition", a change in the frequency of one note resulted in a change in the interval direction, whereas in the "contour-preserved condition" a change in frequency did not alter the interval direction (Figure 2d). The modified note was either at the beginning, middle or end of the melody, but never the first or last note. There were a total of 48 trials, including 12 identical melodies presented twice, 12 contour-modified melodies and 12 contour-preserved melodies. Participants had to determine whether the two melodies presented were the same or different. Similar to the pitch discrimination task, participants held a VPixx response box in each hand and pressed the top button of the box in the

left hand if they thought that the two melodies were the same and top button of the box in the right hand if they thought that they were different. The task started after two successful practice trials. Sensitivity d' values were calculated for each condition, which included 12 “different” and 24 “same” trials. The variable of interest was the level of sensitivity to changes in the most difficult contour-preserved condition, regardless of when the note change was made (beginning, middle or end). Performance in this condition was chosen as the variable of interest because it reflects sensitivity to local changes within a non-automatic situation that generally promotes global processing. For consistency with the other measures, mean d' scores are presented as inverted values, such that the lower the score, the better the performance. All values were converted to positive values by subtracting d' scores from a constant: inverted melody discrimination score = $4 - d'$. This linear transformation had no effect on statistical significance.

Statistical Analyses

Experiments were designed and the results were interpreted to answer four questions, using two regression models. Model 1: 1) For each perceptual task, is the association between intelligence and performance the same for autistic and control groups? 2) Does the relationship between intelligence and performance depend on the measure of intelligence used (FSIQ or RPM)? 3) Does controlling for intelligence with FSIQ or RPM affect differences in performance between groups? Model 2: 4) Do patterns of covariation in task performances differ between groups?

Model 1: Effect of intelligence on performance and between group-differences in performances

Regression analyses conducted separately for each task and each measure of intelligence examined the effect of intelligence on performance and differences between groups in performance, with the following multiple linear regression model:

$$\text{PERF} = B_0 + B_1 * \text{INTEL} + B_2 * \text{GR} + B_3 * \text{INTELXGR} + \text{residual}$$

where PERF = task performance, INTEL : intelligence measure, RPM or Wechsler’s FSIQ (z-scores), GR : group variable (0 if control, 1 if ASD)

According to the coding scheme of the independent variables, B_1 indicates the expected linear increase in mean performance for a one SD increase along the intelligence scale, for the control group. B_3 indicates the expected between groups difference in linear increase in mean

performance for a one SD increase along the intelligence scale. That is, B_1+B_3 indicates the expected linear increase in mean performance for a one SD increase along the intelligence scale, for the ASD group. B_2 indicates the expected between groups difference in mean performance, for groups with average intelligence ($z\text{-score}=0$). When B_3 is not statistically significant and its estimate near 0, B_2 indicates the expected between groups difference in mean performance, in this case, constant all along the intelligence scale. When B_3 is statistically significant or its estimate not close to 0, the expected between groups difference in mean performance vary along the intelligence scale and could be estimated by $B_2 + B_3*\text{INTEL}$.

Model 2: Between group differences in residual covariation in task performance

The following multiple linear regression model was used to analyse how covariation in performances differed between groups, taking into consideration the effect of intelligence (or residual covariation):

$$\text{PERF1} = B'_0 + B'_1*\text{INTEL} + B'_2*\text{GR} + B'_3*\text{INTELXGR} + B'_4*\text{PERF2} + B'_5*\text{PERF2XGR} + \text{residual}$$

where PERF1 = performance in task 1, PERF2 = performance in task 2 INTEL = intelligence measure (Wechsler's FSIQ or RPM, $z\text{-score}$), GR = group (0 if control, 1 if ASD).

According to the coding scheme of the independent variables, B_4 indicates the expected linear increase in mean performance at task 1 for a one unit increase in the performance at task 2 for the control group, while controlling for the effect of intelligence. In other words, B_4 is the expected residual covariation between tasks for the control group. Similarly, B_5 indicates the expected difference in residual covariation between groups. Thus, B_4+B_5 indicates the expected residual covariation between tasks for the AS group.

Statistical significance was set at $p<0.05$. For each model, assumptions (normality, linearity, homoscedasticity) were checked from residual analysis. Standardised residuals greater than 3 were considered as outliers and were excluded from the analysis. Baseline motor speed was added as an additional covariate if BD task performance was part of the regression model (dependent or independent variable).

Results

Effect of intelligence on performance

Table 2 shows the main results from model 1. There was a statistically significant FSIQ X Group interaction for pitch and block, but not for the LC and melody discrimination tasks. However, when we controlled for intelligence with RPM, we found a RPM X Group interaction for LC and melody discrimination, but not for pitch and block tasks. This finding provides a clear yes-answer to our first question, demonstrating that the effect of intelligence on performance is not the same for autistic and controls individuals. Consequently, between group differences in performance vary along the intelligence scale (Graphs illustrating the differences are available as supporting information, Figure S1).

Qualitative inspection of simple effects (Table 2) revealed that for TD controls, the association between intelligence and tasks (LC, pitch, and block) was stronger when FSIQ was used as an intelligence measure than when RPM was used. However, for autistic individuals, performance in tasks (LC and melody) was more strongly associated with RPM than with FSIQ. These observations provide a clear yes-answer to our second question, showing that the effect of intelligence on performance differs according to the measure of intelligence used.

It has been proposed that RPM is a better measure of general intelligence than FSIQ in autism; therefore, we carried out a complementary stepwise regression analysis to test the effect of FSIQ over that of RPM among controls, and the effect of RPM over that of FSIQ among autistic individuals. We began the analyses by including the least accurate intelligence measure in the model, and then added the most accurate measure. In controls, FSIQ contributed significantly to the regression model, in addition to the contribution made by RPM, for LC ($p=.077$), pitch ($p=.005$), and block ($p=.001$) tests. However, in autistic individuals, RPM contributed significantly to the regression model, in addition to the contribution made by FSIQ, for LC ($p=.002$) and melody ($p=.003$) tests. This finding will be considered during the interpretation of results of residual covariation, because inaccurate measures of intelligence can produce false positive conclusions.

Table 2. Model 1 (Effect of intelligence on performance and between-group differences in performances) main results: a. Wechsler’s Full Scale IQ (FSIQ) or b. Raven Progressive Matrices (RPM). For a graphic representation, see supporting information Figure S1.

a.	FSIQ		FSIQ Simple Effects				Group Effects ^a	
	X Group	B ₃	TD Controls		Autistic Individuals		ASD vs controls	
			B ₁		B ₁ +B ₃		B ₂	
		<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>
LC		.267	-.082	.063	-.145	<.001***	-.050	.396
Pitch		.005 **	-.795	<.001***	.006	.976	-1.329	<.001***
Music		.140	-.035	.807	-.311	.011***	-.142	.453
Block ^b		.034 *	-10.233	.001***	-3.348	.149	-15.909	<.001***
b.	RPM		RPM Simple Effects				Group Effects ^a	
	X Group	B ₃	TD Controls		Autistic Individuals		ASD vs controls	
			B ₁		B ₁ +B ₃		B ₂	
		<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>
LC		.007**	-.045	.329	-.223	<.001***	.278	<.001***
Pitch		.270	-.715	.005**	-.310	.253	-.950	.012*
Music		.020*	-.055	.720	-.551	<.001***	.402	.046*
Block ^b		.760	-6.106	.013*	-4.995	.075	-5.444	.167

^a B: Unstandardized regression coefficient. Negative B values indicate that autistic individuals perform better (i.e. lower score) than controls, and vice versa for positive B values; ^b Baseline motor speed is added to the model; Significance levels: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .005$.

Between group differences in task performance

Table 3 shows the expected group means, according to model 1, at average intelligence and one standard deviation above average intelligence. When we controlled for intelligence with FSIQ, autistic individuals performed better in pitch discrimination and block design tasks than controls, although there were no significant differences in performance in LC and melody tasks between groups. When we controlled for intelligence with RPM, autistic individuals performed better in pitch discrimination tasks, whereas controls performed better in LC and melody discrimination tasks. Performance in block completion tasks was not statistically different between groups. These findings provide a yes answer to our third question, because they show that between group differences in performance depend on the measure used to control for general intelligence (FSIQ or RPM). Interestingly, the difference in performance between groups with average intelligence was larger than between groups with an intelligence level one standard deviation above average, regardless of the measure of intelligence used.

Table 3. Expected mean performance according to Model 1 at average intelligence and one SD above average intelligence a. Wechsler’s Full Scale IQ (FSIQ) or b. Raven Progressive Matrices (RPM).

a.	Expected Means at FSIQ= 0 SD					Expected Means at FSIQ= +1 SD				
	TD Controls		Autistic Individuals		<i>p</i>	TD Controls		Autistic Individuals		<i>p</i>
	Mean	SE	Mean	SE		Mean	SE	Mean	SE	
LC	0.832	0.044	0.882	0.039	.396	0.750	0.040	0.737	0.060	.859
Pitch	3.022	0.202	1.692	0.183	<.001 ***	2.227	0.201	1.698	0.293	.142
Music	2.719	0.140	2.577	0.125	.453	2.684	0.142	2.266	0.201	.093
Block ^a	51.707	2.552	35.798	2.106	<.001 ***	41.474	2.323	32.450	3.416	.024 *

b.	Expected Means at RPM= 0 SD					Expected Means at RPM= +1 SD				
	TD Controls		Autistic Individuals		<i>p</i>	TD Controls		Autistic Individuals		<i>p</i>
	Mean	SE	Mean	SE		Mean	SE	Mean	SE	
LC	0.809	0.042	1.087	0.051	<.001 ***	0.765	0.039	0.864	0.036	.066
Pitch	2.920	0.208	1.970	0.303	.012 *	2.204	0.231	1.660	0.185	.071
Music	2.783	0.125	3.185	0.154	.046 *	2.729	0.139	2.634	0.106	.590
Block ^a	46.147	2.281	40.703	3.145	.167	40.040	2.023	35.707	1.803	.116

^a Baseline motor speed is added to the model. For FSIQ: predicted mean for motor speed=12.998, For RPM: predicted mean for motor speed=12.875; TD: Typically Developing; SE: Standard Error; Significance levels: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .005$.

Table 4. Model 2 (Between groups difference in residual covariation) main results: a. Wechsler's Full Scale IQ (FSIQ), or b. Raven Progressive Matrices (RPM)

a.		Covariation	Co-variation by Group			
Independent Variable → Dependent Variable		X Group B ₅	Autistic Individuals B ₄ +B ₅		TD Control B ₄	
		<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>
Low-Level Tasks	Pitch→LC	.011 *	.134	.003***	-.002	.951
	LC→Pitch	.179	1.691	.032*	.042	.964
Mid-Level Tasks ^a	Music→Block	.291	-.438	.876	4.253	.220
	Block →Music	.583	-.003	.841	.006	.417
Visual Modality ^a	LC→Block	.921	9.076	.240	10.494	.386
	Block →LC	.025*	.012	.008**	.001	.558
Auditory modality	Pitch→Music	.452	.392	.009**	.263	.005**
	Music→Pitch	.111	.441	.058	1.003	<.001***

b.		Covariation	Co-variation by Group			
Independent Variable → Dependent Variable		X Group B ₅	Autistic Individuals B ₄ +B ₅		TD Control B ₅	
		<i>p</i>	estimate	<i>p</i>	estimate	<i>p</i>
Low-Level Tasks	Pitch→LC	.086	.113	.086	.019	.484
	LC→Pitch	.740	1.423	.094	1.010	.273
Mid-Level Tasks ^a	Music→Block	.312	-.939	.737	3.524	.308
	Block →Music	.815	-.002	.893	.002	.819
Visual Modality ^a	LC→Block	.190	8.261	.236	24.509	.022*
	Block →LC	.058	.010	.019*	.002	.310
Auditory modality	Pitch→Music	.668	.281	.077	.211	.010**
	Music→Pitch	.092	.296	.240	.948	.002***

^a Motor speed was also statistically controlled for; TD: Typically developing, SE: Standard Error, B: Unstandardized regression coefficient; Significance levels : * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .005$

Between group difference in residual co-variation in task performances

Table 4 shows the main results from model 2. In line with the yes answer to our first question (is the association between intelligence and performance the same for autistic and control groups), intelligence X group interaction was included in the 16 multiple linear regression models.

Plurimodal co-variation. The upper parts of Table 4 (a and b) show the residual covariation of performances between low- and mid-level tasks. When intelligence was measured by FSIQ (Table 4a), we found significant residual covariation for low-level tasks in autistic individuals. This residual covariation was significantly different from that of the TD control group. However, there was only a trend in covariation for low-level tasks in autistic individuals ($p < 0.10$) when intelligence was measured by RPM (Table 4b).

Unimodal co-variation. The lower parts of Table 4 (a and b) show results of the residual covariation of performances between visual tasks and auditory tasks. There was significant residual covariation for auditory tasks in both groups when intelligence was measured by FSIQ (4a). In addition, there was significant residual covariation for visual tasks in the autistic group. This residual covariation was significantly different from that of the TD control group. When intelligence was measured by RPM (4b), we found significant residual covariation for auditory tasks in the control group and significant residual covariation for visual tasks in both groups. We found no significant differences between groups, although trends ($p < 0.10$) were observed. These findings provide a yes answer to our fourth, and main question, showing a different pattern of residual covariation in task performance between groups.

Discussion

Summary of findings

In this study, we report the first systematic assessment of the association of autistic perceptual performance across processing levels (low- vs. mid-) and modalities (auditory vs. visual), and we examine the role of intelligence in this covariation. Our main finding is that perceptual performances in auditory and visual tasks are associated in autistic individuals, and this association cannot be explained by intelligence alone. In the following discussion, we will propose a plausible interpretation of this finding and its relation with intelligence, in the context

of the current literature.

Comparison of task performances between groups. The autism group outperformed the TD control group in the pitch discrimination (low-level, auditory) and modified block design tasks (mid-level, visual). These findings are consistent with previous studies demonstrating that autistic individuals perform better than non-autistic individuals in similar pitch discrimination tasks, which is now considered to be the most replicated low-level perceptual strength in autism (for a review, see Mottron et al. 2013). Autistic individuals showed a higher performance in pitch discrimination tasks than non-autistic individuals regardless of whether intelligence was controlled for with the Wechsler FSIQ or RPM. This suggests that such superior low-level auditory performance is not a by-product of a more (RPM) or less (Wechsler's Intelligence Scales) conservative IQ matching strategy. This supports the hypothesis that a fundamental difference in the neural encoding of pitch underlies this autistic perceptual superiority.

In accordance with previous studies, we found that autistic individuals performed better than non-autistic individuals in the modified block design task; however, this was only true when the Wechsler FSIQ was used as a covariate (see also Stevenson and Gernsbacher, 2013). Indeed, group differences were no longer observed when we controlled for intelligence with the RPM. This result is consistent with the findings of Dawson et al. (2007). They demonstrated that autistic individuals who performed on average within the 60th percentile in the block design subtest, versus the 25th percentile for control individuals with the same FSIQ level, had a mean RPM intelligence score also in the 60th percentile. This study demonstrated that particular perceptual performances in autism depend on the matching variable, with some peaks of ability disappearing when groups are matched with IQ measures that do not underestimate intelligence (i.e., RPM). In addition to the mid-level, block design task, a similar matching effect has also been found for other low-level visual tasks, such as inspection time (Barbeau et al., 2013).

In contrast, we found no differences between groups for performances in low-level visual and mid-level auditory tasks included in our design. Therefore, our analysis did not replicate previous studies controlling for Wechsler's FSIQ, in which autistic individuals (Bertone, Mottron, Jelenic, Faubert, et al., 2005) and children at risk of autism (McCleery et al., 2007) were shown to be more sensitive to luminance-defined information than control individuals. Moreover, we

found that the TD control group performed better in this task than the autistic group when we controlled for intelligence with RPM. In addition, our results do not replicate previous findings that autism is associated with a local processing advantage for melody processing, because TD controls of average RPM intelligence were more sensitive than autistic individuals to local changes in simple melodies. This discrepancy may be due to differences in task sensitivity between studies. Indeed, Bouvet et al. (2014) showed that autistic individuals were more adept at detecting local elements within musical stimuli than RPM and Wechsler's performance IQ-matched controls; however, global to local interference was poorer in autistic individuals than in controls.

Overall, these findings suggest that although high performance in perceptual tasks is a defining indicator of atypical perception in autism, perceptual particularities cannot be simply interpreted as "stronger than typical" perception. For instance, autism-associated proficiency in the block design test results from autonomy from the top down influence of perceptual cohesiveness, which may or not result in exceptional performance according to the difficulty of the task (Caron et al., 2006a).

Explaining the residual covariation between tasks beyond the *g*-factor: the *p*-factor

Figure 1 shows a plausible model that may account for the different pattern of covariation between tasks, and the relationship between tasks and intelligence observed among autistic and non-autistic groups. As indicated in the theoretical model accounting for our results, a significant part of the covariance in task performance could not be explained by intelligence both in the autistic and the TD control group, although different factors may account for this trend in autistic and non-autistic individuals (Table 4). Figure 1b&c shows a plausible model that may account for the different pattern of covariation between tasks, and the relationship between tasks and intelligence observed among autistic and non-autistic groups. For non-autistic participants, all observed covariation could either be explained by a common relationship with intelligence, or with a unimodal, auditory aptitude factor. A residual covariation between visual tasks is found in non-autistics when statistical control is made with RPM, but it vanished when the statistical control is made with FSIQ. Since the FSIQ is considered a more accurate measure than RPM in this group, the unimodal visual aptitude factor is not included in the model. However, in the

autistic group, a different pattern of covariation emerges in which covariation across visual tasks and between plurimodal tasks requires additional, explanatory factors.

General intelligence (i.e., the g-factor) accounts for around one fifth of the variance in perceptual tasks in the typically developing population. Intelligence is typically related to performance in perceptual tasks such as inspection time (Grudnik & Kranzler, 2001), motion perception (Melnick et al., 2013) or pitch discrimination (Acton & Schroeder, 2001) in typically developing individuals. According to the Cattell-Horn-Carroll theory (McGrew, 2005), several broad abilities are responsible for the variance that cannot be explained by fluid and crystallized intelligence, or by their combination (Mackintosh, 2011). The proportion of variance that cannot be explained by intelligence increases with IQ, and has been attributed to the differentiation of specific abilities (Mackintosh, 2011). This explanation may also account for covariation in the autistic group that cannot be explained by the g-factor. Current data suggest *the differentiation of perception at large*, in addition to covariation explained by the broad, modality-specific abilities in typical individuals. Accordingly, covariation of performance in low-level tasks involving *two different modalities* (thereby involving anatomically independent processing systems), as well as *two different levels of perceptual integration* (low- and mid-level), indicates that several perceptual abilities may be influenced by a specific plurimodal perceptual aptitude factor in autism. We propose to label this factor the *p-factor*, to distinguish it from the g-factor. Such an altered perceptual factor in autism is likely to underlie and generate cascade effects on several cognitive and adaptive mechanisms (Bertone, Hanck, Kogan, Chaudhuri, & Cornish, 2010; Vattikuti & Chow, 2010), including, but not limited to, various perceptual abilities across modalities.

Reports of these alterations suggest a model in which several genetic mutations promote the construction of local neural networks (Ben-David & Shifman, 2012), which would plausibly have a greater effect on low-level coding mechanisms than subsequent, more complex stages of processing. According to several, recent systematic analyses and reviews, most mutations involved in autism converge toward enhanced plasticity mechanisms (Poulin-Lord et al., 2014). One hypothesis therefore is that the p-factor represents the interface between the final common genetic pathway of mutation involved in autism, and neurocognitive cascade effects. Both early visual and auditory sensory systems are selectively responsive to frequency-defined perceptual

attributes (spectral or spatial frequency); therefore, we propose that atypical, probably overstimulated, tuning of frequency-selective mechanisms is a type of local alteration common to both perceptual modalities in autism. Frequency-selective mechanisms are modulated by the balance of excitatory/inhibitory activity which encodes elementary information (Ferster & Miller, 2000). Both animal and human studies have shown that GABA mediates this balance in both visual and auditory modalities (Edden, Muthukumaraswamy, Freeman, & Singh, 2009; Razak & Fuzessery, 2009, 2010). The implication of altered lateral GABAergic inhibition in perceptual anomalies in autism is consistent with behavioural, physiological and genetic demonstrations of altered lateral inhibition within early visual areas in autism (Bertone et al., 2010; Fatemi, Folsom, Reutiman, & Thuras, 2009; Fatemi, Reutiman, Folsom, & Thuras, 2009). There is also evidence that high concentrations of GABA in humans are related to enhanced line orientation (Edden et al., 2009) and tactile discrimination thresholds (Puts, Edden, Evans, McGlone, & McGonigle, 2011), supporting the hypothesis that GABAergic mechanisms play an important role in cross-modal alteration of perception in autism.

Limitations and Conclusions

Our findings may have been influenced by the choice of task. Indeed, the identity of the p-factor that is responsible for perceptual covariation is unknown, and some tasks may be more dependent than others on this mechanism. This is the first study of its kind; therefore, the analyses were mostly exploratory and not corrected for multiple analyses. Statistical adjustments (Bonferonni type) became overly conservative when analyses involved correlated independent variables, or when analyses were repeated on multiple correlated dependent variables. Moreover, our analytic strategy was limited by samples size and the number of tasks. We recommend that large scale studies should be carried out in the future. Such studies should include several tasks within and between levels and modalities and use statistical methods such as factor analysis and structural equation modelling to identify the precise components of the perceptual p-factor. A similar study involving tasks associated with exceptional performance in autism [e.g. for mid-level auditory level (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014) and for low-level visual level (Keïta et al., 2014)] may also unravel strong effects.

The results of multiple linear regression analyses should be considered as underestimates of the link between observable performances and the unobservable p-factor. Furthermore,

previous studies have assumed equal regression slopes when applying standard methods to control for intelligence (e.g., matching participants within groups). However, as demonstrated in this study, unequal regression slopes can indicate varying group differences along the intelligence scale and/or inaccuracy of the measure of intelligence used. This highlights the importance of testing this assumption whenever sample size and available data make it possible, regardless of the method of control (matching or statistical) and the measure of intelligence (e.g., RPM or Wechsler) chosen. Only then can we make accurate interpretations about the generalization of findings.

Acknowledgements. We thank Dr. Kate Plaisted and HRDP autism research team members for comments on the manuscript, as well as our research assistant Chloé Paquin-Hodge for testing the participants.

Conflict of Interest: none

Table S1. Number of participants excluded a. in each task, because of failure to complete task. Numbers in table S1.a. also include the 3 autistic and 8 control participants with musical experience who are excluded solely from auditory task (i.e., Pitch and Music), and b. within regression analysis because of residuals >3 standard deviations.

a.		Autistics		TD Controls	
		Number of Subjects Excluded	Final Group Sample Size	Number of Subjects Excluded	Final Group Sample Size
	Pitch	12	34	13	33
	LC	2	44	0	46
	Music	3	43	9	37
	Block design	6	40	2	44

b.		Controlling for FSIQ		Controlling for FSIQ	
		Number of Subjects Excluded	Final Full Sample Size	Number of Subjects Excluded	Final Full Sample Size
Low-Level Tasks	Independent Variable → Dependent Variable				
	Pitch→LC	0	65	0	65
	LC→Pitch	1 TDC	64	1 TDC	64
Mid-Level Tasks	Music→Block	0	71	1 TDC	70
	Block →Music	0	71	0	71
Visual Modality	LC→Block	0	82	2 TDC	80
	Block →LC	0	82	0	82
Auditory modality	Pitch→Music	0	64	1 AUT	63
	Music→Pitch	0	64	0	64

TDC: TD control; AUT: autistic.

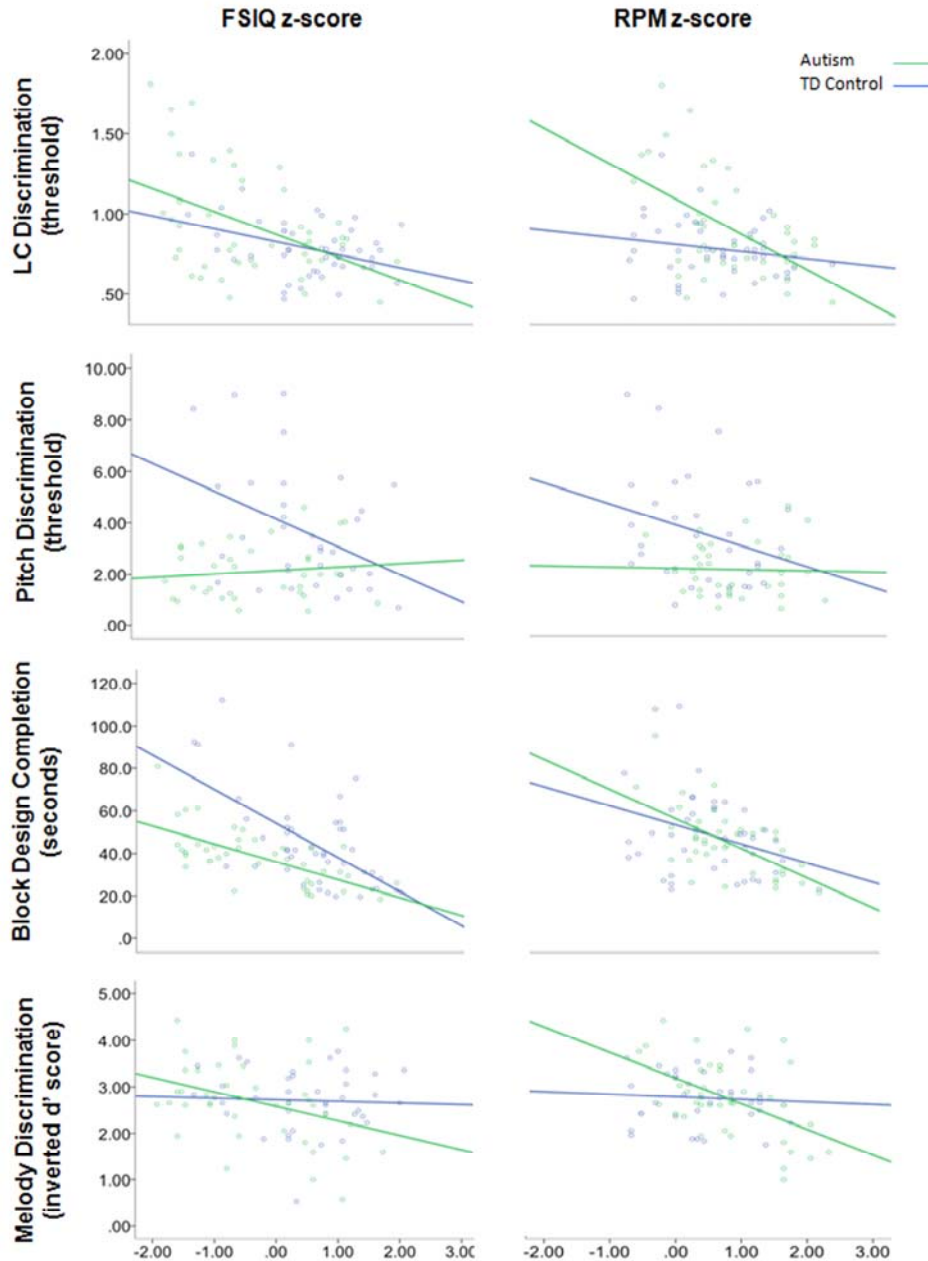


Figure S1. Task performance - intelligence relationships: groups differences. Raw performance for each experimental task (y axes) plotted on intelligence level (x axes). Autistics are in green, TD controls in blue. These graphs represent the statistics found in Table 2. The statistics presented in Table 3 can also be visualized on this figure by looking at differential group performances, for intelligence levels at 0SD and +1SD. Note that the Block Design graph does not exactly illustrate the statistics from Table 2 and 3 since a 2D representation of the data could not include motor speed as a covariate. LC: Luminance-contrast.

References

- Abell, F., Krams, M., Ashburner, J., Passingham, R., Friston, K., Frackowiak, R., . . . Frith, U. (1999). The neuroanatomy of autism: a voxel-based whole brain analysis of structural scans. *Neuroreport*, *10*(8), 1647-1651.
- Acton, G. S., & Schroeder, D. H. (2001). Sensory discrimination as related to general intelligence. *Intelligence*, *29*(3), 263-271.
- American Psychiatric Association., & American Psychiatric Association. DSM-5 Task Force. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-5* (5th ed.). Arlington, Va.: American Psychiatric Association.
- Barbeau, E. B., Soulieres, I., Dawson, M., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2013). The level and nature of autistic intelligence III: Inspection time. *J Abnorm Psychol*, *122*(1), 295-301.
- Ben-David, E., & Shifman, S. (2012). Networks of neuronal genes affected by common and rare variants in autism spectrum disorders. *PLoS Genet*, *8*(3), e1002556.
- Bertone, A., Hanck, J., Kogan, C., Chaudhuri, A., & Cornish, K. (2010). Associating neural alterations and genotype in autism and fragile x syndrome: incorporating perceptual phenotypes in causal modeling. *J Autism Dev Disord*, *40*(12), 1541-1548.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, *128*(Pt 10), 2430-2441.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., Faubert, J., Bertone, A., Mottron, L., . . . Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, *128*(Pt 10), 2430-2441.
- Bhatara, A., Babikian, T., Laugeson, E., Tachdjian, R., & Slinger, Y. S. (2013). Impaired timing and frequency discrimination in high-functioning autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, *43*(10), 2312-2328.

- Bonnel, A., McAdams, S., Smith, B., Berthiaume, C., Bertone, A., Ciocca, V., . . . Mottron, L. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia*, *48*(9), 2465-2475.
- Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnel, A. M. (2003). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: a signal detection analysis. *J Cogn Neurosci*, *15*(2), 226-235.
- Bouvet, L., Simard-Meilleur, A. A., Paignon, A., Mottron, L., & Donnadieu, S. (2014). Auditory local bias and reduced global interference in autism. *Cognition*, *131*(3), 367-372.
- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006a). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, *129*(7), 1789-1802.
- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006b). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, *129*(Pt 7), 1789-1802.
- Conrad, R. (1979). *The deaf schoolchild: Language and cognitive function*: HarperCollins Publishers.
- Dawson, M., Soulieres, I., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2007). The level and nature of autistic intelligence. *Psychol Sci*, *18*(8), 657-662.
- Edden, R. A., Muthukumaraswamy, S. D., Freeman, T. C., & Singh, K. D. (2009). Orientation discrimination performance is predicted by GABA concentration and gamma oscillation frequency in human primary visual cortex. *J Neurosci*, *29*(50), 15721-15726.
- Falter, C. M., Braeutigam, S., Nathan, R., Carrington, S., & Bailey, A. J. (2012). Enhanced Access to Early Visual Processing of Perceptual Simultaneity in Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord*.
- Fatemi, S. H., Folsom, T. D., Reutiman, T. J., & Thuras, P. D. (2009). Expression of GABA(B) receptors is altered in brains of subjects with autism. *Cerebellum*, *8*(1), 64-69.

- Fatemi, S. H., Reutiman, T. J., Folsom, T. D., & Thuras, P. D. (2009). GABA(A) receptor downregulation in brains of subjects with autism. *J Autism Dev Disord*, *39*(2), 223-230.
- Ferster, D., & Miller, K. D. (2000). Neural mechanisms of orientation selectivity in the visual cortex. *Annu Rev Neurosci*, *23*, 441-471.
- Grudnik, J. L., & Kranzler, J. H. (2001). Meta-analysis of the relationship between intelligence and inspection time. *Intelligence*, *29*, 523-535.
- Harvey, L. O., Jr. (1997). Efficient estimation of sensory thresholds with ML-PEST. *Spat Vis*, *11*(1), 121-128.
- Hayashi, M., Kato, M., Igarashi, K., & Kashima, H. (2007). Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder. *Brain and Cognition*.
- Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A., & Hill, E. (2008). Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders. *Cogn Neuropsychol*, *25*(6), 771-782.
- Heaton, P., Williams, K., Cummins, O., & Happe, F. (2008). Autism and pitch processing splinter skills: a group and subgroup analysis. *Autism*, *12*(2), 203-219.
- Jarvinen-Pasley, A., Wallace, G. L., Ramus, F., Happe, F., Heaton, P., Jarvinen-Pasley, A., . . . Heaton, P. (2008). Enhanced perceptual processing of speech in autism. *Developmental Science*, *11*(1), 109-121.
- Jemel, B., Mimeault, D., Saint-Amour, D., Hosen, A., & Mottron, L. (2010). VEP contrast sensitivity responses reveal reduced functional segregation of mid and high filters of visual channels in autism. *J Vis*, *10*(6), 13.
- Jones, C. R., Happe, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J., Tregay, J., . . . Charman, T. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2850-2858.

- Kaldy, Z., Kraper, C., Carter, A. S., & Blaser, E. (2011). Toddlers with Autism Spectrum Disorder are more successful at visual search than typically developing toddlers. *Dev Sci*, *14*(5), 980-988.
- Keïta, L., Guy, J., Berthiaume, C., Mottron, L., & Bertone, A. (sous presse). An early origin for detailed perception in autism: biased sensitivity for high-spatial frequency information. *Nature Science Reports*.
- Klin, A., Lin, D. J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, *459*(7244), 257-261.
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., & Risi, S. (1999). *Autism Diagnostic Observation Schedule-WPS (ADOS-WPS)*. . Los Angeles. CA: Western Psychological Services.
- Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *J Autism Dev Disord*, *24*(5), 659-685.
- Mackintosh, N. (2011). *IQ and Human Intelligence* (2 ed.). United States: Oxford university Press.
- McCleery, J. P., Allman, E., Carver, L. J., & Dobkins, K. R. (2007). Abnormal magnocellular pathway visual processing in infants at risk for autism. *Biol Psychiatry*, *62*(9), 1007-1014.
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell-Horn-Carroll theory of cognitive abilities: Past, present, and future. In D. P. Flanagan, J. L. Genshaft & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 136-182). New York: Guilford.
- Melnick, M. D., Harrison, B. R., Park, S., Bennetto, L., & Tadin, D. (2013). A Strong Interactive Link between Sensory Discriminations and Intelligence. *Current biology : CB*, *23*(11), 1013-1017.
- Micheyl, C., Delhommeau, K., Perrot, X., & Oxenham, A. J. (2006). Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination. *Hear Res*, *219*(1-2), 36-47.
- Mitchell, P., Mottron, L., Soulieres, I., & Ropar, D. (2010). Susceptibility to the Shepard illusion in participants with autism: reduced top-down influences within perception? *Autism Res*, *3*(3), 113-119.

- Mottron, L. (2004). Matching strategies in cognitive research with individuals with high-functioning autism: current practices, instrument biases, and recommendations. *J Autism Dev Disord*, 34(1), 19-27.
- Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2013). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neurosci Biobehav Rev*, 37(2), 209-228.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulieres, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception. *J Autism Dev Disord*, 36(1), 27-43.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulieres, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced Perceptual Functioning in Autism: An Update, and Eight Principles of Autistic Perception. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, 36(1), 27-43.
- Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000a). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *J Child Psychol Psychiatry*, 41(8), 1057-1065.
- Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000b). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 41(8), 1057-1065.
- Pellicano, E., & Stears, M. (2011). Bridging autism, science and society: moving toward an ethically informed approach to autism research. *Autism Res*.
- Peretz, I. (1987). Shifting ear differences in melody comparison through transposition. *Cortex*, 23(2), 317-323.
- Perreault, A., Gurnsey, R., Dawson, M., Mottron, L., & Bertone, A. (2011). Increased sensitivity to mirror symmetry in autism. *PLoS One*, 6(4), e19519.
- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Arch Gen Psychiatry*, 68(1), 101-109.

- Poulin-Lord, M. P., Barbeau, E., Soulières, I., Monchi, O., Doyon, J., Benali, H., & Mottron, L. (2014). Increased Topographical Variability of Task-related Activation in Perceptive and Motor Associative Regions in Adult Autistics. *Neuroimage: Clinical*.
- Puts, N. A., Edden, R. A., Evans, C. J., McGlone, F., & McGonigle, D. J. (2011). Regionally specific human GABA concentration correlates with tactile discrimination thresholds. *J Neurosci*, *31*(46), 16556-16560.
- Razak, K. A., & Fuzessery, Z. M. (2009). GABA shapes selectivity for the rate and direction of frequency-modulated sweeps in the auditory cortex. *J Neurophysiol*, *102*(3), 1366-1378.
- Razak, K. A., & Fuzessery, Z. M. (2010). GABA shapes a systematic map of binaural sensitivity in the auditory cortex. *J Neurophysiol*, *104*(1), 517-528.
- Remington, A. M., Swettenham, J. G., & Lavie, N. (2012). Lightening the load: perceptual load impairs visual detection in typical adults but not in autism. *J Abnorm Psychol*, *121*(2), 544-551.
- Samson, F., Mottron, L., Soulieres, I., & Zeffiro, T. A. (2012). Enhanced visual functioning in autism: an ALE meta-analysis. *Hum Brain Mapp*, *33*(7), 1553-1581.
- Schwarzkopf, D. S., Anderson, E. J., de Haas, B., White, S. J., & Rees, G. (2014). Larger extrastriate population receptive fields in autism spectrum disorders. *J Neurosci*, *34*(7), 2713-2724.
- Sinclair, J. (1999). Why I dislike "person first" language.
http://www.jimsinclair.org/person_first.htm. Retrieved August 2010
- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., . . . Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Hum Brain Mapp*, *30*(12), 4082-4107.
- Spearman, c. (1904). General Intelligence, Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, *12*(2), 201-292.

- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract spatial reasoning as an autistic strength. *PLoS One*, *8*(3), e59329.
- Tervaniemi, M., Kruck, S., De Baene, W., Schroger, E., Alter, K., & Friederici, A. D. (2009). Top-down modulation of auditory processing: effects of sound context, musical expertise and attentional focus. *Eur J Neurosci*, *30*(8), 1636-1642.
- Vattikuti, S., & Chow, C. C. (2010). A computational model for cerebral cortical dysfunction in autism spectrum disorders. *Biol Psychiatry*, *67*(7), 672-678.
- Vlamings, P. H., Jonkman, L. M., van Daalen, E., van der Gaag, R. J., & Kemner, C. (2010). Basic abnormalities in visual processing affect face processing at an early age in autism spectrum disorder. *Biol Psychiatry*, *68*(12), 1107-1113.
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, *18*(3), 293-297.
- Woodbury-Smith, M. R., Robinson, J., Wheelwright, S., & Baron-Cohen, S. (2005). Screening adults for Asperger Syndrome using the AQ: a preliminary study of its diagnostic validity in clinical practice. *J Autism Dev Disord*, *35*(3), 331-335.
- Zwaigenbaum, L. (2010). Advances in the early detection of autism. *Curr Opin Neurol*, *23*(2), 97-102.

Article 2: Prevalence of Clinically and Empirically Defined Talents and Strengths in Autism

Andrée-Anne Simard-Meilleur, Patricia Jelenic, Laurent Mottron

Centre d'excellence sur les Troubles envahissant du développement de l'université de Montréal (CETEDUM). Hôpital Rivière-des-Prairies.

Sous presse dans la revue *Journal of Autism and Developmental Disorders (JADD)*

Abstract

Outstanding skills, including Special Isolated Skills (SIS) and Perceptual Peaks (PP) are frequent features of autism. However, their reported prevalence varies between studies and their co-occurrence is unknown. We determined the prevalence of SIS in a large group of 254 autistic individuals and searched for PP in 46 of these autistic individuals and 46 intelligence and age-matched controls. The prevalence of SIS among autistic individuals was 62.5% and that of PP was 58% (13% in controls). The prevalence of SIS increased with intelligence and age. The existence of an SIS in a particular modality was not associated with the presence of a PP in the same modality. This suggests that talents involve an experience-dependent component in addition to genetically defined alterations of perceptual encoding.

Keywords: perception, savant, talent, block, pitch, expertise.

Introduction

The presence of a discrepancy between the apparent level of cognitive or adaptive functioning and at least one competence was reported in neurodevelopmental syndromes as early as two centuries ago (e.g., Gottfried Mind, 1768-1814). It was included in Kanner's (1943) and Asperger's (1944) seminal description of what is currently known as the autism spectrum. The variety of assumptions regarding the relation between these talents and intelligence is reflected in their multiple, overlapping labels: idiot savant, savant syndrome, splinter skills, islets of abilities, special isolated skill, peaks of abilities, uneven cognitive profile, and cognitive disharmony. Reports of autistic talents vary depending on the criteria used to define them. They can be characterized as an area of functioning in the average or superior range in an individual with intellectual disability. Alternatively, they may involve a discrepancy between performance level in a particular domain and an individual's general level of cognitive functioning, or that expected for his/her age or developmental level. With few exceptions (Bennett & Heaton, 2012; Bouvet, Donnadieu, et al., 2014; Heaton et al., 1999), most case studies on talent are limited to the description of outstanding abilities noticed by the subject's close relatives, such as precocious reading, or to domains of skills randomly revealed by cognitive tests, such as visuospatial abilities. Most studies may therefore underestimate talents that are either concealed or not examined in typical cognitive tests. Moreover, there is considerable variation in the reported prevalence of talents among studies, from the most quoted figure of 10% of autistic individuals in Rimland's historical study (Rimland, 1978), to 71 % in another study by Rapin and colleagues (1996). Due to these inconsistencies, it is unclear whether talents are a specific feature of the autistic phenotype. Nonetheless, autistic individuals make up at least 50% of people presenting such abilities, suggesting that the development of discrepant skills is more likely to be favored in autism than in other neurodevelopmental conditions (Heaton & Wallace, 2004; Miller, 1999; O'Connor & Hermelin, 1989). The variability in the reported prevalence of talents could be explained by differences in the characteristics of study participants (age, sex, intelligence, language level), and by differences both in the definition of talents and in tools used to measure performance level for particular abilities. Table 1 summarizes studies reporting the prevalence of talents in autistic individuals, including the initial reports of Kanner (1943) and Asperger (1944).

Outstanding skills in autistic individuals may involve domain-general abilities found at the group level (generally referred to as peaks or islets of abilities) or domain-specific abilities at the individual level, often called savant syndrome. We will herein refer to domain-general abilities as “strengths” and domain-specific abilities as “talents” to avoid the discriminative assumptions behind these terms. Strengths are indicative of altered information processing, whereas talents are more influenced by practice and expertise (Mottron, Bouvet, et al., 2013). A cognitive strength is defined as a discrepancy between an individual’s capability in a non-verbal standardized task, mostly perceptual in nature (e.g., Wechsler’s block design subtest), and their average cognitive performance, which is measured with a combination of tasks that are frequently verbally mediated (e.g., Wechsler’s global IQ). Although the term ‘strength’ refers to performance level in one particular type of task, it aims to reflect “domain general” strengths, which can be applicable to a large array of tasks. By contrast, a clinically defined talent, which is referred to in the ADI-R (Lord et al., 1994) as a “Special Isolated Skill” (SIS), is defined as a discrepancy between a domain of performance and overall adaptive or functioning level. Depending on the definition used, both strengths and talents can be inferior, equivalent or superior to the performance level of typically developing individuals of comparable age in the general population.

Although both strengths and talents are probably characteristic of autism, these two measures do not seem to overlap, and the relationship between them is poorly documented. Strengths are frequently considered to be implicated in the occurrence of talents, although the demonstration of a direct link between these two types of abilities is still lacking (Caron et al., 2006a; Heaton, Williams, et al., 2008; Vital, Ronald, Wallace, & Happe, 2009). Howlin and colleagues (2009) conducted the first study of the association between autistic strengths, defined with standardized cognitive tests, and talents, defined clinically with parental reports, within a single population. They investigated the nature and prevalence of strengths and talents in 137 autistic individuals at two different time points. These authors also examined whether the presence of outstanding skills varied according to sex and assessed the relationship between these skills and the presence of repetitive, restricted and stereotyped behaviors during development. They found that 25.8% of autistic individuals had talents, 26.4% had cognitive strengths, and 28.5% had one or both types of skills. They reported only a modest overlap (8.6%)

between talents and strengths. Although this study represents a considerable advance in our understanding, it leaves important issues unanswered. First, it did not examine what is arguably the most common strength, a perceptual peak of performance in pitch discrimination. Also, the authors limited their search of talents to “current” presentations; therefore, talents closely related to development, such as early attainment of academic milestones in reading, were left undocumented. Here, we carried out two studies designed to investigate the nature and prevalence of talents (Study 1) and perceptual strengths (Study 2) in a large group of strictly defined autistic individuals across a wide range of age and intelligence levels. We investigated visual and auditory perceptual strengths in Study 2 with experimental tasks that included a modified block design task and a pitch discrimination task. Enhanced visual pattern detection and manipulation (Mottron, Soulières, & Dawson, 2013; Stevenson & Gernsbacher, 2013) and superior pitch discrimination (Bonnell et al., 2003a; Heaton, Williams, et al., 2008; O'Connor, 2012) in autistic people, has been replicated in numerous studies. We sought to address the following questions: a) What is the prevalence of outstanding abilities (Study 1: talents, Study 2: perceptual strengths)? b) What are the predisposing factors (e.g., intelligence, age, sex) for each type of outstanding ability? and c) What is the pattern of co-occurrence of outstanding abilities across modalities (visual and auditory)? Answers to these questions will improve our understanding of the contribution of expertise and educational opportunities *versus* innate predispositions to the development of outstanding skills. In keeping with the current consensus on language in autism research, the term “autistic individual” rather than “person with autism” is used in a respectful way (Pellicano & Stears, 2011; Sinclair, 1999).

Table 1. Group studies investigating numerous talents and strengths in ASD, including Kanner and Asperger's seminal descriptions.

	N, diagnosis; mean age (range); mean intelligence level (range)	Skill definitions	Skill assessment tools; information sources	Skill types (prevalence in %)
Kanner, (1943)	11, autistics; 5.38 (2.33-11); From "severe intellectual defect" to "superior intelligence"	Observations ranging from "At the age of 1 year he could hum and sing many tunes accurately." to "...and had an excellent rote memory."	Direct observation; Clinician and parental reports	Any Talent (54.5); Memory (54.5); Music (36.3)
Asperger, (1944)	4, autistics; 8.25 (6-11); IQ n/a	Observations ranging from "His extraordinary calculating ability had been reported by the parents and verified by us." to "He was an excellent speller and never made mistakes."	Direct observation; Clinician and parental report	Any Talent (75); Memory (50); Calculation (25); Spelling (25)
Rimland et al. (1978)	540, autistics; Age and IQ n/a	"...any "special abilities" the child may display."	Postal survey; Parental report	Any Talent (9.8)
Rapin et al. (1996)	51 "High-functioning autistics"; 4.8 (range n/a); NVIQ 102.9 (range n/a) 125 "Low-functioning autistics"; 5.0 (range n/a); NVIQ 45.6 (range n/a)	"...whether they (parents) felt that their child had unusually well developed abilities in memory, mathematics, recognition of letters and numbers, music or motor skills."	Questionnaire; Parental report	Memory (70.6); Number and Dates (45.1); Puzzle/Spatial skills (35.3); Music (27.5); Fine motor (21.6); Letters/Numbers (25.5); Other (31.4) Memory (44); Dates (13.6); Puzzle/Spatial skills (26.4); Music (23.2); Fine motor (14.4); Letters/Numbers (9.6); Other (17.6)
Bölte and Pouska, (2004)	254 autistic probands; 15.54 (6-49); FSIQ 72.56 (32-129)	ADI-R Score of 3 or 4 coded on "current" behaviour: Level of ability above the participant's own level of functioning as well as above normative levels for his age, but without (3) or with (4) functional or adaptive use of skill in daily life	ADI-R Special Isolated Skills items (106-111); Parental report	Any Talent in memory, music, computation, reading, visual-spatial and/or drawing (13)

Howlin et al. (2009)	<i>Assessment 1</i> 87/137 autistics; 24.1 (11-48); FSIQ 77.52 (39-130)	Exceptional cognitive skill on any Wechsler subtests (1 SD \geq population norms and 2 SD \geq participant's mean)	Wechsler subtests; Psychometric assessment	Strength in cognitive skill for at least one Wechsler subtest (26.4)
	<i>Assessment 2</i> 93/137 autistics; 34.2 (21-55); PIQ 73.56 (29-135)	Outstanding skill/knowledge definitely above subject's general level of ability and above population normal level	Questionnaire; Parental report	Any Talent in memory, music, computation (including calendrical calculation) and/or visual-spatial (25.8)
	137/137 autistics n/a (11-55) PIQ 69.9 (28-135) VIQ 77.5 (7-134)	See definitions above	Questionnaire and Wechsler subtests	Any Talent and/or cognitive skills (28.5)
Jones et al. (2009)	100 ASD; 15.6 (14.8 – 16.9) FSIQ 84.3 (50-119)	Test performance highly discrepant from own general intellectual functioning	Wechsler Objective Reading and Numerical Dimensions and Test of Word Reading Efficiency; Psychometric assessment	Strength in literacy and/or mathematics (72.7)
Bennett and Heaton, (2012)	125 ASD; 10.0 (3 - 20); IQ n/a but 7.9 % had intellectual disability	One or more skills that were outstanding given their functioning skills using 9 structured and open-ended questions	Questionnaire; Parental report	Any Talent (42); Memory/knowledge (28); Mathematical/numerical (15.2); Artistic (9.6); Music (9.6); Reading/vocabulary (9.6); Spatial (8.8); ICT (8.8); Mechanical (3.2); Other (4.8)
Current study	<i>Study 1</i> 254 autistics; 11.35 (2-39) FSIQ 87 (40-130) (n=171)	ADI-R Score of 2 or 7 coded on "current" or "ever" behaviour: Level of ability above the participant's own level of functioning as well as above normative levels for his age, but without (2) or with (7) functional or adaptive use of skill in daily life.	ADI-R Special Isolated Skills items (88-93); Parental report	Any Talent (62.6); Memory (52.5); Visuospatial (32); Reading (22.4); Drawing (17.5); Music (16.9); Computation (16.7)
	<i>Study 2</i> 43/254 autistics; 20.81(14-36); FSIQ 105 (71-125)	Perceptual Peak on experimental tasks (1 SD \geq population mean)	Modified Block Design and Pitch Discrimination Tasks; Experimental Testing	Strength in perceptual performance for at least one experimental task (57.5)
	Same 43 subjects	See definitions above	ADI-R Special Isolated Skills items (88-93) and Exp. Tasks	Any Talent and/or Perceptual Peak (88.4)

D: Autism Spectrum Disorders; FSIQ: Full Scale IQ; VIQ: Verbal IQ; PIQ: Performance IQ; NVIQ: non verbal IQ; ADI-R: Autism Diagnostic Interview-Revised

Methods

Participants

Only autistic participants were included in Study 1. The research cohort was composed of 265 autistic individuals enrolled at the « Centre d'Excellence des Troubles Envahissants du Développement de l'Université de Montréal » (CETEDUM) Research Database with available data for the "Special Isolated Skills" (SIS) section of the ADI-R. None of the participants satisfied the DSM-IV Asperger criteria. All autistic participants were diagnosed in the Specialized ASD Clinic at the Rivière-des-Prairies Hospital and consented to the use of their assessment data for research purposes. This clinic receives all suspected ASD individuals living in the eastern part of Montreal (Quebec), in addition to adults from the greater Montreal area. Trained clinicians diagnosed participants with standardized tools (ADI-R and/or ADOS) and clinical expert judgment based on DSM-IV criteria. Ten (3.8%) participants with ASD associated with medical conditions (e.g., fragile-X syndrome) or other neurological conditions (e.g., epilepsy) were excluded, along with one other subject, who was considerably older (65 years old) than the rest of the group. In the end, talents, defined as SIS, were investigated in Study 1 in 254 autistic individuals (223 males and 31 females). Of these, 150 (59%) had completed the Raven Progressive Matrices (RPM) (Raven & Summers, 1986; Spreen & Strauss, 1991) and 171 (67%) had completed either the child (WISC) (Wechsler, 1991; Wechsler, 2003) or adult (WAIS) (Wechsler, 1997, 2008) version of the Wechsler's Intelligence Scales. Overall, 138 (54%) completed both tests (Table 2a).

In Study 2, perceptual peaks of ability were assessed in both autistic and typically developing (TD) individuals. A sample of 46 autistic individuals was randomly selected from individuals in Study 1 who were over 14 years old with an RPM above the 25th percentile. These criteria regarding age and cognitive level (i.e., average range) were selected to ensure adequate understanding of the task instructions. Forty-six TD controls meeting the same inclusion criteria were also randomly selected from the CETEDUM Research Database. TD controls included in this database are recruited through public advertisements distributed to hospital employees, parents and friends of research staff as well as colleges and universities in the Montreal area. Neither TD participants nor their first-degree relatives had any history of ASD or other neurodevelopmental or neurological conditions. Autistic and TD control groups included in Study 2 were matched for

RPM rather than the Wechsler's scale to prevent the effect of circularity on peaks of ability that are defined relative to Wechsler's global IQ. Participants with more than 5 years of formal musical and/or visual art education were removed from the analyses (three autistic individuals and eight controls), because training may influence perceptual performance (Micheyl et al., 2006; Tervaniemi et al., 2009). The final sample consisted of 43 autistic individuals and 38 TD controls (Table 2b). The onsite ethics committee approved the research and all subjects gave written consent to participate.

Special Isolated Skills (SIS)

Special Isolated Skills (SIS) were determined with questions 88 to 93 of the ADI-R. SIS were conservatively defined as a coding of 2 or 7 (equivalent to 3 or 4 in earlier ADI versions), corresponding to a performance level above the participant's general level of cognitive functioning and above that expected for their age, with (7) or without (2) functional or adaptive use of the skill in daily life. A SIS was recorded as present if at least one outstanding ability occurred in either time frame explored, namely "current" and/or "ever".

Perceptual Peaks (PP)

Two perceptual tasks in which autistic individuals consistently perform better than typically developing (TD) controls were used to measure Perceptual Peaks (PP). This empirical study was part of a larger study on auditory and visual perception, containing a total of four different tasks (Meilleur, Berthiaume, Bertone, & Mottron, 2014). A pitch discrimination task (Bonnell et al., 2010) was used to measure the performance of low-level auditory perceptual processes. Frequency discrimination thresholds were measured at three levels (500Hz, 1000Hz, 1500Hz), presented in a random order by a single adaptive staircase procedure and Harvey's ML-PEST (Harvey, 1997). Peak analyses were conducted on performance in the 500Hz condition, because this condition was the most difficult condition and discriminated best between groups. Participants also completed a visual, modified block design (BD) task composed of three levels of perceptual cohesiveness (PC) (Caron et al., 2006a). The PC level was manipulated by changing the number of opposite-colored edges, or *edge cues*. The higher the PC, the more difficult the task, and the larger the difference in performance between autistic and non-autistic individuals (Caron

et al., 2006a). The “Maximum PC” condition was used for peak analysis (Figure 1), for similar reasons as the auditory task. In both tasks, participants who could not complete practice trials, obtain a minimum level of performance on initial test items, or complete enough trials to obtain a valid threshold measure, were excluded (Pitch task: three controls and seven autistic individuals; BD task: two controls and six autistic individuals). A PP was recorded as present if it occurred in one or both tasks.

Peak analysis was conducted with the modified t-test program¹(Crawford, Garthwaite, & Howell, 2009; Crawford & Howell, 1998). This statistical test was chosen to compare a single participant to a comparison group with a mean and standard deviation estimated on a small sample. For each experimental task, individual scores were entered into the program along with the mean, standard deviation and sample size of the control group. The program generated standardized levels of performance for each individual, expressed as a percentile (or ranked level of performance). Each participant’s performance ranking was then transformed into a z score and mapped onto a normal distribution. Similarly, each participant's Wechsler’s global IQ (GIQ) score, expressed as a standard score, was transformed into a z score. A ‘relative’ performance level, indicative of PP, was calculated for each individual by subtracting the participant’s baseline level of cognitive functioning from his/her level of performance on the experimental perceptual task. A relative ‘peak’ was defined as a performance level at least 1 standard deviation above the individual’s general cognitive functioning level (GIQ). Each task was then coded with a binary score based on the absence (score=0) or presence (score=1) of a perceptual peak.

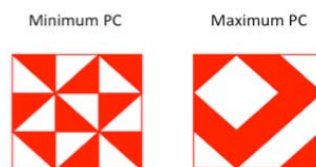


Figure 1. An example of two models of the block design task for the minimum (left) and maximum (right) perceptual coherence (PC) levels.

Footnotes

¹homepages.abdn.ac.uk/j.crawford/pages/dept/SingleCaseMethodology.htm

Table 2. Descriptive Characteristics of participants for a. Study 1: Talents, i.e. “Special Isolated Skills” and b. Study 2: Strengths, i.e. “Perceptual Peaks”

Talents (i.e. ADI-R “Special Isolated Skills”)							
	n	Mean	Range	SD			
Age in years	254	11.35	2 to 39	8.00			
Wechsler’s GIQ z-score	171	-0.85	-4.00 to 2.00	1.28			
RPM z-score	150	0.54	-2.33 to 2.33	1.11			
RPM raw score	150	41.2	7 to 60	11.99			

Strengths (i.e. “Perceptual Peaks”)							
	Autistics			TD Controls			p
	(n=43, 8 females: 35 males)			(n=38, 5 females: 33 males)			
	Mean	Range	SD	Mean	Range	SD	
Age in years	20.81	14 to 36	.94	20.24	14 to 25	.68	.606
Wechsler’s GIQ z-score	-0.39	-1.93 to 1.73	.99	.48	-1.33 to 2.07	.87	<.001*
RPM z-score	0.70	-1.30 to 2.30	.85	.42	-1.00 to 1.80	.74	.115
RPM raw score	46.33	27 to 60	7.00	45.71	31 to 57	7.09	.696

RPM: Raven Progressive Matrices (maximum raw score is 60); GIQ: Global IQ from Wechsler’s Intelligence Scales; SD: Standard Deviation; *p<.001

Statistical Analyses

All analyses were conducted with SPSS Version 21 (2012). Preliminary analyses were conducted in Study 2 to examine between-group differences in standardized performance scores for each task and between-task differences in performance for each group. Analyses of prevalence and predisposing factors were then conducted for Study 1 and 2 separately, and analyses of co-occurrence of peaks were conducted only as part of Study 2. A critical p -value of $p=0.01$ (instead of $p=0.05$) was used for all analyses to control for the multiplicity of tests and provide an adjustment that was not overly conservative. Cognitive results (standard scores for Wechsler's IQ and percentiles for RPM) were converted to z scores assuming a normal distribution.

Prevalence

For each study, the prevalence of SIS and PP was calculated as the percentage of peaks observed within the entire sample of autistic individuals and/or TD controls. Groups with and without peaks were compared with independent t -tests and Chi-square tests. Logistic regression analysis including group as a factor was conducted to determine the likelihood of an individual having a strength (SIS or PP) based on their group (autistic vs. TD control). The McNemar test was used to compare the prevalence of different strengths within a group.

Predisposing factors

Logistic regression analysis was then conducted to determine the likelihood of an individual having a strength (SIS or PP) based on various factors including age, intelligence (Wechsler's GIQ or RPM), sex, and group (autistic and TD control). Dependent variables included binomial coding (presence or absence of SIS and PP).

Co-occurrence of outstanding abilities in autistic individuals

The pitch discrimination peak was included in the logistic regression model as the independent variable, and the block design completion peak was included as the dependent variable to determine the likelihood of having a second PP when one was already present. Similar analyses were conducted to examine the co-occurrence of particular strengths within the same

modality. These analyses explored whether a history of a clinically defined visuospatial or drawing SIS was associated with a high chance of having an empirically defined peak in the BD task and whether a history of SIS in music was associated with a high chance of having a perceptual peak in the pitch discrimination task.

Results

Study 1: Special Isolated Skills (SIS)

Prevalence

We examined the prevalence of SIS in 254 autistic individuals. Table 3a shows the characteristics of the participants including age and intelligence level and Figure 2 illustrates the prevalence by domain. The proportion of autistic individuals with at least one reported SIS was 62.6% (159/254). Special memory skills were the most frequently reported SIS, and were found in 52.5% (127/242) of autistic individuals. Among autistic individuals with a clinically defined special skill, 71.7% (114/159) had more than one SIS. We also examined how frequently SIS are lost, which showed that SIS are lost in 5% to 22% (mean of 12%) of individuals, depending on the type of skill. However, the loss of all abilities was uncommon (5%).

Predisposing factors

Between-group analyses showed that individuals with SIS tended to be older and had higher intelligence levels, measured by either Wechsler's GIQ or RPM (Table 3a), than those without SIS. The sex ratio was similar between groups containing individuals with or without SIS. The logistic regression model including sex, intelligence, and age as independent variables and SIS as the dependent variable confirmed this result showing that age and intelligence, but not sex, were associated with SIS (Table 4a). We divided the groups according to age and found that an SIS was present in 27.8% of children between the ages of 2 and 5, 72.2% of children between the ages of 6 and 13, and 78.4% of adults and adolescents aged 14 years or more.

Table 3. Descriptive characteristics of participants with or without outstanding skills and between-group statistics for a. Special Isolated Skills (SIS) and b. Perceptual Peaks (PP).

		Special Isolated Skills (SIS)		Statistics	<i>p</i>
		With	Without		
Autistic Individuals	N (%)	159(62.6)	95(37.4)	Binomial Test	<0.001**
	Male (%)	141(63.2)	82(36.8)	$\chi^2(1, N=254)=.310$	0.578
	Wechsler's GIQ z-score (SD)	-0.67 (1.28)	-1.36 (1.13)	$t(169)=-3.208$	0.002*
	RPM z-score (SD)	0.68 (1.08)	0.04 (1.07)	$t(146)=-3.112$	0.002*
	Age in years (SD)	13.36 (8.25)	7.97 (6.28)	$t(237.455)=-5.878$	<0.001**
		Perceptual Peaks (PP)		Statistics	<i>p</i>
		With	Without		
Autistic Individuals	N (%)	23(57.5)	17(42.5)	Binomial Test	0.430
	Male (%)	20(87)	13(76.5)	Fischer Exact	0.432
	Wechsler's GIQ z-score (SD)	-0.73 (0.77)	0.25 (0.94)	$t(38)=3.620$	0.001*
	RPM z-score (SD)	0.85 (0.63)	0.70 (1.04)	$t(38)=-0.568$	0.574
	Age in years (SD)	20.00 (5.48)	21.47 (6.30)	$t(38)=0.787$	0.436
TD Controls	N (%)	5(13.2)	33(86.8)	Binomial Test	<0.001**
	Male (%)	5(100)	28(84.8)	Fischer Exact	1.000 ^a
	Wechsler's GIQ z-score (SD)	0.19 (1.23)	0.53 (0.82)	$t(36)=0.815$	0.421
	RPM z-score (SD)	0.34 (0.70)	0.43 (0.76)	$t(36)=0.258$	0.798
	Age in years (SD)	21.6(3.36)	20.03(3.73)	$t(36)=-0.886$	0.381

a. No female TD controls with a PP peak. Intelligence levels and ages are expressed as mean (SD); TD: Typically developing; RPM: Raven Progressive Matrices; GIQ: Global IQ from Wechsler's Intelligence Scales; SD: Standard Deviation; ** $p < 0.001$; * $p < 0.01$

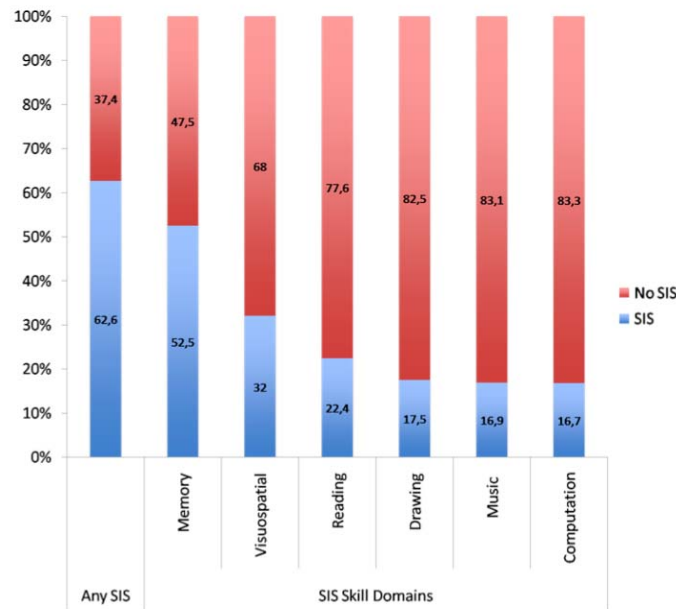


Fig. 2. Graph showing the percentage of the sample from Study 1 with (blue) and without (red) reported talents, or “Special Isolated Skills” (SIS), in any domain and in each of the six ADI-R SIS domains separately.

Study 2: Perceptual Peaks (PP) and Co-occurrence between modalities and types of SIS

Preliminary analyses on standardized performance scores

We examined overall group differences in auditory and visual performance for autistic and non-autistic individuals of comparable age and RPM measured intelligence. The autistic group was more sensitive to pitch change than the TD control group ($t(69)=-3.077, p=.003, d=-0.73$) and tended to perform better in the BD task, although this latter difference was not significant (trend, $t(71)=-1.924, p=.058, d=-0.45$) (Figure 3). Analysis of between-task differences revealed that the performance of autistic individuals in perceptual tasks was better than their general intellectual functioning when intelligence was measured by Wechsler’s GIQ, but not by RPM. This supports the findings of Dawson et al., which suggest that the intelligence level of autistic individuals is probably underestimated when measured with Wechsler’s GIQ and not RPM (Dawson et al., 2007). There were no statistically significant differences in performance between auditory and visual tasks in TD controls ($p>0.01$).

Performance level on experimental tasks and intelligence measures

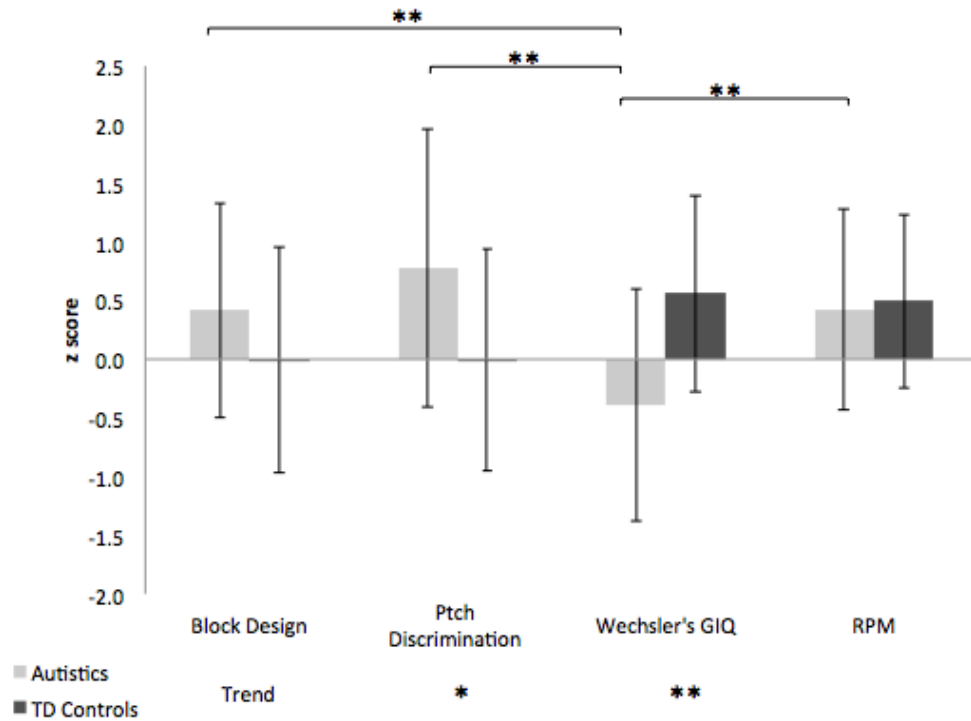


Fig. 3. Performance level on experimental tasks (Block design, Pitch discrimination) and on intelligence measures (Wechsler's Global IQ (GIQ), Raven Progressive Matrices (RPM)). Performance levels are shown in z score for autistics (light grey) and the typically developing (TD) controls (dark grey). The stars above the brackets, at the top of the graph, represent significance levels for differences in task performance separately for each group. The last line at the bottom of the graph indicates significance levels for between group differences in performance separately for each task and measure. ** $p < .001$ * $p < .01$

Table 4 Predisposing factors to a. Special Isolated Skills and b. Perceptual Peaks: age, intelligence (FSIQ or RPM), sex and group.

a. Special Isolated Skills					
Independent Variables	Coefficient (B)	S.E.	Wald	<i>p</i> -value	Exp(B) (Odds-Ratio)
Age in years	0.084	0.033	6.402	0.011	1.087
Wechsler's GIQ z-score	0.391	0.146	7.147	0.008*	1.479
Sex	-0.539	0.518	0.860	0.354	0.584
Constant	0.986	0.707	1.947	0.163	2.680
Age in years	0.101	0.038	7.009	0.008*	1.106
RPMz-score	0.525	0.188	7.808	0.005*	1.690
Sex	-0.606	0.648	0.874	0.350	0.546
Constant	0.406	0.770	0.278	0.598	1.501
b. Perceptual Peaks					
Independent Variables	Coefficient (B)	S.E.	Wald	<i>p</i> -value	Exp(B) (Odds-Ratio)
Age in years	0.040	0.060	0.441	0.507	1.041
Wechsler's GIQ z-score	-1.204	0.383	9.882	0.002 *	0.300
Sex	1.601	0.906	3.125	0.077	4.958
Group	1.729	0.632	7.481	0.006 *	5.636
Constant	-7.205	2.595	7.711	0.005 *	0.001
Age in years	-0.020	0.053	0.140	0.708	0.980
RPM z-score	0.137	0.346	0.156	0.693	1.146
Sex	0.924	0.785	1.385	0.239	2.520
Group	2.231	0.596	14.006	<0.001 **	9.307
Constant	-5.541	2.185	6.433	0.011	0.004

GIQ: Global IQ from Wechsler's Intelligence Scales; RPM: Raven Progressive Matrices. ***p*<.001 * *p*<.01

Prevalence

Table 3b shows the prevalence of PP (defined as a performance level at least 1 standard deviation above the general intellectual functioning of the particular individual) and the age and intelligence level of participants with or without PP. Figure 4 illustrates the prevalence of PP by modality. The proportion of autistic individuals with PP in at least one modality was 57.5% (23/40), whereas this figure was only 13.2% (5/38) for controls. Analysis of participants who successfully completed both empirical tasks (n=33 per group) showed that auditory and visual peaks were equivalently distributed in autistic (McNemar test $p=.774$) and non-autistic individuals (McNemar test $p=1.000$) (Figure 4). Logistic regression analysis showed that the chances of having a perceptual peak in either task were significantly greater for autistic individuals than for controls (Table 4b and Figure 4).

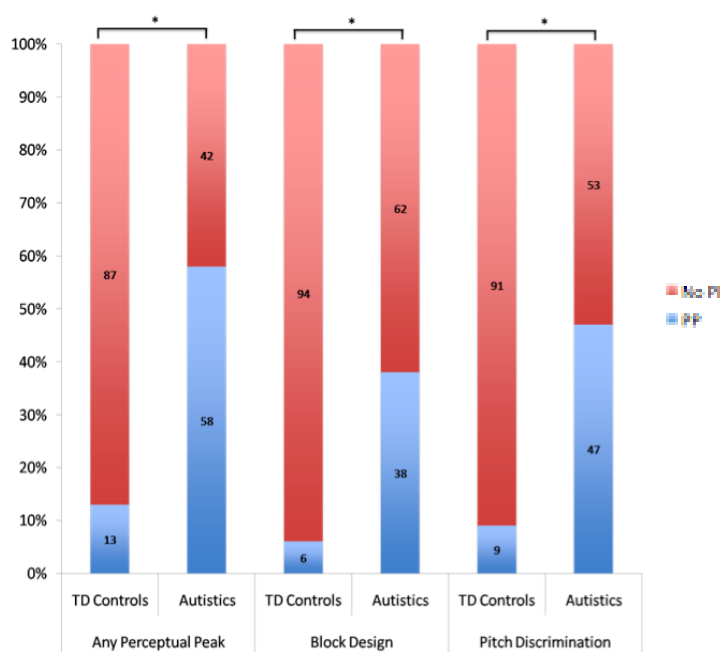


Fig. 4. Graph showing the percentage of the sample from Study 2 with (blue) and without (red) strengths, or “Perceptual Peaks” (PP), in any task and in each task separately. The graph shows the percentages separately for typically developing (TD) controls (left) and autistics (right). The proportion of individuals with and without PP is significantly different between TD controls and autistics. * $p<.01$

Comparison of the prevalence of PP and SIS among autistic individuals showed that the prevalence of PP (57.5%) was slightly lower than that of SIS found in the unselected large sample of Study 1 (62.6%). Furthermore, the prevalence of PP (57.5%) was significantly inferior to that of SIS (88%) within the subgroup of autistic adolescents and adults with average RPM intelligence ($\geq 25^{\text{th}}$ percentile) and with valid data for both PP and SIS ($n=40$) (McNemar test $p=.012$).

Predisposing factors

RPM was not associated with PP in either group, whereas Wechsler's GIQ was associated with PP in autistic individuals only, with a low GIQ favouring the presence of PP. Sex and age were not significantly associated with PP (Table 3b). Logistic regression analysis including sex, intelligence, and age as independent variables and PP as the dependent variable confirmed these results (Table 4b): Wechsler's GIQ, but not age and sex, showed an independent association with PP across groups.

Co-occurrence of outstanding abilities in autistic individuals

In autistic individuals, the presence of a PP in the pitch discrimination task was not significantly associated with the presence of a PP in the BD task ($p=.140$). PP co-occurred in perceptual and auditory tasks in 24% (8/33) of autistic participants, which slightly exceeds the proportion expected by chance (18%). None of the control participants had PP in both tasks, which is consistent with the expected co-occurrence of PP by chance (0.55%). Given the small sample sizes and low probability of the co-occurrence of PP, logistic regression analysis between PPs could not be reliably conducted for controls and the findings of this analysis should be interpreted with caution for autistic individuals.

We found that 86% of autistic individuals included in Study 2 had at least one SIS. Given the high prevalence of SIS in this subgroup, it was not surprising to find that 83% (19/23) of individuals who presented a PP (in the BD and/or pitch discrimination task) also presented at least one SIS. We carried out a logistic regression analysis with Wechsler's GIQ and SIS in music as independent variables and PP in pitch discrimination as the dependent variable. This analysis showed that autistic individuals with an SIS in music were not more likely to have a peak in pitch

discrimination than autistic individuals of similar intelligence without an SIS in music ($B=2.989$, $S.E. =1.604$, $Wald=3.473$, $p=0.062$, $O.R.=19.858$). Similarly, autistic individuals with an SIS in visuospatial activities (e.g. puzzles) or drawing were not more likely to have a perceptual peak in the BD task than autistic individuals of similar intelligence without an SIS in visuospatial activities or drawing ($p=0.288$ and $p=0.780$, respectively). Furthermore, an SIS in memory was not significantly associated with a PP in the BD task ($p=0.953$), but an SIS in memory tended to be associated with a peak in pitch discrimination ($B=3.392$, $S.E. =1.504$, $Wald=5.089$, $p=.024$, $O.R.=29.723$), when intelligence was controlled for by Wechsler's GIQ.

Discussion

Prevalence of outstanding abilities in autistic individuals

In this study, we report that the prevalence of outstanding skills (defined as a discrepancy between baseline function and at least one competence) in autistic individuals is two to three times higher than commonly reported in the literature. This is true of strengths defined clinically by standardized parental interviews (SIS) or by laboratory measures (PP). The prevalence of SIS and PP combined was 88.4% (38/43) in autistic individuals with average intelligence measured by RPM.

We assessed the prevalence of SIS with parental interviews and found that it was 62.6% in a large group of strictly defined autistic individuals of a wide range of intelligence levels. We defined an SIS as a performance above the individual's general level of cognitive functioning (relative peak) and above that of others in the general population of comparable age (absolute peak), either at the time of the interview ("current") or at a previous point in life ("ever"). Differences in methodology may explain the discrepancy between our findings and those reported previously. For example, some studies examined only "current" SIS and excluded SIS that were present at a previous point in life (Bolte & Poustka, 2004; Howlin et al., 2009). This may explain why the prevalence reported in these studies is lower than that reported here, because some SIS may disappear with age. Indeed, SIS may not be encouraged, or the discrepancy between autistic and non-autistic performance may only be present at a particular age, as is the

case for hyperlexia. Alternatively, improvements in adaptive abilities may accompany loss of skills involving hyperfocus, as autistic people learn and adapt. Another possible source of discrepancy between findings is differences in the populations studied. In our population, the average global IQ on Wechsler's scale was 87 among the 171 participants (out of 254) who took the test. The population studied by Howlin et al., for instance, was based on a cohort diagnosed in the 1950s to 1980s; therefore, this cohort was probably composed of people with more atypical phenotypes than those included in studies of autism today (Howlin et al., 2009). In addition, only 87/137 participants in this study completed the Wechsler scale, with an overall group IQ estimated at 78. The present cohort can be considered a representative sample of individuals diagnosed according to the current definition of autism. The proportion of individuals with intellectual disability in our cohort: (IQ < 70: M 18%, F 17%) is slightly lower than that among autistic individuals in the US population (IQ < 70: M 35%, F 45%) (CDC, 2008). This difference is partly explained by our decision to exclude 10 subjects from our study with an associated medical condition, the majority of whom presented low IQs, and partly by a recruitment bias toward individuals with verbal competence.

We used experimental tasks to investigate PP, which we defined as a standardized performance level at least 1 standard deviation above the subjects own level of cognitive functioning (relative peak), as defined by Wechsler's full scale IQ. PPs were identified in 57.5% of autistic individuals: 38% of autistic individuals presented a relative strength in the block design test and 47% displayed a relative strength in the pitch discrimination test (compared to 6% and 9% in typically developing individuals of comparable age and intelligence measured by RPM, respectively). This is a conservative estimate of prevalence, because participants with formal music/drawing experience were excluded to avoid bias from the effect of training. The BD task completed by participants in our study was more difficult than that used by Howlin and colleagues and it was designed to be optimally solved through a local processing approach with more autonomy of configural processing systems. Nonetheless, the prevalence of the BD peak reported here is close to that reported by Howlin and colleagues (26.4%) with the classical BD task and that reported by Caron et al. (2006) (47%), who used a more inclusive relative peak definition than the "relative + absolute" peak definition used by Howlin's team. The high prevalence of PP in our study may be related to our inclusion of a pitch discrimination task.

Superior pitch discrimination is arguably the most replicated peak of ability in autism (Mottron, Bouvet, et al., 2013). Significant differences in pitch discrimination can be found in groups with as few as 12 autistic participants (Bonnell et al., 2010; Bonnell et al., 2003a; Jones et al., 2009b). Therefore, a large proportion of perceptual peaks in autistic individuals involve superior pitch discrimination.

Co-occurrence of autistic outstanding abilities

The co-occurrence of perceptual strengths in auditory and visual modalities, including PP in the pitch discrimination and the BD task, was rather low and occurred in only eight (24%) autistic subjects and none of the controls. This finding contrasts with those of a prior study showing a link between pitch labeling and both memory and BD scores (Heaton et al., 1998). It is therefore possible that the completion of BD tasks may be more closely related to pitch labeling abilities than to pitch discrimination abilities. Another difference between our study and that of Heaton et al. (1998) is the age of participants (20.8 *versus* 9.9 years old, respectively). The association between perceptual abilities may be strong in young individuals and may decrease with age.

We also examined the co-occurrence of talents and strengths in the same individual. More than 71.7% of autistic individuals with an SIS had two or more SIS, which is higher than previous findings of 21% (5/24) reported by Howlin et al. in 2009. Given this high prevalence of SIS in autistic individuals, it was not surprising to find that 83% (19/23) of autistic individuals who presented a perceptual peak also presented at least one SIS. Therefore, the strong relationship between the most frequent SIS (memory, found in 52.5% of autistic individuals with an SIS) and PP (pitch discrimination, found in 77.2% of autistic individuals with a PP) may simply be due to their combined high prevalence. This, along with the inclusion of pitch discrimination in addition to BD as a strength in the current study may account for differences between our findings and those of Howlin et al., who reported that cognitive peaks and SIS overlap in only a small proportion of autistic individuals (8.6%).

Predisposing factors of autistic outstanding abilities

Intelligence

Another main finding of our study is that the prevalence of SIS and PP is related to cognitive functioning, although this relationship differs according to SIS and PP and to the method used to measure intelligence. Individuals with SIS tended to have higher intelligence levels than those without SIS, as measured by either Wechsler's IQ or RPM, consistent with previous findings (Happé & Vital, 2009; Howlin et al., 2009; Rapin, 1996; Vital et al., 2009). In addition, no individual judged as having at least one talent (SIS) presented a non-verbal IQ below 50 (Howlin et al., 2009). By contrast, a lower Wechsler-defined IQ favored the presence of perceptual strengths across domains, which is consistent with our definition of relative strengths as a discrepancy between verbally mediated Wechsler-defined general intelligence and performance in perceptual tasks. Individuals with a low IQ were more likely to have a perceptual strength in pitch discrimination than individuals with a moderate or high IQ ($B=-2.109$, $S.E.=.644$, $Wald=10.727$, $p=.001$). The same was true, to a lesser extent, in the block task ($B=-.930$, $S.E.=.419$, $Wald=4.920$, $p=.027$). However, this relationship may not be true of IQs under 50 (Miller, 1999). RPM was not related to the presence of PP in either task, suggesting that outstanding performance in these activities may be related to a factor other than general intelligence.

One way to account for these findings is to distinguish "true" and "false" intellectual disability in autism. Autistic individuals most frequently display strengths in perceptual or non-verbal tasks, such as the BD test, whereas baseline intelligence is frequently measured by verbal tasks. As a result, the fluid intelligence of autistic individuals can only be accurately determined with strictly non-verbal tasks (such as the BD task) or a non-verbal problem-solving test, such as RPM (Barbeau et al., 2013; Dawson et al., 2007). A "true" intellectual disability is revealed by poor performance in these nonverbal tasks. By contrast, a "false" intellectual disability may be defined as an impaired verbal IQ in autistic individuals with limited speech abilities, revealed by a non-verbal peak (BD or RPM) in presence of a low verbal baseline.

Age

The prevalence of SIS among autistic individuals increased with age and was 27.8% between the ages of 2 and 5, 72.2 % in school age children and 78.4% in adolescents and adults. This observation suggests a bias in the reporting of extremely young talents, around and before 5 years of age (Aram & Healy, 1988; Horwitz, Kestenbaum, Person, & Jarvik, 1965; Miller, 1989; Selfe, 1983). Nonetheless, some talents emerge between 8 and 15 years (Dubischar-Krivec et al., 2009; Soulieres et al., 2010) and verbal and non-verbal skills become increasingly dissociated over time (Joseph et al., 2002). Experience is expected to play a role in autistic people, as it does in non-autistic individuals. By contrast, the prevalence of PP was not associated with age and experience, as reported by previous groups (Heaton, Williams, et al., 2008; Mottron, Bouvet, et al., 2013), indicating that PP are at least partly based on early, genetically determined alterations of the perceptual brain architecture.

Sex

The presence of SIS and PP was similar between male and females in our group, but the sample size of the female group limits the strength of this conclusion. In the study by Howlin and colleagues, there were many more males than females presenting savant skills (32M: 7F), but this ratio was similar to the sex ratio (M:F) of the total group (Howlin et al., 2009). In another study exploring the prevalence of savant syndrome in several conditions including autism, Treffert reported that males outnumbered females by a ratio of approximately 6:1, which is higher than the sex ratio of 4:1, which is typically reported for autistic disorders (Treffert, 2009). We found that the sex ratio of savant skills in autism is similar to the sex ratio of individuals with the condition, which is consistent with the findings of Howlin et al. (2009). By contrast, Vital et al. (2009) studied on a group of individuals with autistic traits (but not necessarily diagnosed with autism) and found sex differences in the prevalence of savant skills. However, this finding was significant only in the univariate analysis and had a very small effects. Overall, these studies suggest that sex itself may not be a primary contributing factor to the development of outstanding abilities; however, studies including a larger number of females are needed because this is a recurring limitation among studies, including ours.

Contribution to the understanding of strengths and talents

Many autistic people possess several talents and/or strengths; however, possession of a strength in one modality does not increase the chances of having a talent in the same modality. Therefore, the development of clinically defined SIS in a particular modality does not appear to be directly related to the level of functioning of perceptual processes of the same modality, as assessed by the empirical measures used in this study. We recently examined performance in tasks investigating low and mid-level auditory and visual processing in the same participants used in the current study (Meilleur S., Berthiaume, Bertone, & Mottron, 2014). This analysis revealed the existence of plurimodal covariation between tasks that was independent of general intelligence and specific to the autistic group, indicating that a common underlying “p” factor drives perceptual abilities differently in autistic and non-autistic individuals. Overall, these findings suggest that exceptionality (strengths or talents) and perceptual performance in autism are the result of largely independent mechanisms. Perceptual encoding across modalities is altered in autistic individuals, and this is probably mediated by a factor other than intelligence. This alteration may be genetic in nature, and related to the over-functioning of mechanisms of synaptic plasticity (see Mottron et al. 2014 for a review and model). This alteration is beneficial to certain, but not all, low and mid-level level operations in both modalities, including pitch (Heaton, Davis, & Happe, 2008), luminance (Bertone, 2005), spatial frequencies (Bennett & Heaton, 2012), auditory local processing (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014), and visual search (Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999). Thus, perception is modified in its underpinnings, with potential positive or negative consequences. Perceptual alterations directly resulting from causal mutations, experience and differences in the overall genetic background, may determine the development of talents in a particular subgroup of individuals. The dependence of these interactions on an “exposure” and “material availability” component for domain specific talents may be responsible for the relatively low overlap between talents and strengths in the same modality.

Strengths and Limitations

The strengths of this study include its relatively large sample size of autistic individuals diagnosed according to standardized criteria, the combined use of clinical and experimental

studies and the exclusion of neurodevelopmental conditions. We also used well-defined criteria to investigate savant skills and perceptual peaks and collected data according to standardized methods. However, certain limitations restrict the generalization of our findings. We included only autistic individuals diagnosed according to DSM-IV criteria and we included no individuals with Asperger's syndrome. The population under study had a slightly higher average IQ than other large populations of autistic individuals. Finally, ADI-R may be affected by a positive bias from the parents and only provides a single question per domain, but this may have been compensated by the fact that several domains of SIS were investigated.

Conclusion

A discrepancy between baseline functioning and at least one competence is very common in autism. The development of such "Special Isolated Skills" is correlated with age and intelligence, but the occurrence of Perceptual Peaks and the presence of other "Special Isolated Skills" in different perceptual modalities appears to be relatively independent. These observations suggest that experience is the main factor involved in the development of such strengths and/or talents and that genetically defined modifications affect perceptual encoding.

The onsite ethics committee approved the research and all subjects gave written consent to participate.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

This work was supported by grants from the CIHR (L.M., 171795); Autism Speaks Foundation (L.M., 2706); and the Frederick Banting and Charles Best Canada Graduate Scholarships Doctoral Award (CGS-D)(A-A.S.M.). We also thank the statistician Claude Berthiaume for his advice and availability, the HRDP autism research group for comments on the manuscript, and our research assistant Chloé Paquin-Hodge for testing the participants.

Author's contributions

AASM participated in the conceptualization and design of the study, acquired, analyzed and interpreted the data, drafted the manuscript and revised its content. PJ and LM both participated in the conceptualization and design of the study and were involved in drafting and revising the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

References

- Aram, D. M., & Healy, J. M. (1988). Hyperlexia: A review of extraordinary word recognition. In L. Obler, & D. Fein (Eds.), *The Exceptional Brain, Neuropsychology of talent and special abilities*. New York: Guilford.-pp 70-102
- Asperger, H. (1944). *Autistic psychopathy' in childhood*. Translated and annotated by Frith U (1991) in *Autism and Asperger syndrome*. (p. 37–92): Cambridge University Press.
- Barbeau, E.B., I. Soulieres, M. Dawson, T.A. Zeffiro, L. Mottron (2013). The level and nature of autistic intelligence III: Inspection time. *J Abnorm Psychol* 122, 295-301
- Bennett, E., P. Heaton (2012). Is talent in autism spectrum disorders associated with a specific cognitive and behavioural phenotype? *J Autism Dev Disord* 42, 2739-53 doi:10.1007/s10803-012-1533-9
- Bertone, A., Mottron, L., Faubert, J. (2005). Dissociating pathway -versus complexity- specific accounts of motion perception impairments in autism. Commentary on "Motion perception in autism" (E. Milne, J. Swettenham, & R. Campbell). *Current Psychology of Cognition* 23, 75-83
- Bolte, S., F. Poustka (2004). Comparing the intelligence profiles of savant and nonsavant individuals with autistic disorder. *Intelligence* 32, 121-131
- Bonnel, A., et al. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia* 48, 2465-75
- Bonnel, A., L. Mottron, I. Peretz, M. Trudel, E. Gallun, A.-M. Bonnel (2003). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: A signal detection analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15, 226–235
- Bouvet, L., S. Donnadieu, S. Valdois, C. Caron, M. Dawson, L. Mottron (2014a). Veridical mapping in savant abilities, absolute pitch, and synesthesia: an autism case study. *Front Psychol* 5, 106

- Bouvet, L., A.A. Simard-Meilleur, A. Paignon, L. Mottron, S. Donnadieu (2014b). Auditory local bias and reduced global interference in autism. *Cognition* 131, 367-372
- Caron, M.J., L. Mottron, C. Berthiaume, M. Dawson (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain* 129, 1789-802
- CDC (2008). Prevalence of Autism Spectrum Disorders — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 Sites, United States, 2008. In. <http://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html> Accessed 14 mars 2014
- Crawford, J.R., P.H. Garthwaite, D.C. Howell (2009). On comparing a single case with a control sample: an alternative perspective. *Neuropsychologia* 47, 2690-5
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.011
- Crawford, J.R., D.C. Howell (1998). Comparing an individual's test score against norms derived from small samples. *The Clinical Neuropsychologist* 12, 482-486
- Dawson, M., I. Soulieres, M.A. Gernsbacher, L. Mottron (2007). The level and nature of autistic intelligence. *Psychol Sci* 18, 657-62
- Dubischar-Krivec, A.M., N. Neumann, F. Poustka, C. Braun, N. Birbaumer, S. Bolte (2009). Calendar calculating in savants with autism and healthy calendar calculators. *Psychol Med* 39, 1355-63
- Happe, F., P. Vital (2009). What aspects of autism predispose to talent? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364, 1369-75
- Harvey, L.O., Jr. (1997). Efficient estimation of sensory thresholds with ML-PEST. *Spatial vision* 11, 121-8
- Heaton, P., R.E. Davis, F.G. Happe (2008a). Research note: exceptional absolute pitch perception for spoken words in an able adult with autism. *Neuropsychologia* 46, 2095-8
- Heaton, P., B. Hermelin, L. Pring (1998). Autism and pitch processing: a precursor for savant musical ability? *Music Perception* 15, 291-305

- Heaton, P., L. Pring, B. Hermelin (1999). A pseudo-savant: A case of exceptional musical splinter skills. *Neurocase* 15, 291-305
- Heaton, P., G.L. Wallace (2004). Annotation: the savant syndrome. *J Child Psychol Psychiatry* 45, 899-911
- Heaton, P., K. Williams, O. Cummins, F. Happe (2008b). Autism and pitch processing splinter skills: a group and subgroup analysis. *Autism* 12, 203-19
- Horwitz, W.A., C. Kestenbaum, E. Person, L. Jarvik (1965). IDENTICAL TWIN--"IDIOT SAVANTS"--CALENDAR CALCULATORS. *Am J Psychiatry* 121, 1075-9
- Howlin, P., S. Goode, J. Hutton, M. Rutter (2009). Savant skills in autism: psychometric approaches and parental reports. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364, 1359-67
- Jones, C.R., et al. (2009). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*,
- Joseph, R.M., H. Tager-Flusberg, C. Lord (2002). Cognitive profiles and social-communicative functioning in children with autism spectrum disorder. *J Child Psychol Psychiatry* 43, 807-21
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbance of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- Lord, C., M. Rutter, A. Le Couteur (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *J Autism Dev Disord* 24, 659-85
- Meilleur, A.A., C. Berthiaume, A. Bertone, L. Mottron (2014). Autism-Specific Covariation in Perceptual Performances: "g" or "p" Factor? *PLoS One* 9, e103781 doi:10.1371/journal.pone.0103781
- Micheyl, C., K. Delhommeau, X. Perrot, A.J. Oxenham (2006). Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination. *Hear Res* 219, 36-47

- Miller, L. (1989). *Musical savants: exceptional skills in the mentally retarded*. Hillsdale, NJ, Laurence Erlbaum.
- Miller, L.K. (1999). The savant syndrome: intellectual impairment and exceptional skill. *Psychol Bull* 125, 31-46
- Mottron, L., Belleville, S., Rouleau, G. A., & Collignon, O. (2014). Linking Phenotypic, Cognitive and Genetic Variability in Autism with Alterations of Brain Plasticity: the Trigger-Threshold-Target Model. *Neurosci Biobehav Rev*.
- Mottron, L., et al. (2013a). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 37, 209-28
- Mottron, L., I. Soulières, M. Dawson (2013b). Perception. In: Volkmar, F.R. (ed) *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer.
- O'Connor, K. (2012). Auditory processing in autism spectrum disorder: a review. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 36, 836-54
- O'Connor, N., B. Hermelin (1989). The memory structure of autistic idiot-savant mnemonists. *Br J Psychol* 80 (Pt 1), 97-111
- Pellicano, E., M. Stears (2011). Bridging autism, science and society: moving toward an ethically informed approach to autism research. *Autism Res*, doi:10.1002/aur.201
- Plaisted, K., J. Swettenham, L. Rees (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *J Child Psychol Psychiatry* 40, 733-42
- Rapin, I. (1996). *Preschool Children with Inadequate Communication: Developmental Language Disorder, Autism, Low IQ*, 1st ed., London: MacKeith Press.
- Raven, J., W. Summers (1986). *A compendium of North American normative and validity studies Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary tests (research Supplement No 3)*. London: H.K. Lewis and co.

- Rimland, B. (1978). Savant capabilities of autistic children and their cognitive implications. In: Serban, G. (ed) *Cognitive Defects in the Development of Mental Illness*.(pp43-45). New York: Brunner/Mazel.
- Selfe, L. (1983). *Normal and anomalous representational drawing ability in children*, Academic Press London.
- Sinclair, J. (1999). Why I dislike "person first" language. In: http://www.jimsinclair.org/person_first.htm. Accessed August 2010
- Soulieres, I., et al. (2010). Superior estimation abilities in two autistic spectrum children. *Cogn Neuropsychol* 27, 261-76
- Spreen, O., E. Strauss (1991). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York, Oxford University Press.
- Stevenson, J.L., M.A. Gernsbacher (2013). Abstract spatial reasoning as an autistic strength. *PLoS One* 8, e59329
- Tervaniemi, M., S. Kruck, W. De Baene, E. Schroger, K. Alter, A.D. Friederici (2009). Top-down modulation of auditory processing: effects of sound context, musical expertise and attentional focus. *Eur J Neurosci* 30, 1636-42
- Treffert, D.A. (2009). The savant syndrome: an extraordinary condition. A synopsis: past, present, future. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364, 1351-7
- Vital, P.M., A. Ronald, G.L. Wallace, F. Happe (2009). Relationship between special abilities and autistic-like traits in a large population-based sample of 8-year-olds. *J Child Psychol Psychiatry* 50, 1093-101
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children- Third Edition: Canadian (WISC-III)*. , Psychological Corporation. edn. Toronto, Canada.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Third edition: Canadian (WAIS-III)*. Toronto, Canada, The Psychological Corporation.

Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). San Antonio, TX: The Psychological Corporation,

Wechsler, D. (2008). Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition (WAIS-IV), 4 edn. San Antonio, TX, Pearson.

CHAPITRE 3 : DISCUSSION GÉNÉRALE

1. Résumé des objectifs de recherche et des hypothèses

Le premier objectif de cette thèse était d'établir, chez des sujets autistes et des sujets contrôles, le profil de relation entre les niveaux de fonctionnement perceptif dans différents domaines et ce, indépendamment des surfonctionnements perceptifs. Les analyses effectuées se divisent en trois étapes, chacune avec leur propre hypothèse:

- (1) Relation entre les performances aux tests perceptifs et l'intelligence : On s'attend à ce que les niveaux de performance chez les sujets contrôles soient prédits par l'intelligence telle que mesurée par les MPR ou l'échelle de Wechsler, alors que les niveaux de performance chez les sujets autistes seront mieux prédits par les MPR que l'échelle de Wechsler.
- (2) Différences de performance entre les groupes : Pour toutes les tâches perceptives, on s'attend à retrouver de meilleures performances chez les autistes comparativement aux contrôles, avec toutefois une diminution des différences de groupe lorsque l'appariement des groupes est effectué selon les MPR plutôt que l'échelle de Wechsler.
- (3) Profil de covariations entre les performances : Nous prédisons un profil de covariation différent entre les groupes, caractérisé par des covariations résiduelles entre les tâches perceptives chez les autistes seulement.

Le second objectif de cette thèse était de documenter la prévalence des habiletés exceptionnelles au niveau individuel, de mettre en relation les forces perceptives et les talents, ainsi que de déterminer les facteurs de prédisposition en lien avec le développement d'habiletés exceptionnelles. Sur la base des données d'études antérieures, nos hypothèses de recherche étaient les suivantes :

- (1) Prévalence : On s'attend à retrouver au moins une habileté exceptionnelle chez environ un quart à la moitié des sujets autistes, avec un chevauchement entre les domaines pour la majorité des autistes présentant une habileté exceptionnelle.
- (2) Cooccurrence : On s'attend à ce que les forces perceptives soient associées entre elles et aussi à la présence de talents dans la même modalité.
- (3) Variables de prédisposition : On s'attend à ce que les chances de présenter une habileté exceptionnelle soient associées à un fonctionnement intellectuel supérieur et à l'âge, mais pas nécessairement au genre.

2. Synthèse des résultats

2.1. Étude 1 : Relation entre atypies perceptives à travers les niveaux et les modalités

Le premier volet de cette thèse visait à examiner la covariation entre les performances aux tâches perceptives. Dans le but de dépeindre le profil de performance pour l'ensemble de la perception à travers les modalités et les niveaux de traitement, des tâches sensibles aux surfonctionnements autistiques pour l'information de bas niveau et de niveau intermédiaire en vision et en audition ont été administrées à un large groupe de 46 sujets autistes et 46 sujets contrôles. Afin de simplifier la présentation des résultats, les conclusions générales pour la modalité visuelle de bas niveau incluse dans cette thèse découlent des résultats obtenus en utilisant la tâche de discrimination de contraste. Néanmoins, les résultats en utilisant la tâche de discrimination de fréquences spatiales mène globalement aux mêmes conclusions que celles présentées ici (annexe II).

Intelligence et performance perceptive. Comme prédit par les modèles d'intelligence, le fonctionnement cognitif général est associé à la performance aux tâches perceptives, mais différemment selon les groupes et la mesure d'intelligence. Chez les sujets contrôles, le QIG à l'échelle de Wechsler explique une partie significative de la variance des performances aux tâches perceptives (c.-à-d., discrimination de contraste, de hauteur sonore et tâche modifiée de « blocs »), au-delà de ce qui est déjà expliqué par le rendement aux MPR. En revanche, chez les autistes, le rendement aux MPR contribue à une partie significative de la variance aux tâches perceptives (c.-à-d., discrimination de contraste et de mélodie), au-delà de ce qui est déjà expliqué par le QIG de l'échelle de Wechsler. Ce résultat vient donc appuyer l'utilisation de ces deux échelles dans l'évaluation du rôle de la perception dans l'intelligence. En terme statistique, ces résultats se traduisent par une inégalité des pentes de régression entre les groupes en ce qui concerne la relation entre l'intelligence et la performance perceptive (illustration d'un exemple générique, Figure 1). Cette constatation souligne l'importance de tester la relation différentielle entre la performance et l'intelligence lorsque la taille de l'échantillon le permet, indépendamment de la méthode de contrôle (appariement de groupe ou contrôle statistique) et de la mesure de l'intelligence (MPR ou Wechsler). Ceci permet de mieux interpréter la généralisation des résultats.

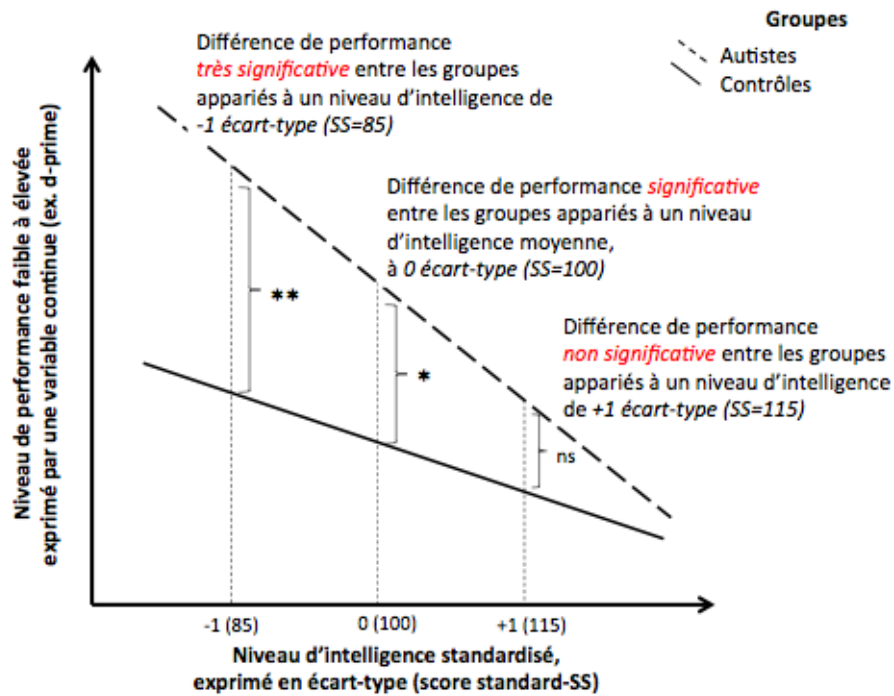


Figure 1. Illustration générique de l'inégalité des pentes de régression de la performance sur le niveau d'intelligence selon les groupes. La différence entre les pentes se traduit par des différences dans l'écart de performance aux tâches perceptives entre les groupes à différents niveaux d'intelligence.

Différences de groupe aux tâches perceptives en contrôlant pour l'intelligence. Pour faire suite aux résultats des analyses sur la relation entre la performance et l'intelligence, nous avons inclus un facteur d'interaction Intelligence X Groupe dans l'ensemble des analyses de comparaison de groupe afin de contrôler cette tendance générale vers des pentes de régression inégales entre les groupes. L'avantage de cette technique est qu'elle permet de contrôler pour l'inégalité des pentes de régression. Toutefois, cette technique a comme désavantage de tester les différences de groupe à un seul niveau d'intelligence, soit à un écart-type de 0 dans notre étude. Ainsi, ces analyses, à elles seules, ne permettent pas de généraliser les conclusions à l'ensemble des sujets autistes et contrôles à travers les différents niveaux de fonctionnement cognitif. Des analyses secondaires sur les effets simples ont donc été nécessaires pour déterminer les différences de groupe à d'autres niveaux d'intelligence (un exemple est illustré dans la Figure 1).

En ce qui a trait au traitement de bas niveau, le résultat d'une supériorité de la discrimination de hauteurs sonores chez les autistes va dans le sens de nos hypothèses. Ce résultat réplique ceux d'études antérieures, appuyant le fait que la discrimination de hauteurs sonores est une supériorité perceptive de bas niveau robuste en autisme (pour une revue, voir Mottron et al. 2013). D'ailleurs, cette supériorité persisterait au-delà de l'effet de l'appariement, ce qui suggère que le résultat d'un traitement plus efficace de l'information auditive de bas niveau n'est pas un sous-produit d'une stratégie d'appariement d'intelligence plus (MPR) ou moins (échelles d'intelligence de Wechsler) conservatrice. Cela confirme l'hypothèse de certains modèles théoriques (ex. SFP) qui avancent qu'il existe une différence fondamentale dans le codage neuronal des hauteurs sonores l'origine de certaines supériorités perceptives en autisme. À l'inverse, nos résultats en modalité visuelle de bas niveau ne soutiennent pas l'hypothèse d'une sensibilité supérieure pour les informations de luminance telle que rapportée antérieurement chez des adultes autistes (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005) et chez des enfants à risque d'autisme (McCleery et al., 2007). Encore plus surprenant, on retrouve un résultat contraire à nos hypothèses lors du contrôle de l'intelligence avec les MPR. Plus précisément, une supériorité du traitement visuel de bas niveau est constatée dans le groupe à développement typique plutôt que dans le groupe autiste. Cet effet de l'appariement cadre avec les résultats d'autres études qui démontrent la disparition de l'avantage des autistes pour une mesure de temps d'inspection visuelle avec l'appariement aux MPR (Barbeau et al., 2013).

L'efficacité des mécanismes de traitement intermédiaire révèle également des résultats mixtes entre les modalités perceptives. L'avantage des autistes pour la détection de changements locaux à l'intérieur de mélodies n'a pas été répliqué. Les groupes ne diffèrent pas dans leur sensibilité aux changements locaux lorsqu'ils sont appariés sur l'échelle de Wechsler. Tout comme en vision de bas niveau, on retrouve une plus grande sensibilité aux changements locaux chez les contrôles lors de l'appariement avec les MPR. Ces résultats inattendus pourraient s'expliquer par un manque de sensibilité de la tâche pour détecter les effets d'interférence de la perception globale. D'ailleurs, un article relativement récent suggère que l'utilisation de tâches basées sur la discrimination d'intervalle et de contour ne permettrait pas d'évaluer de manière indépendante l'efficacité du traitement local et du traitement global puisqu'un changement de contour induirait naturellement un changement local au niveau de l'intervalle (Ouimet, Foster,

Tryfon, & Hyde, 2012). Ainsi, nous avons administré à un sous-groupe d'autistes une tâche musicale hiérarchique construite spécifiquement pour détecter l'efficacité du traitement local et global de manière indépendante (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014). À cette tâche, les autistes, appariés à un groupe de sujets contrôles sur les MPR et le QIP de Wechsler, ont démontré une meilleure détection des changements locaux et une diminution de l'interférence du traitement global.

En modalité visuelle de niveau intermédiaire, l'avantage des autistes comparativement aux sujets contrôles à la tâche modifiée de dessin avec blocs a été répliqué en contrôlant pour l'intelligence telle que mesurée par l'échelle de Wechsler. Cette différence de groupe s'est toutefois estompée avec un appariement selon le rendement aux MPR. Globalement, ce résultat va dans le sens de notre hypothèse de recherche selon laquelle il y aurait un traitement plus efficace des attributs locaux en contexte de haute cohésion perceptive chez les autistes, mais que cet avantage disparaîtrait lorsque le niveau d'intelligence n'est pas sous-estimé. Ceci correspond à la démonstration psychométrique d'un niveau de performance équivalent entre le sous-test de dessin avec blocs de l'échelle de Wechsler et le rendement moyen aux MPR chez les autistes, en dépit d'un niveau de performance considérablement plus faible au score global de l'échelle de Wechsler (Dawson et al., 2007).

Dans l'ensemble, on observe ainsi une disparition de certains surfonctionnements perceptifs des autistes lorsque les groupes sont appariés sur des mesures de fonctionnement cognitif qui ne sous-estiment pas l'intelligence (c.-à-d., MPR), à l'exception de la supériorité pour la discrimination de hauteurs sonores. Ainsi, la présente étude suggère que les particularités perceptives des autistes ne peuvent être simplement interprétées comme une perception dite « plus forte ».

Profil de covariation des performances perceptives. Cette troisième étape comporte l'évaluation systématique des covariations entre les performances perceptives selon différents niveaux de traitement (bas vs intermédiaires) et dans différentes modalités (auditive vs visuelle), en contrôlant adéquatement pour l'effet de l'intelligence. Afin de simplifier la présentation des résultats, les analyses de covariation furent divisées en deux catégories : les covariations plurimodales, soit entre différentes modalités, et les covariations unimodales, soit les relations

entre les performances à l'intérieure d'une même modalité.

Chez les personnes à développement typique, l'ensemble des covariations plurimodales entre les tâches s'explique par une relation commune avec l'intelligence alors que les covariations unimodales s'expliquent par un facteur général d'aptitude auditive et un facteur général d'aptitude visuelle. Ces facteurs correspondraient aux facteurs de deuxième niveau, Ga et Gv, du modèle d'intelligence CHC. En accord avec nos hypothèses de départ et avec les données de la littérature sur l'intelligence en autisme, un patron de covariation significativement différent émerge dans notre groupe clinique. Tout comme dans le groupe à développement typique, les covariations unimodales s'expliquent par des facteurs spécifiques à la modalité. La différence entre les groupes s'apparente plutôt au niveau des covariations plurimodales, soit entre les modalités. Contrairement à ce qui est retrouvé dans le groupe à développement typique, le profil des autistes se démarque par des covariations résiduelles entre les tâches de différentes modalités qui ne peuvent être expliquées par l'intelligence. Ceci suggère la présence d'un facteur additionnel, nécessaire que chez les autistes, pour expliquer la relation entre les performances visuelles et auditives qui persiste au-delà de ce qui est retrouvé chez les contrôles.

2.2. Étude 2 : Prévalence, variables de prédisposition et cooccurrence des habiletés exceptionnelles

La seconde partie de cette thèse visait à documenter la prévalence, la cooccurrence et les variables de prédisposition des habiletés exceptionnelles. Les données cliniques étaient disponibles pour un groupe de 254 autistes et les données expérimentales utilisées étaient celles de la première étude, collectées auprès d'un sous-groupe de 46 autistes et 46 contrôles. Afin de permettre la comparaison de nos résultats à ceux retrouvés dans la littérature, nous avons utilisé les définitions les plus fréquemment employées dans les études portant sur les habiletés exceptionnelles. Une force perceptive était définie selon les critères d'un pic relatif et un talent était défini par la combinaison des critères pour un pic relatif et un pic absolu. Autrement dit, un talent était présent si l'habileté se situait au-dessus du propre niveau de fonctionnement de la personne et au-dessus du niveau attendu pour son âge.

Selon les résultats obtenus, 63 % des sujets autistes présentent au moins un talent au cours de leur développement, sans égard à leur groupe d'âge ou à leur niveau d'intelligence. De plus,

58 % des adolescents et adultes autistes sans déficience intellectuelle présentent au moins une force perceptive. . Ainsi, nos résultats sur la prévalence d’une divergence significative entre au moins une compétence et le niveau de fonctionnement intellectuel de base indiquent que la prévalence serait deux à trois fois plus élevée que le taux de 25 à 50 % rapporté dans des études antérieures (Bolte & Poustka, 2004; Caron et al., 2006a; Howlin et al., 2009; Jones et al., 2009b). Cette différence pourrait être attribuable aux critères utilisés pour définir une force perceptive et un talent, notamment l’inclusion de la discrimination de hauteur sonore (le pic perceptif le plus répliqué) et la considération des talents sur l’ensemble du développement (c.-à-d., critère « actuel et/ou dans le passé » plutôt que seulement« actuel » dans l’ADI-R).

Le taux de cooccurrence trouvé entre les forces perceptives au sein de différentes modalités (c.-à-d., hauteur sonore et blocs) était de 24 %. Ceci est plus faible que notre prédiction selon laquelle il y aurait un chevauchement des forces chez la majorité des sujets autistes avec au moins un domaine de surfonctionnement. Par contre, le taux de cooccurrence entre les différents talents investigués, répartis en cinq domaines, était considérablement plus élevé, soit de 72 %. Ce taux de cooccurrence plus élevé peut être attribuable au plus grand nombre de domaines investigués. D’ailleurs, lorsque les talents sont investigués deux à deux (tableau 1), les taux de cooccurrence se situent plutôt entre 17 % et 52 % avec une moyenne de 32 %. Ce résultat se rapproche davantage de celui retrouvé pour les forces perceptives.

Tableau 1. Taux de cooccurrence entre les talents. Pourcentage d’autistes des talents talent dans les deux domaines (nombre d’autistes avec talents/nombre d’autistes avec au moins un talent dans l’un ou l’autre des domaines).

	Mémoire	Visuospatial	Lecture	Dessin	Musique
Mémoire					
Visuospatial	47.9 (58/121)				
Lecture	36.2 (41/113)	33.3 (23/69)			
Dessin	26.5 (30/113)	41.8 (28/67)	21.7 (10/46)		
Musique	25.2 (30/119)	32.4 (23/71)	28.2 (13/46)	17.1 (6/35)	
Calcul	24.3 (28/115)	33.8 (23/68)	52.1 (25/48)	26.5 (9/34)	29.4 (10/34)

Les taux de cooccurrence entre les talents peuvent avoir été influencés par des aspects méthodologiques. L'investigation de talents par une méthode d'entrevue avec les parents est sensible au biais positif de sorte qu'un parent qui remarque une habileté dans une modalité pourrait avoir plus tendance à rapporter une habileté dans une autre modalité. En plus, la perception d'un écart entre le niveau de performance dans un domaine et le niveau de fonctionnement intellectuel est une mesure subjective dépendante de la perception du parent sur ce qu'est le niveau « normal » de performance pour l'âge de la personne autiste.

D'autre part, la comparaison des taux de cooccurrence des talents et des forces perceptives doit être faite avec précaution considérant la période à laquelle ces habiletés furent examinées. La présence de talents fut documentée à travers le développement, alors que les forces perceptives furent évaluées à un moment fixe de l'adolescence ou de l'âge adulte. Il est possible que divers talents soient présents à différents stades de développement. Par exemple, pour ce qui est de l'hyperlexie, l'écart entre les capacités de lecture des enfants autistes et celles des enfants typiques s'estomperait avec l'âge de sorte qu'un enfant qui satisfaisait le critère pour un talent dans la jeune enfance ne le présenterait plus à l'adolescence. Ainsi, la considération de talents à travers le développement pourrait essentiellement hausser les taux de prévalence et de cooccurrence dans la présente étude.

Les résultats sur les facteurs de prédisposition valident partiellement notre troisième hypothèse quant à un lien entre les habiletés exceptionnelles et l'intelligence. Comme prédit, une meilleure intelligence augmente les chances de présenter un talent. En revanche, les forces perceptives, caractérisées par une divergence significative entre le niveau de base d'intelligence et une capacité perceptive, se retrouvent plus fréquemment chez les autistes avec un niveau d'intelligence plus faible, mais sans déficience. Ainsi, une variabilité des niveaux de fonctionnement intellectuel à travers les populations étudiées pourrait expliquer les différences de prévalence retrouvées par la présente étude. Par exemple, dans notre échantillon de sujets présentant un QI global moyen de 87, on observait au moins un talent chez plus de la moitié des cas. Par comparaison, dans une cohorte différente avec un QI global moyen estimé à 78, on observait au moins un talent chez seulement un quart des cas (Howlin et al., 2009).

Tel que rapporté dans d'autres études, le genre en lui-même ne semblerait pas être un facteur primordial pour le développement des capacités exceptionnelles (Howlin et al., 2009; Treffert, 2009; Vital et al., 2009). Cependant, la faible taille d'échantillon du groupe de femmes représente une limitation récurrente à travers les études, y compris la nôtre. Ceci ne permet pas de statuer avec certitude sur le lien entre le genre et les habiletés exceptionnelles en autisme, limitant ainsi la généralisation des conclusions à cet égard.

Enfin, la relation significative entre l'âge et le taux de talents indique que le développement de talents serait lié au développement et à l'expérience. De manière générale, le développement de talents serait plus important au cours de l'enfance, puis se stabiliserait à l'adolescence. Pour des raisons de faisabilité, l'étude des forces perceptives, quant à elle, s'est limitée à un échantillon de participants de 14 ans et plus. Il n'est ainsi pas possible de déterminer le lien entre l'âge et l'apparition des forces perceptives au cours de l'enfance. Dans notre groupe d'adolescents et d'adultes, on ne retrouve pas de lien entre la présence de forces perceptives et l'âge, ce qui n'est pas surprenant considérant que les processus grossiers de traitement cortical perceptif atteignent la maturité dans la jeune enfance. Des analyses exploratoires sur l'association entre l'entraînement formel et la présence d'une force perceptive suggèrent que le développement des forces perceptives dans l'autisme serait possiblement moins sensible à l'entraînement. Ceci laisse croire que le développement des forces perceptives soit possiblement mieux expliqué par des altérations précoces dans le développement du cerveau autiste (annexe IV) (Heaton, Williams, et al., 2008; Mottron, Bouvet, et al., 2013).

2.3. Comparaison des résultats des deux études

Différences méthodologiques. L'objectif de cette prochaine section est d'intégrer les résultats des deux études et de comparer leurs conclusions principales qui peuvent sembler contradictoires. Soulignons d'abord une importante différence méthodologique entre les deux études. Bien que toutes deux reposent sur une même série de tâches, leurs variables d'intérêts diffèrent. La première étude examine les performances brutes indépendamment de la présence de forces perceptives. Son but est de mettre à jour d'éventuelles différences de groupe quant à l'efficacité des mécanismes perceptifs et la covariation entre les performances aux tâches. La seconde étude s'intéresse aux pics relatifs de performance au niveau individuel. La variable

d'intérêt est alors la différence entre le niveau de fonctionnement intellectuel global et le niveau de performance aux tâches perceptives, différence mesurée en écart-type par rapport aux données d'un groupe contrôle. Afin de comparer les taux de prévalence de ces pics de performance à ceux d'autres études, nous avons utilisé l'échelle de Wechsler comme mesure du niveau de base d'intelligence pour le calcul des pics relatifs. Les taux de prévalence selon d'autres définitions de pics de performance (c.-à-d., pic absolu et relatif au MPR) sont disponibles dans l'annexe III. Une seconde différence méthodologique entre les deux études est que la relation plurimodale documentée dans la première porte sur l'efficacité des mécanismes de traitement de l'information de bas niveau en modalité auditive (hauteur sonore) et en modalité visuelle (contraste). En revanche, les analyses de la deuxième étude ont été menées sur la performance aux tâches les plus sensibles à la détection de surfonctionnements. Il s'agissait des conditions les plus difficiles de la tâche de bas niveau de traitement auditif (discrimination de hauteur sonore à 500 Hz) et de la tâche visuelle de niveau intermédiaire (complétion de modèles du sous-test modifié de « blocs » comportant un niveau élevé de cohésion perceptive).

Relation performance-intelligence dans les deux études. Dans l'étude 1, le QIG prédit la performance de discrimination de contraste : plus le QI est élevé, meilleur est la performance perceptive. En revanche, cette relation entre la performance perceptive et l'intelligence n'atteint pas la significativité pour la capacité de discrimination de hauteur sonore ou la complétion de du sous-test modifié de « blocs ». Dans la deuxième étude, le QIG prédit également le niveau de divergence entre les niveaux d'intelligence et la capacité de discrimination de hauteur sonore et de contraste. Plus le QI est élevé, moins la divergence entre le niveau de performance et le rendement intellectuel de base est grande. Ainsi, les résultats des deux études offrent des informations différentes, mais complémentaires. Dans l'autisme, une intelligence plus élevée est associée à de meilleures capacités dans certains domaines de la perception. Plus le QIG est faible (mais quand même ≥ 70), plus l'autiste a de chances de présenter un profil hétérogène avec un pic relatif pour une capacité perceptive.

Ce dernier résultat peut sembler contredire le résultat de la deuxième étude qui démontre qu'un meilleur rendement intellectuel est associé à de plus grandes chances de présenter un talent au cours du développement. Des différences méthodologiques liées à la définition des

deux types d'habileté exceptionnelle pourraient expliquer cette disparité. La définition d'un talent implique une performance non seulement au-dessus de son propre niveau de fonctionnement (pic relatif), mais également au-dessus du niveau attendu dans la population générale (pic absolu). Ainsi, de meilleures capacités intellectuelles sont nécessaires pour atteindre et surpasser le seuil de performance moyenne dans la population générale. D'autre part, les participants inclus dans l'étude 2 avaient une étendue de QIG plus large (40 à 130) que ceux de l'étude 1 (71 à 125). Dans ce contexte, il est plus probable de retrouver une divergence entre niveau de base et capacité perceptive chez les autistes avec une intelligence moyenne que chez ceux avec une intelligence élevée ou dans les limites de la déficience.

Le résultat principal de cette thèse suggère que la relation entre les tâches perceptives ne s'explique pas entièrement par une relation commune avec l'intelligence, tel que l'on retrouve dans le développement typique. L'intelligence jouerait un rôle important dans la cognition autistique, mais elle ne permettrait pas à elle seule une compréhension complète de l'interaction entre les systèmes perceptifs et le phénotype.

Cohésion intermodale : comparaison des résultats des deux études. Les deux études ont examiné les relations intermodales entre tâches sollicitant un même niveau de traitement. Nous utiliserons ici le terme « cohésion intermodale » pour référer à la présence d'une relation significative entre des tâches dans différentes modalités.

Dans l'étude 1, les performances de bas niveau en vision et en audition sont associées chez les autistes. En revanche, la deuxième étude ne retrouve pas d'association entre les forces perceptives de bas niveau, avec un taux de cooccurrence de seulement 25 % entre les modalités. Ces données peuvent paraître contradictoires. Néanmoins, la cohésion intermodale dans l'efficacité des systèmes perceptifs de bas niveau, reflétée par la performance supérieure chez les autistes par rapport à la population générale, pourrait indiquer des différences au niveau des mécanismes impliqués dans l'encodage de dimensions perceptives élémentaires. En ce sens, l'autisme se distinguerait par des différences innées (ou « hardwired ») dans l'organisation corticale des microcircuits responsables de l'encodage des dimensions perceptives élémentaires. Des altérations corticales résultant de processus génétiques affecteraient la perception

élémentaire de manière similaire pour l'ensemble des modalités et ce, dès les premières étapes du développement perceptif.

En revanche, les forces perceptives des autistes se retrouveraient plus fréquemment dans une seule modalité, plutôt que dans deux modalités simultanément. Ce second résultat suggère que le processus impliqué dans le développement des forces perceptives dépendrait d'un facteur secondaire modifiant séparément le fonctionnement de chaque modalité. Par exemple, l'expérience de vie permettrait d'atteindre différents niveaux de performance selon l'interaction avec diverses variables comme l'accès à un matériel spécifique à une ou plusieurs modalités. La combinaison des résultats de nos études suggère donc que différents processus contribuent aux performances perceptives et à l'expertise. Les travaux de la présente thèse permettent ainsi la décomposition de la notion de plasticité dans l'autisme, mettant en lumière l'influence de processus innés et expérientiels sur la perception. La prochaine section de cette thèse présente de façon détaillée des mécanismes potentiellement impliqués dans les différences perceptives observées en autisme et ce, qu'elles soient de nature innée ou expérientielle.

3. Contributions théoriques

3.1. Introduction du facteur « p » au modèle d'intelligence autistique

Le premier volet de cette thèse s'est d'abord intéressé au rôle de la perception dans l'intelligence générale dans l'autisme à travers l'exploration du profil perceptif spécifique retrouvé chez ce groupe clinique. Bien que des études s'entendent sur la présence d'une intelligence différente en autisme (Dawson et al., 2007; Mottron, 2004), il n'existe à ce jour aucune définition claire et précise de ce en quoi cette intelligence consiste. Comme pour l'étude de l'intelligence dans la population typique, la présente thèse a adopté une approche exploratoire (voir commentaire de Mackintosh, 2011, ci-dessous) basée sur les connaissances scientifiques quant au rôle de la perception dans l'intelligence chez les personnes autistes (Samson, Mottron, Soulières, & Zeffiro, 2011 ; Soulières et al., 2009 ; une revue est disponible dans Mottron et al. 2004, 2006).

« Il est communément admis que toute enquête doit commencer par une définition claire et précise de l'objet de cette enquête... Mais de bonnes définitions sont le produit final de la recherche scientifique, et non son point de départ. Ainsi, avec une idée rudimentaire de l'objet de l'enquête, il est possible de procéder par essais et erreurs. Ainsi fut-il lors du développement de tests de QI... » (Mackintosh 2011, p. 29, traduction libre)

Par cette approche exploratoire, les présents travaux ont contribué à une meilleure compréhension du rôle de la perception dans l'intelligence chez les personnes autistes. Premièrement, l'utilisation de l'échelle de Wechsler et des MPR chez un même groupe de sujets autistes a démontré des différences d'efficacité pour prédire les capacités perceptives. En accord avec les études antérieures (Courchesne et al., soumis; Dawson et al., 2007), les MPR semblent être une mesure plus « exacte » (ou plus « proche ») de l'intelligence générale (c.-à-d. le facteur « g ») que l'échelle de Wechsler chez les personnes autistes. Les MPR seraient un meilleur indicateur des capacités perceptives que l'échelle de Wechsler chez les autistes, alors que la relation contraire est retrouvée chez les personnes avec un développement typique.

Deuxièmement, la présente étude a permis le développement d'un modèle théorique sur les covariations résiduelles entre les performances perceptives (Figure 2). Ce modèle s'avère intéressant pour la compréhension de la relation différentielle entre la perception et l'intelligence dans l'autisme comparativement au développement typique.

Selon la théorie de l'intelligence proposée par le modèle de Cattell-Horn-Carroll (CHC) (McGrew, 2005), l'intelligence (c.-à-d., facteur « g ») explique une partie de la variance commune entre les habiletés de deuxième niveau comme les capacités de traitement visuel (Gv) et auditif (Ga) (Mackintosh, 2011). La partie de cette variance qui demeure inexpiquée par l'intelligence serait attribuable à la *différentiation d'habiletés spécifiques* (Mackintosh, 2011). Dans le développement typique, cette différenciation des habiletés serait plus importante avec l'augmentation du QI.

Nous proposons donc *qu'une plus grande différenciation de la perception au sens large* sous-tende le profil de

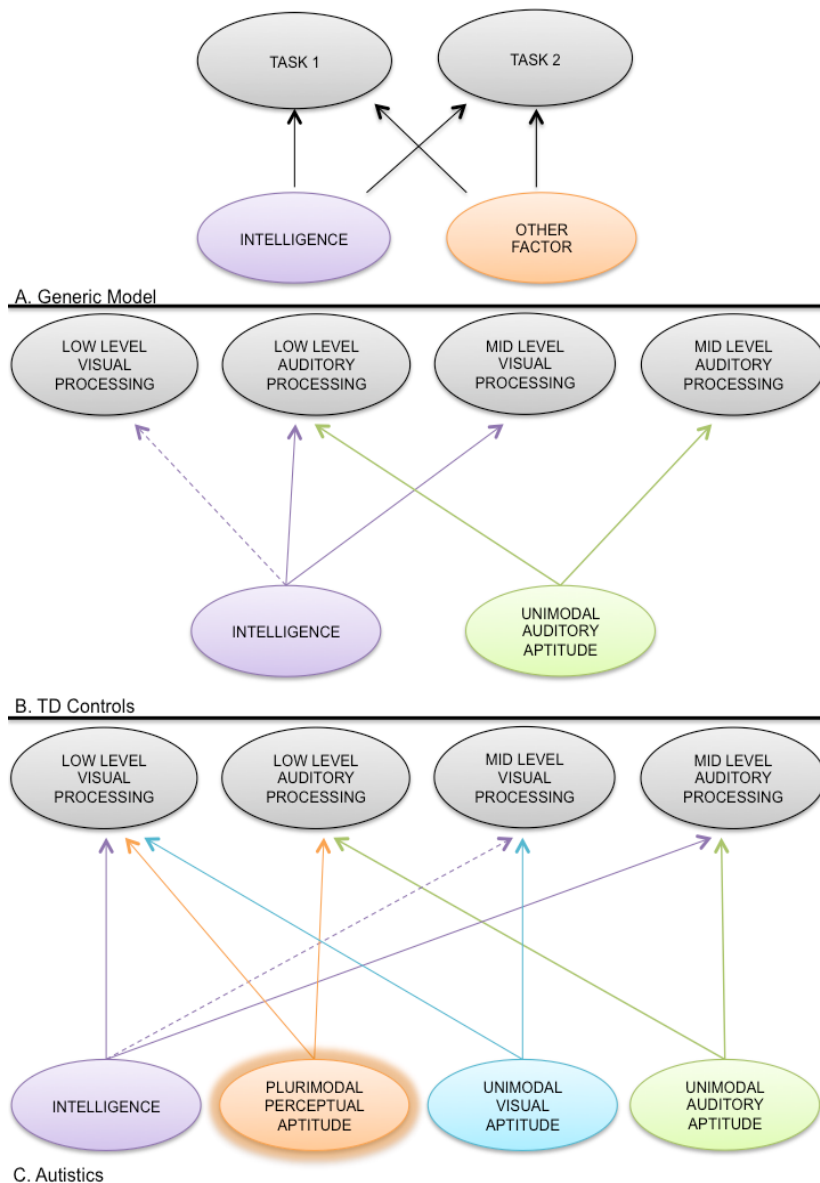


Figure 2. Illustration du modèle théorique correspondant au profil de covariations entre les tâches. Théoriquement, les tâches possèdent une corrélation avec l'intelligence générale (g). Cependant, si le facteur « p » représente une unité conceptuelle indépendante, on s'attend à ce qu'il existe des corrélations résiduelles entre les tâches qui ne peuvent être expliquées par le facteur « g ».

covariations résiduelles mis en évidence dans le groupe autiste et ce, au-delà de ce qui est expliqué par les aptitudes unimodales des personnes typiques. La présence de covariations résiduelles entre des performances à des tâches impliquant deux modalités différentes indique que plusieurs capacités perceptives pourraient être sous l'influence d'une unité conceptuelle spécifique à l'autisme, le facteur « p » (pour « perception » du fait qu'il est déduit à partir de tâches qui ont comme aspect commun leur nature perceptive). D'un point de vue théorique, le facteur « p » est une conjecture qui pourrait représenter un facteur de deuxième niveau selon la taxonomie du modèle CHC. Il influencerait des mécanismes cognitifs multiples (Bertone et al., 2010; Vattikuti & Chow, 2010) et, par ce fait, il sous-tendrait le fonctionnement intellectuel des personnes autistes et le développement d'habiletés exceptionnelles dans divers domaines liés à la perception.

3.2. Hypothèses sur l'origine du facteur « p »

Cette section s'intéresse aux mécanismes plausibles, mais non exclusifs, pouvant sous-tendre le facteur « p ». La nature plurimodale des résultats de la présente étude implique que le ou les mécanismes contribuant au facteur « p » doivent être sollicités dans le traitement des deux modalités principales : la vision et l'audition. Tel que mentionné dans la première section du contexte théorique, les systèmes visuel et auditif sont organisés selon les mêmes principes d'organisation hiérarchique. L'information perceptive est d'abord analysée par les aires primaires avant d'être dirigée vers les régions associatives, puis elle est transmise aux régions plus antérieures du cerveau qui sont responsables de l'intégration multisensorielle et des processus cognitifs plus complexes. Les tâches expérimentales utilisées dans la présente étude font principalement appel aux mécanismes de traitement cortical unimodal de bas niveau et de niveau intermédiaire.

La figure 3 illustre un modèle hypothétique sur l'origine du facteur « p » et son rôle dans l'intelligence autistique. Des altérations structurales et neurophysiologiques entraînées par une surplasticité cérébrale à base génétique seraient à l'origine du facteur « p » (Mottron, Belleville, Rouleau, & Collignon, in press). Des modifications des systèmes perceptifs, présentes tôt dans le développement, contribueraient à une réorganisation corticale générale qui se manifesterait par des altérations de multiples mécanismes cognitifs et adaptatifs (Bertone et al., 2010; Vattikuti &

Chow, 2010). Ces altérations au niveau des fonctions corticales globales (« whole brain functions ») donneraient lieu, entre autres, à une optimisation du mécanisme de cartographie véridique. Le mécanisme de cartographie véridique utilise des processus normaux de reconnaissance de motifs (« pattern ») pour détecter rapidement des similarités entre une multitude d'éléments perceptifs. Il favoriserait le développement d'habiletés exceptionnelles dans divers domaines de la perception (voir section 4.3). Le facteur « p » représenterait donc l'interface entre le produit d'une série de mutations génétiques en lien avec des altérations structurales et les particularités neurocognitives observées en autisme.

Altération des mécanismes de plasticité cérébrale. Le modèle « Trigger-Threshold-Target » (TTT) (traduction libre : « Déclencheur-Seuil-Cible ») (Mottron et al., in press) propose des hypothèses intéressantes pouvant rendre compte du facteur « p » dans l'autisme. Selon ce modèle, des mutations génétiques multiples seraient responsables des mécanismes de plasticité sollicités dans la construction des réseaux neuronaux locaux (Ben-David & Shifman, 2012), ce qui expliquerait les altérations structurales et neurophysiologiques retrouvées dans l'autisme.

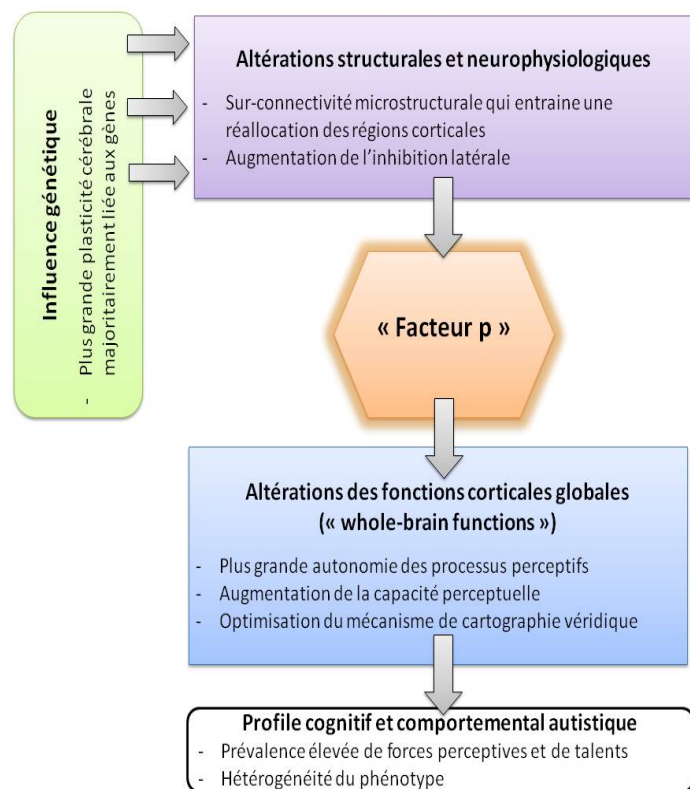


Figure 3. Modèle hypothétique sur l'origine du facteur « p » et de son rôle dans l'intelligence et le développement de forces perceptives et de talents dans l'autisme.

Le résultat de la présente recherche sur la présence de covariations résiduelles plurimodales pour les tâches de bas niveau correspond à ce que prédirait le modèle TTT. Suite à une vaste revue de littérature, les auteurs proposent que les mutations génétiques liées à l'autisme influencent plus directement les mécanismes d'encodage de bas niveau (ex. détection,

discrimination) que les mécanismes de traitement cortical subséquents impliqués dans les processus plus complexes (ex. identification, catégorisation) (Mottron et al., in press). Dans l'ensemble, la majorité des mutations retrouvées dans l'autisme favoriserait le développement d'un cerveau avec une plasticité cérébrale différente et/ou plus importante (Kelleher & Bear, 2008; Poulin-Lord et al., 2014; Zoghbi & Bear, 2012; Zuko et al., 2013). Ces mutations contribueraient à une surconnectivité microstructurale, une surexcitabilité au niveau synaptique (Arons et al., 2012) et une réorganisation corticale (ex. réallocation fonctionnelle). Au niveau cellulaire, une perturbation des processus normaux de maturation (c.-à-d., par le mécanisme d'élagage neuronal ou « pruning ») expliquerait l'augmentation de la densité neuronale observée dans certaines régions du cerveau des personnes autistes (Courchesne et al., 2011).

En se basant sur les études réalisées auprès de personnes ayant une déficience sensorielle, le modèle TTT prédit en autisme une réallocation des régions fonctionnelles par un phénomène de « cross-modal plasticity » en lien avec la perception. Cette réallocation fonctionnelle augmenterait l'efficacité de certaines opérations cognitives grâce au recrutement de nouvelles régions qui comportent des connexions (Collignon et al., 2011) et un style computationnel (Cardin et al., 2013) permettant d'atteindre des performances qui vont au-delà de ce que permet un système dit « normal ». Par exemple, dans l'autisme tout comme dans la déficience visuelle, on retrouve des niveaux de sensibilité perceptive qui sont supérieurs à ceux de la population générale. Notamment, la plus grande sensibilité aux variations de hauteur sonore documentée chez les autistes et les personnes avec une déficience visuelle représente un exemple robuste d'un effet bénéfique d'une réallocation fonctionnelle rendue possible par des mécanismes de plasticité (voir Mottron et al. sous presse pour une revue approfondie des similarités perceptives entre les deux conditions).

Des études en imagerie fonctionnelle soutiennent aussi l'idée selon laquelle il existe une réallocation corticale dans l'autisme en lien avec la plasticité cérébrale. Par exemple, une activation spécifique du gyrus fusiforme est retrouvée lors du traitement de matériel écrit, soit une habileté particulièrement développée chez certains individus autistes (Samson, Mottron, et al., 2011). En ce sens, une surconnectivité fonctionnelle temporo-occipitale serait associée à de meilleures capacités de décodage dans l'autisme (Kikuchi et al., 2013). D'autres études en

connectivité fonctionnelle décrivent généralement une diminution de la synchronisation de l'activation entre différentes régions corticales frontales et postérieures (c.-à-d., connexions de longue distance) pendant la complétion d'une variété de tâches verbales et non verbales (Just, Cherkassky, Keller, Kana, & Minshew, 2007; Just, Cherkassky, Keller, & Minshew, 2004; Kana, Keller, Cherkassky, Minshew, & Just, 2006, 2009; Kana, Keller, Minshew, & Just, 2007; Koshino et al., 2005; Koshino et al., 2008; Schipul, Keller, & Just, 2011). Cette altération des connexions de longue distance serait associée à une surconnectivité locale au sein des réseaux corticaux sollicités dans des tâches comportant une composante perceptive (Just et al. 2012). En dépit de différences méthodologiques expliquant la variabilité dans les résultats de diverses études, la présence d'altérations dans la connectivité fonctionnelle fut démontrée sous diverses conditions (ex. tâche active ou repos) et par différentes techniques d'investigation, telles que l'IRMf (Keown et al., 2013; Khan et al., 2013; Monk et al., 2009; Supekar et al., 2013), l'électroencéphalographie (EEG) (Barttfeld et al., 2011; Leveille et al., 2010; Murias, Webb, Greenson, & Dawson, 2007), la magnétoencéphalographie (MEG) (Kikuchi et al., 2013) et l'histologie (Casanova et al., 2006; Hutsler & Zhang, 2010). Une faible asymétrie hémisphérique rapportée en autisme représenterait possiblement une autre manifestation d'un cerveau plus plastique. Une perte de la spécialisation hémisphérique se produirait du fait que les fonctions latéralisées sont généralement plus sensibles à la réorganisation que les fonctions non latéralisées (Weisberg, Koo, Crain, & Eden, 2012).

Le modèle TTT conçoit l'hétérogénéité du phénotype autistique comme un phénomène fondamental à la compréhension de l'autisme. D'après ce modèle, les altérations des mécanismes de plasticité cérébrale déclenchées par des mutations génétiques (Ronemus et al., 2014) entraîneraient le développement d'un cerveau plus sensible à l'expérience sensorielle. Fait intéressant, la réorganisation corticale retrouvée en autisme serait généralement localisée dans les régions les plus plastiques du cerveau, telles que les aires associatives liées à la perception (Mueller et al., 2013). Un cerveau plus enclin à subir des altérations en lien avec la plasticité pourrait expliquer l'hétérogénéité des TSA quant à leur profil comportemental et cognitif. On observe ainsi une variabilité au niveau du développement du langage, des rendements intellectuels et des domaines de forces perceptives (ex. meilleure discrimination des hauteurs sonores) et/ou de talents (ex. mémoire, musique, calcul de calendrier).

Altérations structurales et neurophysiologiques. De manière générale, on retrouve dans l'autisme un biais sélectif vers l'information visuelle et auditive détaillée (Motttron et al. 2006). Tel que démontré dans la présente recherche, ces habiletés perceptives s'agrègeraient différemment entre les modalités chez les autistes. Combinés aux données de recherches récentes, ces résultats suggèrent que l'autisme se caractériserait par des altérations communes des systèmes sensoriels primaires visuelles et auditives. Plus spécifiquement, l'autiste semblerait sélectivement plus sensible aux attributs perceptifs de fréquence (c.-à-d., fréquence spectrale en audition et fréquence spatiale en vision). Ainsi, un mécanisme sous-jacent au facteur « p » serait en lien avec des altérations de l'organisation neuronale et des connexions microstructurales entre les groupes de neurones impliqués dans le traitement sensoriel des fréquences. Ces altérations structurales affecteraient spécifiquement le « tuning » (c.-à-d., réglage) des mécanismes sélectifs pour les fréquences et ce, à travers les différentes modalités perceptives.. En accord avec les principes du modèle EPF, Bertone et al. proposent l'hypothèse d'un « modèle neuronal local » qui situe l'extraction atypique de l'information primaire au centre même du phénotype autistique (Kéïta, Motttron, Dawson, & Bertone, 2011). Par ailleurs, selon les auteurs, leur perception orientée vers les détails, parfois même supérieure que chez les individus ayant un développement typique, est interprétée comme le résultat d'altérations des *connectivités microstructurales* (c.-à-d. au niveau synaptique) à l'intérieure des régions fonctionnelles. Ces modifications affecteraient les propriétés de réponse ou le « tuning » des filtres nécessaires au décodage d'information visuospatiale par des mécanismes d'inhibition latérale. Nous proposons d'étendre ce modèle développé en vision au système auditif, bien que la présence d'altération des mécanismes d'inhibition latérale en audition demeure à être démontrée de manière empirique.

Les mécanismes d'inhibition latérale impliqués dans la détection de fréquences sont sollicités pendant l'encodage des propriétés élémentaires de l'information et modulés par l'équilibre de l'activité neuronale inhibitrice et excitatrice (Ferster & Miller, 2000). Des études animales et humaines ont démontré un rôle important du neurotransmetteur GABA comme médiateur à cet équilibre entre inhibition et excitation au sein des modalités visuelles et auditives (Edden et al., 2009; Razak & Fuzessery, 2009, 2010). Par exemple, l'augmentation des concentrations de GABA chez l'humain est associée à l'amélioration des seuils de détection

d'orientation de lignes (Edden et al., 2009) et de discrimination tactile (Puts et al., 2011). Cette association pourrait possiblement expliquer certaines altérations perceptives observées au niveau comportemental dans l'autisme, appuyant ainsi l'hypothèse du rôle de l'inhibition latérale GABAergiques dans les atypies perceptives plurimodales de bas niveau en autisme (Kéïta et al., 2011; Vandenbroucke, Scholte, van Engeland, Lamme, & Kemner, 2008). Cependant, les études neurophysiologiques ne permettent pas de conclure sur la présence d'une augmentation ou d'une diminution absolue de GABA dans l'autisme. Plutôt, les modifications du système GABAergique en autisme seraient davantage de nature microstructurale, en lien avec l'équilibre entre inhibition et excitation, en plus d'être associées à des atypies perceptives (Fatemi, Folsom, et al., 2009; Fatemi, Reutiman, et al., 2009; Snijders, Milivojevic, & Kemner, 2013).

En somme, le facteur « p » reflèterait une réorganisation corticale génétique associée à un ensemble de modifications microstructurales et neurophysiologiques, ainsi qu'à une réallocation de l'activité fonctionnelle dans l'exécution de tâches variées à travers les modalités. Selon la présente recherche, ces modifications se manifesteraient par un traitement plus important des caractéristiques perceptives primaires et un profil de covariations résiduelles plurimodales entre les performances qui soit spécifique à l'autisme. Au niveau cognitif, le facteur « p » pourrait être conceptualisé comme un construit indépendant des autres processus typiquement retrouvés dans les modèles d'intelligence chez l'être humain.

3.3. Manifestations du facteur « p » dans les systèmes de fonctionnement cérébral global

Cette prochaine section s'intéresse à l'effet du facteur « p » sur les « fonctions cérébrales globales » (« *whole-brain functions* »). Nous proposons que le facteur « p », par son influence sur des fonctions cognitives plus complexes, entraîne un rôle différent, voire plus important, de la perception dans l'intelligence générale.

Plus grande autonomie des processus perceptifs. Une première hypothèse sur l'effet du facteur « p » est que la réallocation de l'activité fonctionnelle engendrait une plus grande autonomie des processus perceptifs dans le traitement cognitif plus complexe (ex. perception locale/globale, raisonnement abstrait). Chez les personnes autistes ayant connu un retard de langage, cette autonomie se manifesterait au niveau fonctionnel par, entre autres, une activation accrue des régions visuelles associatives lors du traitement d'information perceptive et verbale

(Kana et al., 2013; Keehn, Brenner, Palmer, Lincoln, & Muller, 2008; Manjaly et al., 2007; Ring et al., 1999; Samson, Mottron, et al., 2011). Une étude en imagerie cérébrale suggère également chez les autistes un rôle plus important de la perception pour la complétion des MPR, en lien avec une plus grande autonomie des processus corticaux (Soulières et al., 2009). Ainsi, à niveau de performance équivalent, les autistes recrutent davantage les aires associatives (extrastriées) visuelles (BA18) que les sujets contrôles, en plus de démontrer une diminution de l'activation des régions corticales plus antérieures, dont le cortex préfrontal latéral (BA9) et le cortex pariétal au niveau médial postérieur (BA7).

Au plan comportemental, une plus grande autonomie des processus perceptifs se manifesterait, entre autres, par une réduction de l'interférence des processus de traitement global sur les processus de traitement local. Une moins grande sensibilité aux effets de cohésion perceptive (perspective globale) permettrait aux autistes d'atteindre des performances parfois supérieures à celles des sujets contrôles dans des tâches pour lesquelles un traitement local est favorable (Bouvet, Simard-Meilleur, et al., 2014; Caron et al., 2006a; Jarrold et al., 2005).

Ainsi, le facteur « p » mènerait à un système cérébral global caractérisé par une plus grande autonomie des processus perceptifs. Cette organisation permettrait aux autistes d'adopter une approche plus perceptuelle dans la résolution de diverses tâches de niveau intermédiaire et de niveau plus avancé, incluant une épreuve de raisonnement fortement liée à l'intelligence générale chez les sujets contrôles.

Augmentation de la capacité perceptive. Une autre piste intéressante concernant l'effet des modifications structurales et neurophysiologiques sur les fonctions cérébrales globales porte sur l'efficacité des processus attentionnels associés à la perception. Remington et al. (2012) proposent une capacité perceptuelle augmentée à l'origine des forces perceptives qui requièrent un niveau de traitement intermédiaire ou plus avancé. La capacité perceptuelle fait référence à la quantité d'information pouvant être traitée par le système perceptif à un moment donné. L'hypothèse de la capacité perceptuelle (« Perceptual Load Theory ») se base sur la théorie de la charge cognitive (« Cognitive Load Theory ») qui propose qu'une personne mobilise systématiquement son attention sur une certaine quantité d'information pendant une ou plusieurs tâches. La quantité, ou charge d'information, peut varier d'une personne à l'autre et peut aisément amener au phénomène de cécité d'inattention lorsqu'elle est trop élevée. La

cécité d'inattention (« *inattentional blindness* ») est le fait de ne pas remarquer ou de ne pas prendre conscience d'un stimulus parfaitement visible. La fonction adaptative de ce processus cognitif est qu'il permet de mieux se concentrer sur l'essentiel de l'information à traiter sans se faire interrompre par les distracteurs. On retrouve dans les TSA une diminution de l'effet de la cécité d'inattention dans des conditions de recherche visuelle complexes avec une haute charge perceptive (ex. scènes visuelles) (Fletcher-Watson et al., 2012; Smith & Milne, 2009). Cette diminution de l'effet de la cécité d'inattention, soutenue par une plus grande capacité perceptive, permettrait d'optimiser l'efficacité des processus de recherche visuelle dans ce groupe clinique (Swettenham et al., 2014).

La présence de supériorités dans une variété d'épreuves de niveau intermédiaire (ex. recherche visuelle, tâche de figure cachée) permettrait d'exclure l'hypothèse d'un processus spécifique à la tâche et suggérerait plutôt une augmentation générale de la capacité perceptuelle en autisme. Swettenham et al. (2014) attribuent l'augmentation de la capacité perceptive à des altérations corticales impliquées le traitement « bottom-up » de l'information perceptive plutôt qu'à une faible capacité à contrôler la distraction (c.-à-d., un filtre inefficace au niveau des fonctions frontales). Cette augmentation de la capacité perceptive serait associée à une plus grande disponibilité du cortex pariétal et visuel, en lien avec un plus grand volume de matière grise dans le cortex pariétal (Brieber et al., 2007), ainsi qu'à une surconnectivité microstructurale dans les aires sollicitées par le traitement de l'information de bas niveau (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005; Kéita et al., 2011). Ainsi, l'hypothèse d'une augmentation de la capacité perceptive en autisme pourrait suggérer un système cognitif plus autonome centré sur la perception (Remington et al. 2012).

Un biais local associé à une plus grande autonomie des processus perceptifs pourrait aussi être expliqué en fonction d'une plus grande capacité perceptive. Ainsi, une plus grande capacité perceptive permettrait de traiter plus de détails avant d'avoir recours aux processus de traitement global qui eux, ont comme fonction de rassembler les éléments (ex. « chunking ») afin de diminuer la charge perceptive en situation d'environnement complexe. L'avantage d'une plus grande capacité perceptive est qu'elle permet d'atteindre de meilleures performances grâce au traitement d'une plus grande quantité d'informations pertinentes à la résolution de la tâche. À l'inverse, une plus grande capacité perceptive peut aussi mener à une augmentation de la

sensibilité à la distraction lorsqu'il y a de nombreuses informations non pertinentes à ignorer (Burack, 1994; Christ, Holt, White, & Green, 2007). Ce parallèle s'avère intéressant dans la compréhension des effets bénéfiques et possiblement défavorables du facteur « p » sur l'ensemble du phénotype autistique. L'impact du facteur « p » en contexte écologique sera abordé dans la section 5 (Implications cliniques) incluse à la fin de cette thèse.

3.4. Hypothèse sur l'origine des habiletés exceptionnelles dans l'autisme

La seconde étude de cette thèse démontre la présence d'habiletés exceptionnelles chez plus de la moitié des personnes autistes, avec des taux encore plus élevés chez les sujets présentant un meilleur niveau de fonctionnement cognitif. Contrairement au développement typique, qui par définition est caractérisé par un profil d'habiletés relativement homogènes à travers différents domaines, le phénotype autistique serait plutôt caractérisé par des divergences ou écarts significatifs entre diverses habiletés.

Un profil cognitif et fonctionnel (c.-à-d., capacités adaptatives) hétérogène, caractérisé par des divergences entre diverses habiletés (c.-à-d., forces et faiblesses), serait non spécifique à l'autisme. Ce genre de profil est plutôt indicatif d'un développement cortical atypique et également retrouvé dans plusieurs troubles neurodéveloppementaux. Par exemple, le syndrome de Williams est très étudié en cognition de la musique pour sa sensibilité accrue aux stimuli auditifs et pour son intérêt particulier pour la musique, en dépit d'un rendement intellectuel dans la déficience légère à modérée (Martens, Wilson, & Reutens, 2008). Dans le même ordre d'idées, le DSM-IV définit les troubles d'apprentissage (ex. dyslexie, dyscalculie) comme des conditions dans lesquelles une performance académique spécifique (ex. lecture, mathématique) est significativement inférieure (ex. au moins deux ans de retard) au niveau prédit par le rendement intellectuel global de la personne, son âge et son niveau d'éducation. De la même façon, certains troubles neurodéveloppementaux (ex. syndrome de dysfonction non verbale, trouble de déficit de l'attention) sont définis par une différence significative entre le niveau de fonctionnement dans un domaine spécifique (ex. fonctions non verbales, capacités attentionnelles) et le rendement intellectuel global (Lussier & Flessas, 2009). Ce qui distingue les individus autistes d'autres conditions, telles que le syndrome de William, serait donc la présence de divergences au sein de *différentes modalités*. Par exemple, la présente étude met en évidence

des talents dans divers domaines de la perception (ex. dessin — 17 %, habiletés visuospatiales — 32 %, musique — 17 %). Par ailleurs, on retrouve des forces perceptives dans la modalité auditive (discrimination de hauteur sonore — 47 %) et dans la modalité visuelle (reproduction de modèles visuels — 38 %, discrimination de contraste — 15 %).

L'étude de cooccurrences des habiletés exceptionnelles chez un même individu indique que 72 % des autistes avec un talent en présentent un deuxième dans un autre domaine parmi les cinq domaines investigués dans cette étude. Cependant, cette relation entre différents talents semblerait se produire de manière aléatoire puisque les taux de cooccurrence entre deux talents spécifiques sont généralement faibles, se situant de 17 % à 52 %. Ceci se rapproche davantage du taux de cooccurrence retrouvé pour les performances aux tâches perceptives entre les modalités, soit des taux de 24 % à 27 %, . Autre fait intéressant, les forces perceptives (définies par un pic relatif ou absolu) ne seraient pas directement associées à la présence de talents à l'intérieur des modalités (ex. une force pour la discrimination de hauteur sonore n'est pas associée à un talent en musique). En fait, les présents résultats suggèrent l'importance de l'expérience de vie dans le développement d'habiletés exceptionnelles chez les autistes. Fait intéressant, en contexte d'entraînement, les méthodes conventionnelles d'apprentissage pourraient être moins bénéfiques pour les autistes comparativement aux sujets contrôles (annexe IV) (effets de la rétroaction : Bertone, Courchesne, Filiatrault, Dugas, & Mottron, 2012) .

La nature hétéroclite des habiletés exceptionnelles investiguées pourraient contribuer à la variabilité entre les taux de cooccurrence à travers les modalités pour les forces perceptives et les talents. Les forces perceptives font généralement appel à des processus cognitifs unimodaux sollicitant le traitement de régions corticales distinctes au niveau occipito-pariétal (Kana et al., 2013) et temporal (Ouimet et al., 2012). Les forces perceptives pourraient être ainsi plus indépendantes des réseaux corticaux complexes et en conséquence, moins sensibles aux altérations fonctionnelles des processus de plus haut niveau liées à des mécanismes de fonctionnement cérébral global. En revanche, les talents ayant des taux de cooccurrence relativement élevés (c.-à-d., lecture-calcul, mémoire-habiletés visuospatiales, dessin-habiletés visuospatiales) se retrouvent dans des domaines sollicitant un traitement cortical plus avancé, ou complexe, que les forces perceptives. Par exemple, chez un garçon hyperlexique de 9 ans dont le

niveau de lecture est supérieur de 6 ans à son âge chronologique, la lecture de plus haut niveau active davantage des régions impliquées dans le traitement phonologique (cortex temporal supérieur et cortex frontal inférieur gauche) et le traitement visuel (sulcus temporal inférieur droit) (Turkeltaub et al., 2004). Un traitement cortical plus avancé suppose la contribution de fonctions cognitives plus complexes telles que la mémoire de travail, la capacité de catégorisation et d'autres mécanismes relatifs à la perception multimodale de haut niveau. Il est donc possible que des altérations affectant des processus généraux de la cognition, telles que la *cartographie véridique* (« veridical mapping »), augmentent non seulement les chances de présenter un talent chez les autistes, mais également les chances d'en présenter dans plus d'un domaine.

Optimisation du mécanisme de cartographie véridique. Un effet bénéfique d'un système cognitif soutenu par le facteur « p » est l'optimisation du mécanisme de cartographie véridique (Mottron, Bouvet, et al., 2013). Ce mécanisme consiste en l'utilisation des processus normaux de reconnaissance de motifs (« patterns ») pour détecter rapidement des similarités entre une multitude d'éléments perceptifs organisés selon une certaine structure (ex. les lettres de l'alphabet). Cette représentation simple et locale (c.-à-d., détaillée) de la structure peut alors être transférée à une plus grande échelle par un processus de « mapping » afin de comprendre de grandes structures ou des représentations abstraites (ex. le code écrit pour la composition des mots). Le mécanisme de cartographie véridique se retrouve dans le développement typique et participe au traitement d'information de nature non visuelle en y appliquant des structures visuelles (Pascual-Leone & Hamilton, 2001). La cartographie véridique a récemment été proposée comme mécanisme directement relié à la haute prévalence de talents dans l'autisme (ex. l'hyperlexie, le calcul de calendrier, l'oreille absolue, la synesthésie) (Mottron, Bouvet, et al., 2013). Selon ce modèle, une habileté exceptionnelle résulterait de la façon particulière dont le cerveau des personnes autistes traite différentes informations perceptives, en fonction de leur structure. L'optimisation du mécanisme de cartographie véridique permettrait aux autistes de mémoriser plus facilement l'association entre différents éléments qui se ressemblent sur leurs aspects perceptifs et leur structure. Ainsi, les talents se développeraient de manière optimale dans des domaines impliquant des matériels avec une importante correspondance (c.-à-d., isomorphisme) au niveau de leur structure perceptive. Une exposition au matériel complexe en

combinaison avec une motivation intrinsèque de la personne à manipuler ce matériel avec une intensité importante (c.-à-d., intérêt restreint) mènerait, par des processus d'apprentissage implicite, à l'apparition d'une expertise. Ainsi, les talents se développeraient par des processus d'apprentissage différents de ceux habituellement observés dans le développement typique (ex. par essais et erreur et renforcement externe) (Dawson, Mottron, & Gernsbacher, 2008). Mottron et al. (2013) proposent qu'au cours du développement, les habiletés acquises à travers l'exposition intensive fusionneraient avec des processus cognitifs de plus haut niveau comme le raisonnement permettant une maîtrise unique des éléments abstraits et concrets liés au domaine d'expertise (ex. calcul de calendrier).

4. Implications cliniques

La première partie de cette thèse contribue à mieux comprendre la place qu'occupe la perception dans l'intelligence des personnes autistes. L'identification d'un facteur « p », spécifique à l'autisme, permet d'élaborer des hypothèses sur des mécanismes susceptibles de sous-tendre un système perceptif atypique à travers les modalités. Toutefois, l'utilisation de tâches expérimentales reflétant l'intégrité de processus perceptifs fondamentaux, limite la généralisation de nos conclusions à la symptomatologie autistique. Ceci étant dit, la combinaison des conclusions théoriques de la première étude aux résultats plus cliniques de la deuxième étude permet de réfléchir sur les implications cliniques des travaux de cette thèse.

Relation entre signes cliniques et fonctionnement perceptif. Afin d'explorer la relation entre l'efficacité des processus perceptifs et les signes cliniques, nous avons effectué des analyses exploratoires entre les données expérimentales obtenues aux tâches perceptives de laboratoire et les scores à des outils cliniques (résultats décrits dans l'annexe V). Les outils cliniques en question incluaient l'ADI-R, comme mesure des comportements à l'enfance (4-5 ans) et l'« Autism Quotient » (AQ), comme mesure des comportements actuels. En ce qui concerne les données expérimentales issues des tâches perceptives, les variables d'intérêt étaient les mêmes que celles incluses dans le premier article : performance moyenne aux tâches de discrimination de hauteurs sonores et de contraste, et au sous-test modifié de blocs, ainsi que la sensibilité au changement locaux dans la condition identique de la tâche de mélodie.

Une importante variabilité dans nos résultats avec l'ADI-R ne permet pas de conclure clairement sur la présence d'une association entre le fonctionnement perceptif et la présence plus intense de signes autistiques pendant le développement. Étonnamment, aucun des éléments du domaine des comportements et intérêts (ex. comportements répétitifs, intérêts restreints ou rigidité cognitive) n'était associé aux performances perceptives. Ces résultats peuvent initialement sembler en contradiction avec l'étude de Caron et al. (2006) qui rapporte plus de « préoccupations inhabituelles » et plus d'« intérêts inhabituels sensoriels » dans le groupe autiste avec un pic d'habileté au sous-test « blocs » comparativement aux autistes sans pic visuospatial. Cependant, il faut préciser que dans leurs analyses, Caron et collègues n'ont pas utilisé le niveau de performance absolue au sous-test « Blocs », mais plutôt le niveau

d'hétérogénéité (ou divergence) du profil cognitif spécifiquement mesuré par le pic relatif au sous-test « Blocs » de l'échelle de Wechsler. Ainsi, il est possible que le niveau d'hétérogénéité du profil cognitif soit davantage associé au phénotype autistique que le niveau de performance absolu aux tâches perceptives. Par ailleurs, la variabilité des résultats à l'intérieur d'un même domaine clinique pourrait être attribuable, en partie, au lien entre le rendement cognitif, la performance perceptive et certains signes cliniques. De futures études seront nécessaires pour déterminer quels signes cliniques manifestés pendant l'enfance sont associés à l'intelligence des personnes autistes. Ceci permettra alors d'isoler la relation entre signe clinique et fonctionnement perceptif, au-delà de leur association commune avec l'intelligence.

Les analyses avec le questionnaire AQ démontrent qu'il existe une relation entre la présence de plus de signes autistiques et une plus grande sensibilité au changement de hauteurs sonores chez les autistes, mais non chez les sujets contrôles. Ce résultat s'avère intéressant dans la discussion de l'AQ comme outil sensible aux signes autistiques dans la population générale. Notamment, on ne retrouve pas la même association entre le pic autistique le plus robuste (la discrimination de hauteur sonore) et le score global au AQ. Ce résultat suggère que la relation entre certains comportements de « type autistique » et l'efficacité des processus perceptifs soit différente entre les groupes. En effet, plus de comportements atypiques, tels que le retrait social et les intérêts restreints, seraient associés à un système auditif plus sensible chez les autistes, mais pas chez les sujets contrôles.

Effet du facteur « p » en contexte clinique. Une relation entre les signes cliniques, tels que mesurés par l'AQ, et l'efficacité perceptive (ici en audition) des autistes pourrait s'expliquer par l'effet spécifique du facteur « p » dans ce groupe. Comme discuté dans la section précédente, le facteur « p » résulterait d'une série d'altérations corticales qui entraîneraient des modifications des fonctions cérébrales globales. Selon le modèle TTT, ce développement atypique du système cortical, axé sur la perception, prendrait sa place aux dépens du développement normal des habiletés sociales, langagières et motrices. Ainsi, chez les autistes seulement, un système perceptif plus efficace serait associé à davantage de difficultés sociales et autres comportements « autistiques ». Chez les sujets contrôles, il est possible que des processus perceptifs plus efficaces soient plutôt associés à un système cortical plus performant (relation avec facteur

« g »), sans lien spécifique avec le domaine social, par exemple. De manière générale, les habiletés verbales et de communication occupent une place importante lors d'interactions avec notre environnement. Toutefois, les interactions verbales ne correspondent pas toujours aux principes de fonctionnement du cerveau autistique comme la cartographie véridique (Mottron et al. 2013). Les autistes décoderaient ainsi difficilement une interaction sociale lorsque le contenu verbal de l'interlocuteur ne correspond pas directement à l'« input » non linguistique (ex. comportements non verbaux). Par exemple, les autistes présentent des difficultés dans des situations d'attention partagée avec une composante verbale, et dans l'expression ou la compréhension d'un état subjectif.

Un autre effet potentiellement désavantageux du facteur « p » en contexte de vie quotidienne serait la présence d'intérêts restreints en lien avec l'utilisation du mécanisme de cartographie véridique. Un entraînement répétitif d'une même opération cognitive contribuerait au développement de liens neuronaux locaux permettant une surspécialisation du traitement d'un type d'information (Kapur, 1996; Mottron & Burack, 2001). Par définition, le mécanisme de cartographie véridique s'applique de manière spécifique à un domaine. Par cette spécificité, les habiletés acquises par ce mécanisme seraient peu généralisables à d'autres domaines. Par exemple, l'hyperlexie, définie comme une force spécifique dans le décodage de lettres et de mots, se produirait aux dépens d'une faible compréhension de lecture. D'autre part, si l'on considère que le cerveau autiste développe plus facilement des habiletés lorsqu'il peut utiliser le mécanisme de cartographie véridique de manière optimale, l'accès au matériel et le type d'exposition s'avèrent importants. Selon Mottron et al. (2013), le développement d'habileté par le mécanisme de cartographie véridique dépendrait d'une exposition simultanée à une grande quantité d'information. Ce type d'exposition serait nécessaire afin d'extraire les régularités du matériel (ex. accès à différents types de ressources écrites, telles que le dictionnaire et les encyclopédies, pour en retirer le code du langage écrit). En lien avec nos résultats sur la présence de plus d'un talent chez la majorité des autistes, nous pouvons avancer l'idée qu'un enfant davantage exposé à du matériel dans plusieurs modalités sera plus apte à développer des talents dans plus d'un domaine. À l'inverse, un environnement appauvri qui limite l'accès au matériel perceptif pourrait déclencher des comportements de dérivation et mener à une réduction du potentiel intellectuel, et même à la déficience (Lewis, Tanimura, Lee, & Bodfish, 2007).

Conceptualisation clinique de l'intelligence autistique et des habiletés exceptionnelles.

Les travaux de la présente thèse contribuent également à une meilleure compréhension de la nature de l'intelligence dans l'autisme. Certaines forces perceptives des autistes comme celles documentées pour le traitement visuospatial dans le sous-test modifié de « blocs » (présente étude) ou de temps d'inspection (Barbeau et al., 2013) disparaissent avec l'appariement aux MPR. Autrement dit, le niveau d'intelligence fluide serait équivalent au niveau de performance à certaines tâches perceptives. Ainsi, certaines forces perceptives pourraient être reconceptualisées comme étant des domaines d'habiletés cognitives intactes dans un profil caractérisé par des faiblesses verbales. Selon cette perspective, un « pic au blocs » sur l'échelle de Wechsler serait ainsi indicatif d'un potentiel intellectuel intact chez un enfant qui possède peu d'habiletés verbales (Courchesne et al., soumis). Dans la présente étude, un surfonctionnement spécifique au traitement auditif de bas niveau persiste au-delà de l'effet d'appariement. Ces forces perceptives reflèteraient l'altération de mécanismes d'encodage de l'information élémentaire et affecteraient par un effet de cascade l'ensemble de la cognition en autisme.

Au niveau clinique, il serait intéressant d'étudier d'autres marqueurs d'intelligence en autisme, en plus de chercher à comprendre comment ces domaines d'habiletés « intactes » ou « augmentées » peuvent se traduire au niveau des apprentissages. Premièrement, en terme d'évaluation cognitive, l'identification d'habiletés exceptionnelles permettrait de distinguer une « fausse » d'une « réelle » déficience intellectuelle. Selon nos hypothèses, les autistes présentant un profil hétérogène pourraient également être ceux chez qui le facteur « p » joue un rôle plus important. L'identification du facteur « p » représenterait un fonctionnement cortical atypique, avec un plus grand rôle de la perception, indépendamment de la présence de forces absolues (c.-à-d., surfonctionnement relatif au groupe contrôle). Ainsi, il serait intéressant d'élaborer de nouveaux outils d'évaluation pour identifier, indépendamment des surfonctionnements, une série d'altérations indicatives de la présence du facteur « p ». Par exemple, ces outils d'évaluation pourraient inclure une mesure de la relation entre des tâches plurimodales de discrimination perceptive (ex. hauteur sonore et hautes fréquences spatiales), une mesure des capacités perceptives et une mesure des effets d'interférence globale. De toute évidence, il sera d'abord important de valider construit du facteur « p » comme entité conceptuelle unique en

autisme de la même façon que d'autres construits cognitifs ont été réalisés dans l'intelligence normale (Mackintosh, 2011).

Afin de pousser davantage la compréhension des habiletés exceptionnelles, il serait intéressant d'étudier les facteurs qui distinguent les autistes ayant de multiples habiletés exceptionnelles, de ceux avec une seule habileté exceptionnelle et de ceux sans habiletés exceptionnelles. Nous proposons l'inclusion de variables telles que le niveau d'intelligence verbale et une histoire positive ou négative d'interventions « mainstream » (ex. ABA avec approche de Lovass). D'autre part, une étude en contexte écologique comparant les intérêts perceptifs ou matériels aux intérêts plus sociaux permettrait de valider les hypothèses du modèle TTT sur la relation entre la perception et le développement social chez le jeune enfant autiste.

Implications sur les approches d'intervention. Les conclusions de la présente recherche apportent également des pistes de réflexion quant aux approches d'intervention à favoriser auprès des personnes autistes. Dans l'autisme, la perception s'insère différemment dans les modèles d'intelligence, suggérant son rôle différent, et possiblement plus important, dans la cognition en général. Par ailleurs, le développement de certaines habiletés exceptionnelles dépendrait de l'expérience de vie permettant une exposition aléatoire à une variété de matériel perceptif. Toutefois, il est possible que les méthodes formelles d'enseignement utilisées dans le développement typique ne soient pas structurées de manière à optimiser le développement d'habiletés chez les personnes autistes (annexe IV) (Bertone et al., 2012; Dawson et al., 2008).

Selon le principe d'un système cognitif différent dans l'autisme, il serait donc bénéfique de modifier les programmes actuels d'intervention qui sont basés sur les principes d'apprentissage chez les personnes à développement typique. Les programmes actuels d'intervention comportent d'abord trop souvent une importante composante verbale, ce qui n'est pas l'idéal pour les autistes. Plutôt, il serait important d'encourager les apprentissages des enfants autistes selon leur mode d'apprentissage de préférence (ex. exposition simultanée de l'ensemble de l'information, comme un tableau de multiplications, afin d'en retirer les régularités). Par ailleurs, les approches actuelles d'intervention sont majoritairement basées sur la « restauration » des fonctions négligées par la stimulation des habiletés socio-communicatives et la suppression des comportements possiblement impliqués dans le développement de

fonctions non sociales liées à la perception (Dawson et al., 2010). Il serait intéressant d'étudier l'impact de nouveaux programmes d'intervention qui visent l'optimisation de la plasticité dans les domaines de forces en encourageant l'exposition à une variété de matériel dans diverses modalités selon les principes de la cartographie véridique. Par ailleurs, des études longitudinales, dès l'établissement du diagnostic de TSA, permettraient de mieux comprendre le développement d'habiletés exceptionnelles durant les périodes de haute plasticité cérébrale qui sont propices aux changements chez les jeunes autistes en interaction avec l'environnement.

5. Limites et perspectives futures

L'interprétation et la généralisation des résultats de cette thèse doivent se faire en considérant les limites méthodologiques. Ainsi, cette section présentera les principales limites de nos travaux et offrira des pistes de recherche permettant de pallier celles-ci.

Dans son ensemble, la présente thèse s'est concentrée sur l'étude des personnes avec un diagnostic standardisé d'autisme (selon les critères du DSM-IV). L'étude de ce sous-groupe plus homogène de participants permet de mieux contrôler l'influence de variables potentiellement confondantes. À titre d'exemple, mentionnons ici l'effet de différentes trajectoires dans le développement du langage sur les processus perceptifs et sur les profils cognitifs. Cet aspect de l'étude qui constitue une force peut, en contrepartie, limiter la généralisation des résultats sur l'ensemble des TSA. Par exemple, elle ne permettrait pas la généralisation aux personnes avec un syndrome d'Asperger (selon les critères du DSM-IV) qui se distingueraient des autistes par un développement normal du langage et un profil cognitif caractérisé par des forces dans le domaine verbal plutôt que visuospatial (Nader, Jelenic, & Soulières, 2012). Ainsi, dans les prochaines études, il serait pertinent d'inclure une plus grande étendue de personnes avec un TSA en s'assurant de bien documenter les variables confondantes possibles, par exemple l'historique de développement du langage qui a déjà été démontré comme un aspect développemental pouvant affecter la caractérisation du phénotype TSA. Par ailleurs, les personnes avec un diagnostic associé à une condition médicale (ex. syndrome de l'X Fragile) étaient exclues de la présente étude. À notre connaissance, il n'existe pas d'études qui comparent les profils perceptifs et cognitifs des sujets autistes avec et sans condition médicale associée. Mesurer ces possibles variables confondantes permettra de déterminer si celles-ci affectent les résultats obtenus et si oui, de quelle manière. Si les variables confondantes n'affectent pas les résultats, de telles analyses aideraient à savoir si les conclusions tirées quant aux variables d'intérêt peuvent se généraliser à l'ensemble des TSA. Par exemple, si le facteur « p » se retrouve chez les personnes autistes et celles ayant un syndrome d'Asperger, on pourrait émettre l'hypothèse selon laquelle les mécanismes sous-jacents à ce facteur sont liés à des atypies communes aux deux sous-groupes, telles que les particularités sociales ou attentionnelles.

L'emploi de modèles de régression dans l'évaluation des relations entre les tâches pour étudier les profils de covariations et identifier la nécessité d'un facteur additionnel dans l'explication du profil des autistes pourrait être critiqué. Cependant, l'utilisation de cette méthode statistique dans notre devis de recherche découle directement de l'aspect innovateur du projet qui examine, pour la première fois, les relations entre performances perceptives entre elles, en interaction avec l'intelligence. Notre choix de stratégie analytique était limité par la taille de l'échantillon, le nombre de tâches et la faisabilité de nos recherches à l'intérieur des limites de temps alloué. Des études de plus grande envergure avec un large échantillon de participants (c.-à-d., centaines par groupe) et un plus grand nombre de tâches (ex. trois tâches par niveaux et par modalité) permettraient d'utiliser des méthodes statistiques plus robustes, telles que l'analyse factorielle et des modélisations d'équations structurelles. De plus, l'utilisation de tâches variées, sensibles à la détection d'altérations des mécanismes associés au facteur « p » permettait d'identifier plus précisément l'existence d'un facteur spécifique à l'intelligence autistique, le cas échéant. Pour l'instant, les résultats obtenus suite aux régressions linéaires de la présente étude sous-estiment les liens entre les performances observées et le facteur « p ». On pourrait s'attendre à des résultats plus robustes avec l'utilisation d'une stratégie statistique plus puissante et des tâches perceptives encore plus sensibles aux mécanismes essentiellement atypiques dans l'autisme. En effet, jusqu'à présent, il n'existe pas de données concluantes sur la nature des mécanismes pouvant être impliqués dans le facteur « p ». Ainsi, il est difficile de savoir quelles tâches mesurent plus exactement les mécanismes reliés à ce facteur. Par ailleurs, comme il s'agit de la première étude de ce genre, les analyses demeurent au stade exploratoire et conséquemment, elles n'ont pas été corrigées pour des analyses multiples. Un ajustement statistique (de type Bonferroni) était trop conservateur lorsque les analyses impliquaient des variables indépendantes corrélées ou lorsque les analyses étaient répétées sur de nombreuses variables dépendantes corrélées.

CONCLUSION

En conclusion, cette thèse démontre une association entre les performances perceptives des personnes autistes au sein de différentes modalités, association reliée à un facteur distinct de l'intelligence générale ou du facteur « g ». Le facteur « p » est proposé comme une unité conceptuelle spécifique à l'autisme reflétant des altérations microstructurales et neurophysiologiques associées au surfonctionnement des mécanismes de plasticité synaptique encodés génétiquement, dits « hardwired ». Ces altérations se manifesteraient par des profils cognitifs hétérogènes caractérisés par des forces perceptives chez presque la moitié des autistes sans déficience intellectuelle. Ainsi, le fait d'être supérieur ou non au niveau de la performance perceptive serait subordonné à l'idée que la perception des autistes soit modifiée dans ses fondements de base. Un faible chevauchement des habiletés exceptionnelles entre les modalités suggère que les processus impliqués dans leur développement dépendraient d'un facteur secondaire, comme l'expérience de vie, modifiant séparément le fonctionnement de chaque modalité. Ainsi, le développement d'habiletés exceptionnelles nécessiterait un « cerveau autiste » (c.-à-d., caractérisé par plus de plasticité et un plus grand rôle de la perception) avec un bon potentiel intellectuel permettant l'usage optimal des ressources cognitives, ainsi que des opportunités pour interagir librement avec divers matériels perceptifs. Dans l'ensemble, la présente thèse permet une première décomposition de la notion de plasticité dans l'autisme, mettant en lumière l'influence de processus innés et expérientiels sur la perception. Au niveau clinique, les conclusions de la présente thèse suggèrent qu'il est important de choisir des outils non verbaux tels que les RPM pour évaluer le potentiel intellectuel des autistes, de même que de favoriser le développement des habiletés exceptionnelles en les exposant à une grande quantité de matériels variés.

BIBLIOGRAPHIE

- Abell, F., Krams, M., Ashburner, J., Passingham, R., Friston, K., Frackowiak, R., . . . Frith, U. (1999). The neuroanatomy of autism: a voxel-based whole brain analysis of structural scans. *Neuroreport*, *10*(8), 1647-1651.
- Abrahams, B. S., & Geschwind, D. H. (2008). Advances in autism genetics: on the threshold of a new neurobiology. *Nat Rev Genet*, *9*(5), 341-355.
- Acton, G. S., & Schroeder, D. H. (2001). Sensory discrimination as related to general intelligence. *Intelligence*, *29*(3), 263-271.
- APA (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV*. (4th^e éd.). Washington, DC: American Psychiatric Association.
- APA (2013). *DSM 5*. American Psychiatric Association.
- Aram, D. M., & Healy, J. M. (1988). Hyperlexia: A review of extraordinary word recognition. In L. Obler, & D. Fein (Eds.), *The Exceptional Brain, Neuropsychology of talent and special abilities*. New York: Guilford.-pp 70-102
- Arons, M. H., Thynne, C. J., Grabrucker, A. M., Li, D., Schoen, M., Cheyne, J. E., . . . Garner, C. C. (2012). Autism-associated mutations in ProSAP2/Shank3 impair synaptic transmission and neurexin-neuroligin-mediated transsynaptic signaling. *J Neurosci*, *32*(43), 14966-14978.
- Asperger, H. (1944). Autistic psychopathy' in childhood. translated and annotated by Frith U (1991) in *Autism and Asperger syndrome*. (p. 37–92): Cambridge University Press.
- Barbeau, E. B., Meilleur, A.-A. S., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (accepté). Comparing Visuomotor Skills in Autism Spectrum Individuals with and without Speech Delay. *Autism Research*.
- Barbeau, E. B., Soulieres, I., Dawson, M., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2013). The level and nature of autistic intelligence III: Inspection time. *J Abnorm Psychol*, *122*(1), 295-301.

- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *J Autism Dev Disord*, *31*(1), 5-17.
- Barttfeld, P., Wicker, B., Cukier, S., Navarta, S., Lew, S., & Sigman, M. (2011). A big-world network in ASD: dynamical connectivity analysis reflects a deficit in long-range connections and an excess of short-range connections. *Neuropsychologia*, *49*(2), 254-263.
- Belin, P., & Zatorre, R. J. (2000). 'What', 'where' and 'how' in auditory cortex. *Nat Neurosci*, *3*(10), 965-966.
- Belmonte, M. K., Allen, G., Beckel-Mitchener, A., Boulanger, L. M., Carper, R. A., & Webb, S. J. (2004). Autism and abnormal development of brain connectivity. *J Neurosci*, *24*(42), 9228-9231.
- Ben-David, E., & Shifman, S. (2012). Networks of neuronal genes affected by common and rare variants in autism spectrum disorders. *PLoS Genet*, *8*(3), e1002556.
- Bennett, E., & Heaton, P. (2012). Is talent in autism spectrum disorders associated with a specific cognitive and behavioural phenotype? *J Autism Dev Disord*, *42*(12), 2739-2753.
- Bertone, A., Courchesne, V., Filiatrault, L., Dugas, K., & Mottron, L. (2012, May). *The effect of feedback on perceptual learning in autistic adults*. Communication présentée 11th International Meeting for Autism Research (IMFAR), Toronto, Canada.
- Bertone, A., Hanck, J., Kogan, C., Chaudhuri, A., & Cornish, K. (2010). Associating neural alterations and genotype in autism and fragile x syndrome: incorporating perceptual phenotypes in causal modeling. *J Autism Dev Disord*, *40*(12), 1541-1548.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, *128*(Pt 10), 2430-2441.

- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., Faubert, J., Bertone, A., Mottron, L., . . . Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain, 128*(Pt 10), 2430-2441.
- Bertone, A., Mottron, L., Faubert, J. (2005). Dissociating pathway -versus complexity- specific accounts of motion perception impairments in autism. Commentary on "Motion perception in autism" (E. Milne, J. Swettenham, & R. Campbell). *Current Psychology of Cognition, 23*(1-2), 75-83.
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative neurology and neuroscience, 25*(3), 399-410.
- Bever, T. G., & Chiarello, R. G. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science, 185*, 537-539.
- Bhatara, A., Babikian, T., Laugeson, E., Tachdjian, R., & Sininger, Y. S. (2013). Impaired timing and frequency discrimination in high-functioning autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord, 43*(10), 2312-2328.
- Bolte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt perception and local-global processing in high-functioning autism. *J Autism Dev Disord, 37*(8), 1493-1504.
- Bolte, S., Hubl, D., Dierks, T., Holtmann, M., & Poustka, F. (2008). An fMRI-study of locally oriented perception in autism: altered early visual processing of the block design test. *J Neural Transm, 115*(3), 545-552.
- Bolte, S., & Poustka, F. (2004). Comparing the intelligence profiles of savant and nonsavant individuals with autistic disorder. *Intelligence, 32*(2), 121-131.
- Bonnel, A., McAdams, S., Smith, B., Berthiaume, C., Bertone, A., Ciocca, V., . . . Mottron, L. (2010). Enhanced pure-tone pitch discrimination among persons with autism but not Asperger syndrome. *Neuropsychologia, 48*(9), 2465-2475.

- Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnel, A.-M. (2003a). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: A signal detection analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(2), 226–235.
- Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnel, A. M. (2003b). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: a signal detection analysis. *J Cogn Neurosci*, *15*(2), 226-235.
- Bouchard Jr, T. J. (2009). Genetic influence on human intelligence (Spearman's g): How much? *Annals of human biology*, *36*(5), 527-544.
- Bouvet, L., Donnadieu, S., Valdois, S., Caron, C., Dawson, M., & Mottron, L. (2014). Veridical mapping in savant abilities, absolute pitch, and synesthesia: an autism case study. *Front Psychol*, *5*, 106.
- Bouvet, L., Simard-Meilleur, A. A., Paignon, A., Mottron, L., & Donnadieu, S. (2014). Auditory local bias and reduced global interference in autism. *Cognition*, *131*(3), 367-372.
- Brieber, S., Neufang, S., Bruning, N., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Herpertz-Dahlmann, B., . . . Konrad, K. (2007). Structural brain abnormalities in adolescents with autism spectrum disorder and patients with attention deficit/hyperactivity disorder. *J Child Psychol Psychiatry*, *48*(12), 1251-1258.
- Brown, W. A., Cammuso, K., Sachs, H., Winklosky, B., Mullane, J., Bernier, R., . . . Folstein, S. E. (2003). Autism-related language, personality, and cognition in people with absolute pitch: results of a preliminary study. *J Autism Dev Disord*, *33*(2), 163-167; discussion 169.
- Burack, J. (1994). Selective attention deficits in persons with autism: preliminary evidence of an inefficient attentional lens. *Journal of Abnormal Psychology*, *103*(3), 535–543.
- Cardin, V., Orfanidou, E., Ronnberg, J., Capek, C. M., Rudner, M., & Woll, B. (2013). Dissociating cognitive and sensory neural plasticity in human superior temporal cortex. *Nat Commun*, *4*, 1473.

- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006a). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, *129*(Pt 7), 1789-1802.
- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006b). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, *129*(7), 1789-1802.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Casanova, M. F., van Kooten, I. A., Switala, A. E., van Engeland, H., Heinsen, H., Steinbusch, H. W., . . . Schmitz, C. (2006). Minicolumnar abnormalities in autism. *Acta Neuropathol*, *112*(3), 287-303.
- CDC. (2008). Prevalence of Autism Spectrum Disorders — Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 Sites, United States, 2008. Repéré le 14 mars 2014 à <http://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>
- CDC. (2014). Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years - autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2010. *MMWR Surveill Summ*, *63*(2), 1-21.
- Chamberlain, R., McManus, I. C., Brunswick, N., Rankin, Q., Riley, H., & Kanai, R. (2014). Drawing on the right side of the brain: A voxel-based morphometry analysis of observational drawing. *Neuroimage*, *96C*, 167-173.
- Christ, S. E., Holt, D. D., White, D. A., & Green, L. (2007). Inhibitory control in children with autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, *37*(6), 1155-1165.
- Coghill, S., Horder, J., Inkster, B., Mendez, M. A., Murphy, D. G., & Nutt, D. J. (2012). GABA system dysfunction in autism and related disorders: from synapse to symptoms. *Neurosci Biobehav Rev*, *36*(9), 2044-2055.
- Collignon, O., Vandewalle, G., Voss, P., Albouy, G., Charbonneau, G., Lassonde, M., & Lepore, F. (2011). Functional specialization for auditory–spatial processing in the occipital cortex of

congenitally blind humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), 4435-4440.

Conrad, R. (1979). *The deaf schoolchild: Language and cognitive function*. HarperCollins Publishers.

Courchesne, E., Mouton, P. R., Calhoun, M. E., Semendeferi, K., Ahrens-Barbeau, C., Hallet, M. J., . . . Pierce, K. (2011). Neuron number and size in prefrontal cortex of children with autism. *JAMA*, 306(18), 2001-2010.

Courchesne, V., Simard-Meilleur, A.-A., Pioulin-Lord, M.-P., Dawson, M., & Soulières, I. (soumis). Autistics at high risk of being underestimated: school-based study of cognitive abilities. *Molecular Autism*.

Crawford, J. R., Garthwaite, P. H., & Howell, D. C. (2009). On comparing a single case with a control sample: an alternative perspective. *Neuropsychologia*, 47(13), 2690-2695.

Crawford, J. R., & Howell, D. C. (1998). Comparing an individual's test score against norms derived from small samples. *The Clinical Neuropsychologist*, 12(4), 482-486.

Currenti, S. A. (2010). Understanding and determining the etiology of autism. *Cell Mol Neurobiol*, 30(2), 161-171.

Dawson, G., Rogers, S., Munson, J., Smith, M., Winter, J., Greenson, J., . . . Varley, J. (2010). Randomized, controlled trial of an intervention for toddlers with autism: the Early Start Denver Model. *Pediatrics*, 125(1), e17-23.

Dawson, M., Mottron, L., & Gernsbacher, M. A. (2008). Learning in autism. In Learning and memory: a comprehensive reference. Dans J. B. H. L. Roediger (dir.), *Cognitive psychology* (p. 759–772). Oxford, UK: Elsevier.

Dawson, M., Soulières, I., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2007). The level and nature of autistic intelligence. *Psychol Sci*, 18(8), 657-662.

- De Jonge, M. V., Kemner, C., de Haan, E. H., Coppens, J. E., van den Berg, T. J., & van Engeland, H. (2007). Visual information processing in high-functioning individuals with autism spectrum disorders and their parents. *Neuropsychology, 21*(1), 65-73.
- De Jonge, M. V., Kemner, C., & van Engeland, H. (2006). Superior Disembedding Performance of High-Functioning Individuals with Autism Spectrum Disorders and Their Parents: The Need for Subtle Measures. *J Autism Dev Disord, 13*, 13.
- Deary, I. J. (1994). Intelligence and auditory discrimination: Separating processing speed and fidelity of stimulus representation. *Intelligence, 18*(2), 189-213.
- Deary, I. J. (2000). *Looking down on human intelligence: From psychometrics to the brain*. Oxford University Press.
- Deary, I. J., Bell, P. J., Bell, A. J., Campbell, M. L., & Fazal, N. D. (2004). Sensory discrimination and intelligence: Testing Spearman's other hypothesis. *The American journal of psychology*.
- Deary, I. J., Caryl, P. G., Egan, V., & Wight, D. (1989). Visual and auditory inspection time: Their interrelationship and correlations with IQ in high ability subjects. *Personality and Individual Differences, 10*(5), 525-533.
- Detterman, D. K., & Daniel, M. H. (1989). Correlations of mental tests with each other and with cognitive variables are highest for low IQ groups. *Intelligence, 13*(4), 349-359.
- Down, J. L. (1887). *On some of the mental affections of childhood and youth*. J. & A. Churchill.
- Dubischar-Krivec, A. M., Neumann, N., Poustka, F., Braun, C., Birbaumer, N., & Bolte, S. (2009). Calendar calculating in savants with autism and healthy calendar calculators. *Psychol Med, 39*(8), 1355-1363.
- Eaves, L. C., & Ho, H. H. (2004). The very early identification of autism: outcome to age 4 1/2-5. *J Autism Dev Disord, 34*(4), 367-378.

- Edden, R. A., Muthukumaraswamy, S. D., Freeman, T. C., & Singh, K. D. (2009). Orientation discrimination performance is predicted by GABA concentration and gamma oscillation frequency in human primary visual cortex. *J Neurosci*, *29*(50), 15721-15726.
- Ehlers, S., Nyden, A., Gillberg, C., Sandberg, A. D., Dahlgren, S. O., Hjelmqvist, E., & Oden, A. (1997). Asperger syndrome, autism and attention disorders: a comparative study of the cognitive profiles of 120 children. *J Child Psychol Psychiatry*, *38*(2), 207-217.
- Eigsti, I. M., & Fein, D. A. (2013). More is less: pitch discrimination and language delays in children with optimal outcomes from autism. *Autism Res*, *6*(6), 605-613.
- Falter, C. M., Braeutigam, S., Nathan, R., Carrington, S., & Bailey, A. J. (2012). Enhanced Access to Early Visual Processing of Perceptual Simultaneity in Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord*. doi: 10.1007/s10803-012-1735-1
- Fatemi, S. H., Folsom, T. D., Reutiman, T. J., & Thuras, P. D. (2009). Expression of GABA(B) receptors is altered in brains of subjects with autism. *Cerebellum*, *8*(1), 64-69.
- Fatemi, S. H., Reutiman, T. J., Folsom, T. D., & Thuras, P. D. (2009). GABA(A) receptor downregulation in brains of subjects with autism. *J Autism Dev Disord*, *39*(2), 223-230.
- Felleman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cereb Cortex*, *1*(1), 1-47.
- Ferster, D., & Miller, K. D. (2000). Neural mechanisms of orientation selectivity in the visual cortex. *Annu Rev Neurosci*, *23*, 441-471.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature*, *382*(6592), 626-628.
- Fletcher-Watson, S., Leekam, S. R., Connolly, B., Collis, J. M., Findlay, J. M., McConachie, H., & Rodgers, J. (2012). Attenuation of change blindness in children with autism spectrum disorders. *British Journal of Developmental Psychology*, *30*(3), 446-458.

- Foxton, J. M., Dean, J. L., Gee, R., Peretz, I., & Griffiths, T. D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain*, *127*(Pt 4), 801-810.
- Foxton, J. M., Stewart, M. E., Barnard, L., Rodgers, J., Young, A. H., O'Brien, G., & Griffiths, T. D. (2003). Absence of auditory 'global interference' in autism. *Brain*, *126*(Pt 12), 2703-2709.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci*, *23*(27), 9240-9245.
- Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nat Neurosci*, *3*(2), 191-197.
- Gilbert, C. D., & Sigman, M. (2007). Brain states: top-down influences in sensory processing. *Neuron*, *54*(5), 677-696.
- Gottfredson, L. S. (2003). Dissecting practical intelligence theory: Its claims and evidence. *Intelligence*, *31*(4), 343-397.
- Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism: a review using a computational context. *J Autism Dev Disord*, *43*(2), 323-344.
- Grill-Spector, K., & Malach, R. (2004). The human visual cortex. *Annu Rev Neurosci*, *27*, 649-677.
- Grudnik, J. L., & Kranzler, J. H. (2001). Meta-analysis of the relationship between intelligence and inspection time. *Intelligence*, *29*, 523-535.
- Gueguin, M., Le Bouquin-Jeannes, R., Faucon, G., Chauvel, P., & Liegeois-Chauvel, C. (2007). Evidence of functional connectivity between auditory cortical areas revealed by amplitude modulation sound processing. *Cereb Cortex*, *17*(2), 304-313.
- Hackett, T. A., de la Mothe, L. A., Camalier, C. R., Falchier, A., Lakatos, P., Kajikawa, Y., & Schroeder, C. E. (2014). Feedforward and feedback projections of caudal belt and parabelt areas of auditory cortex: refining the hierarchical model. *Front Neurosci*, *8*, 72.
- Happe, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, *36*(1), 5-25.

- Happe, F., & Vital, P. (2009). What aspects of autism predispose to talent? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *364*(1522), 1369-1375.
- Harvey, L. O., Jr. (1997). Efficient estimation of sensory thresholds with ML-PEST. *Spat Vis*, *11*(1), 121-128.
- Hayashi, M., Kato, M., Igarashi, K., & Kashima, H. (2007). Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder. *Brain and Cognition*.
- Heaton, P. (2003). Pitch memory, labelling and disembedding in autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *44*(4), 543-551.
- Heaton, P. (2005). Interval and contour processing in autism. *J Autism Dev Disord*, *35*(6), 787-793.
- Heaton, P., Davis, R. E., & Happe, F. G. (2008). Research note: exceptional absolute pitch perception for spoken words in an able adult with autism. *Neuropsychologia*, *46*(7), 2095-2098.
- Heaton, P., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: a precursor for savant musical ability? *Music Perception*, *15*(3), 291-305.
- Heaton, P., Hudry, K., Ludlow, A., & Hill, E. (2008). Superior discrimination of speech pitch and its relationship to verbal ability in autism spectrum disorders. *Cogn Neuropsychol*, *25*(6), 771-782.
- Heaton, P., Pring, L., & Hermelin, B. (1999). A pseudo-savant: A case of exceptional musical splinter skills. *Neurocase*, *15*(3), 291-305.
- Heaton, P., & Wallace, G. L. (2004). Annotation: the savant syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*, *45*(5), 899-911.
- Heaton, P., Williams, K., Cummins, O., & Happe, F. (2008). Autism and pitch processing splinter skills: a group and subgroup analysis. *Autism*, *12*(2), 203-219.
- Heaton, P., Williams, K., Cummins, O., & Happe, F. G. (2007). Beyond perception: musical representation and on-line processing in autism. *J Autism Dev Disord*, *37*(7), 1355-1360.

- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure. *Neuron*, *76*(3), 486-502.
- Horwitz, W. A., Kestenbaum, C., Person, E., & Jarvik, L. (1965). IDENTICAL TWIN--"IDIOT SAVANTS"--CALENDAR CALCULATORS. *Am J Psychiatry*, *121*, 1075-1079.
- Houtgast, T. (1972). Psychophysical evidence for lateral inhibition in hearing. *J Acoust Soc Am*, *51*(6), 1885-1894.
- Howlin, P., Goode, S., Hutton, J., & Rutter, M. (2009). Savant skills in autism: psychometric approaches and parental reports. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *364*(1522), 1359-1367.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of physiology*, *160*(1), 106.
- Hutsler, J. J., & Zhang, H. (2010). Increased dendritic spine densities on cortical projection neurons in autism spectrum disorders. *Brain Res*, *1309*, 83-94.
- Jacques, C., Mineau, S., Ferguson, S., Cousineau, D., & Mottron, L. (en préparation). A stimulating play situation designed to assess repetitive behaviours in young autistic children. *Journal of Psychology and Psychiatry*.
- Jarrold, C., Gilchrist, I. D., & Bender, A. (2005). Embedded figures detection in autism and typical development: preliminary evidence of a double dissociation in relationships with visual search. *Dev Sci*, *8*(4), 344-351.
- Jarvinen-Pasley, A., Wallace, G. L., Ramus, F., Happe, F., Heaton, P., Jarvinen-Pasley, A., . . . Heaton, P. (2008). Enhanced perceptual processing of speech in autism. *Developmental Science*, *11*(1), 109-121.
- Jemel, B., Mimeault, D., Saint-Amour, D., Hosen, A., & Mottron, L. (2010). VEP contrast sensitivity responses reveal reduced functional segregation of mid and high filters of visual channels in autism. *J Vis*, *10*(6), 13.

- Jolliffe, T., & Baron-Cohen, S. (1997). Are people with autism and Asperger syndrome faster than normal on the Embedded Figures Test? *J Child Psychol Psychiatry*, *38*(5), 527-534.
- Jones, C. R., Happe, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J., Tregay, J., . . . Charman, T. (2009a). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2850-2858.
- Jones, C. R., Happe, F., Baird, G., Simonoff, E., Marsden, A. J., Tregay, J., . . . Charman, T. (2009b). Auditory discrimination and auditory sensory behaviours in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*.
- Joseph, R. M., Tager-Flusberg, H., & Lord, C. (2002). Cognitive profiles and social-communicative functioning in children with autism spectrum disorder. *J Child Psychol Psychiatry*, *43*(6), 807-821.
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., Kana, R. K., & Minshew, N. J. (2007). Functional and anatomical cortical underconnectivity in autism: evidence from an FMRI study of an executive function task and corpus callosum morphometry. *Cereb Cortex*, *17*(4), 951-961.
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Minshew, N. J. (2004). Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of underconnectivity. *Brain*, *127*(Pt 8), 1811-1821.
- Kaldy, Z., Kraper, C., Carter, A. S., & Blaser, E. (2011). Toddlers with Autism Spectrum Disorder are more successful at visual search than typically developing toddlers. *Dev Sci*, *14*(5), 980-988.
- Kana, R. K., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2006). Sentence comprehension in autism: thinking in pictures with decreased functional connectivity. *Brain*, *129*(Pt 9), 2484-2493.
- Kana, R. K., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2009). Atypical frontal-posterior synchronization of Theory of Mind regions in autism during mental state attribution. *Soc Neurosci*, *4*(2), 135-152.

- Kana, R. K., Keller, T. A., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2007). Inhibitory control in high-functioning autism: decreased activation and underconnectivity in inhibition networks. *Biol Psychiatry*, 62(3), 198-206.
- Kana, R. K., Liu, Y., Williams, D. L., Keller, T. A., Schipul, S. E., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2013). The local, global, and neural aspects of visuospatial processing in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 51(14), 2995-3003.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of neural science*. McGraw-Hill New York.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbance of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 361(1476), 2109-2128.
- Kapur, N. (1996). Paradoxical functional facilitation in brain-behaviour research. A critical review. *Brain*, 119 (Pt 5), 1775-1790.
- Kaufman, S. B., DeYoung, C. G., Gray, J. R., Brown, J., & Mackintosh, N. (2009). Associative learning predicts intelligence above and beyond working memory and processing speed. *Intelligence*, 37(4), 374-382.
- Keehn, B., Brenner, L., Palmer, E., Lincoln, A. J., & Muller, R. A. (2008). Functional brain organization for visual search in ASD. *J Int Neuropsychol Soc*, 14(6), 990-1003.
- Keïta, L., Guy, J., Berthiaume, C., Mottron, L., & Bertone, A. (2014). An early origin for detailed perception in autism: biased sensitivity for high-spatial frequency information. *Scientific Reports*(4).
- Kéïta, L., Mottron, L., Dawson, M., & Bertone, A. (2011). Atypical lateral connectivity: a neural basis for altered visuospatial processing in autism. *Biol Psychiatry*, 70(9), 806-811.
- Kelleher, R. J., 3rd, & Bear, M. F. (2008). The autistic neuron: troubled translation? *Cell*, 135(3), 401-406.

- Keown, C. L., Shih, P., Nair, A., Peterson, N., Mulvey, M. E., & Müller, R.-A. (2013). Local Functional Overconnectivity in Posterior Brain Regions Is Associated with Symptom Severity in Autism Spectrum Disorders. *Cell reports*, 5(3), 567-572.
- Khan, S., Gramfort, A., Shetty, N. R., Kitzbichler, M. G., Ganesan, S., Moran, J. M., . . . Joseph, R. M. (2013). Local and long-range functional connectivity is reduced in concert in autism spectrum disorders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(8), 3107-3112.
- Kikuchi, M., Yoshimura, Y., Shitamichi, K., Ueno, S., Hirosawa, T., Munesue, T., . . . Minabe, Y. (2013). A custom magnetoencephalography device reveals brain connectivity and high reading/decoding ability in children with autism. *Sci Rep*, 3, 1139.
- Klin, A., Lin, D. J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, 459(7244), 257-261.
- Koshino, H., Carpenter, P. A., Minshew, N. J., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Just, M. A. (2005). Functional connectivity in an fMRI working memory task in high-functioning autism. *Neuroimage*, 24(3), 810-821.
- Koshino, H., Kana, R. K., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2008). fMRI investigation of working memory for faces in autism: visual coding and underconnectivity with frontal areas. *Cereb Cortex*, 18(2), 289-300.
- Lazoff, T., Zhong, L., Piperni, T., & Fombonne, E. (2010). Prevalence of pervasive developmental disorders among children at the English Montreal School Board. *Can J Psychiatry*, 55(11), 715-720.
- Leekam, S. R., Nieto, C., Libby, S. J., Wing, L., & Gould, J. (2007). Describing the sensory abnormalities of children and adults with autism. *J Autism Dev Disord*, 37(5), 894-910.
- Legree, P. J., Pifer, M. E., & Grafton, F. C. (1996). Correlations among cognitive abilities are lower for higher ability groups. *Intelligence*, 23(1), 45-57.

- Leveille, C., Barbeau, E. B., Bolduc, C., Limoges, E., Berthiaume, C., Chevrier, E., . . . Godbout, R. (2010). Enhanced connectivity between visual cortex and other regions of the brain in autism: a REM sleep EEG coherence study. *Autism Res, 3*(5), 280-285.
- Lewis, M. H., Tanimura, Y., Lee, L. W., & Bodfish, J. W. (2007). Animal models of restricted repetitive behavior in autism. *Behav Brain Res, 176*(1), 66-74.
- Li, S.-C., Jordanova, M., & Lindenberger, U. (1998). From good senses to good sense: A link between tactile information processing and intelligence. *Intelligence, 26*(2), 99-122.
- Linkenauger, S. A., Lerner, M. D., Ramenzoni, V. C., & Proffitt, D. R. (2012). A perceptual-motor deficit predicts social and communicative impairments in individuals with autism spectrum disorders. *Autism Res, 5*(5), 352-362.
- Lockyer, L., & Rutter, M. (1970). A five- to fifteen-year follow-up study of infantile psychosis. IV. Patterns of cognitive ability. *Br J Soc Clin Psychol, 9*(2), 152-163.
- Loffler, G. (2008). Perception of contours and shapes: low and intermediate stage mechanisms. *Vision Res, 48*(20), 2106-2127.
- Lord, C., & Rutter, M. (1994). Autism and pervasive developmental disorders. Dans M. Rutter, E. Taylor & L. Hersov (dir.), *Child and adolescent psychiatry. Modern approaches* (p. 569–593). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., & Risi, S. (1999). *Autism Diagnostic Observation Schedule-WPS (ADOS-WPS)*. Los Angeles, CA: Western Psychological Services.
- Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *J Autism Dev Disord, 24*(5), 659-685.
- Lussier, F., & Flessas, J. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant: troubles développementaux et de l'apprentissage*. Dunod.

- Lynn, R. (1992). Does Spearman's g decline at high IQ levels? Some evidence from Scotland. *The Journal of genetic psychology, 153*(2), 229-230.
- Mackintosh, N. (2011). *IQ and Human Intelligence*. (2^e éd.). United States: Oxford university Press.
- Manjaly, Z. M., Bruning, N., Neufang, S., Stephan, K. E., Brieber, S., Marshall, J. C., . . . Fink, G. R. (2007). Neurophysiological correlates of relatively enhanced local visual search in autistic adolescents. *Neuroimage, 35*(1), 283-291.
- Martens, M. A., Wilson, S. J., & Reutens, D. C. (2008). Research Review: Williams syndrome: a critical review of the cognitive, behavioral, and neuroanatomical phenotype. *J Child Psychol Psychiatry, 49*(6), 576-608.
- Matsuzaki, J., Kagitani-Shimono, K., Goto, T., Sanefuji, W., Yamamoto, T., Sakai, S., . . . Taniike, M. (2012). Differential responses of primary auditory cortex in autistic spectrum disorder with auditory hypersensitivity. *Neuroreport, 23*(2), 113-118.
- Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2007). Learning, attention, writing, and processing speed in typical children and children with ADHD, autism, anxiety, depression, and oppositional-defiant disorder. *Child Neuropsychol, 13*(6), 469-493.
- McCleery, J. P., Allman, E., Carver, L. J., & Dobkins, K. R. (2007). Abnormal magnocellular pathway visual processing in infants at risk for autism. *Biol Psychiatry, 62*(9), 1007-1014.
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell-Horn-Carroll theory of cognitive abilities: Past, present, and future. Dans D. P. Flanagan, J. L. Genshaft & P. L. Harrison (dir.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (p. 136-182). New York: Guilford.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence, 37*(1), 1-10.
- Meilleur, A. A., Berthiaume, C., Bertone, A., & Mottron, L. (2014). Autism-Specific Covariation in Perceptual Performances: "g" or "p" Factor? *PLoS One, 9*(8), e103781.

- Meilleur, A. A., & Fombonne, E. (2009). Regression of language and non-language skills in pervasive developmental disorders. *J Intellect Disabil Res*, *53*(2), 115-124.
- Melnick, M. D., Harrison, B. R., Park, S., Bennetto, L., & Tadin, D. (2013). A Strong Interactive Link between Sensory Discriminations and Intelligence. *Current biology : CB*, *23*(11), 1013-1017.
- Meyer, C. S., Hagmann-von Arx, P., Lemola, S., & Grob, A. (2010). Correspondence between the general ability to discriminate sensory stimuli and general intelligence. *Journal of Individual Differences*, *31*(1), 46.
- Micheyl, C., Delhommeau, K., Perrot, X., & Oxenham, A. J. (2006). Influence of musical and psychoacoustical training on pitch discrimination. *Hear Res*, *219*(1-2), 36-47.
- Miller, L. (1989). *Musical savants: exceptional skills in the mentally retarded*. Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum.
- Miller, L. K. (1999). The savant syndrome: intellectual impairment and exceptional skill. *Psychol Bull*, *125*(1), 31-46.
- Mitchell, P., Mottron, L., Soulieres, I., & Ropar, D. (2010). Susceptibility to the Shepard illusion in participants with autism: reduced top-down influences within perception? *Autism Res*, *3*(3), 113-119.
- Monk, C. S., Peltier, S. J., Wiggins, J. L., Weng, S. J., Carrasco, M., Risi, S., & Lord, C. (2009). Abnormalities of intrinsic functional connectivity in autism spectrum disorders. *Neuroimage*, *47*(2), 764-772.
- Moore, B. C. J. (2003). *An Introduction to the Psychology of Hearing*. Academic Press.
- Mottron, L. (2004). Matching strategies in cognitive research with individuals with high-functioning autism: current practices, instrument biases, and recommendations. *J Autism Dev Disord*, *34*(1), 19-27.

- Mottron, L., Belleville, S., & Menard, E. (1999). Local bias in autistic subjects as evidenced by graphic tasks: perceptual hierarchization or working memory deficit? *J Child Psychol Psychiatry, 40*(5), 743-755.
- Mottron, L., Belleville, S., Rouleau, G. A., & Collignon, O. (2014). Linking Phenotypic, Cognitive and Genetic Variability in Autism with Alterations of Brain Plasticity: the Trigger-Threshold-Target Model. *Neurosci Biobehav Rev.*
- Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2013). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neurosci Biobehav Rev, 37*(2), 209-228.
- Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of persons with autism. Dans J. A. Burack, T. Charman, N. Yirmiya & P. R. Zelazo (dir.), *The development of autism: Perspectives from theory and research* (p. 131–148). Mahwah, NJ.: Erlbaum.
- Mottron, L., Burack, J. A., Iarocci, G., Belleville, S., & Enns, J. T. (2003). Locally oriented perception with intact global processing among adolescents with high-functioning autism: evidence from multiple paradigms. *J Child Psychol Psychiatry, 44*(6), 904-913.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006a). Enhanced perceptual functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception. *J Autism Dev Disord, 36*(1), 27-43.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006b). Enhanced Perceptual Functioning in Autism: An Update, and Eight Principles of Autistic Perception. *Journal of Autism & Developmental Disorders, 36*(1), 27-43.
- Mottron, L., Mineau, S., Martel, G., Bernier, C. S., Berthiaume, C., Dawson, M., . . . Faubert, J. (2007). Lateral glances toward moving stimuli among young children with autism: Early regulation of locally oriented perception? *Dev Psychopathol, 19*(1), 23-36.

- Mottron, L., Mineau, S., Martel, G., Bernier, C. S., Berthiaume, C., Dawson, M., . . . Faubert, J. (2007). Lateral glances toward moving stimuli among young children with autism: Early regulation of locally oriented perception? *Development & Psychopathology*, *19*(1), 23-36.
- Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000a). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, *41*(8), 1057-1065.
- Mottron, L., Peretz, I., & Menard, E. (2000b). Local and global processing of music in high-functioning persons with autism: beyond central coherence? *J Child Psychol Psychiatry*, *41*(8), 1057-1065.
- Mottron, L., Peretz, I., & Ménard, E. (2000). Local and global processing of music in high-functioning persons with Autism: Beyond central coherence? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *41*(8), 1057–1065.
- Mottron, L., Soulières, I., & Dawson, M. (2013). Perception. Dans F. R. Volkmar (dir.), *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*
- Mottron, L., Soulières, I., & Meilleur, A.-A. S. (2008). *Peaks of ability as a subtyping tool for autism*. Communication présentée IMFAR, London.
- Mueller, S., Wang, D., Fox, M. D., Yeo, B. T., Sepulcre, J., Sabuncu, M. R., . . . Liu, H. (2013). Individual variability in functional connectivity architecture of the human brain. *Neuron*, *77*(3), 586-595.
- Murias, M., Webb, S. J., Greenson, J., & Dawson, G. (2007). Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism. *Biol Psychiatry*, *62*(3), 270-273.
- Nader, A. M., Jelenic, P., & Soulières, I. (2012). *WISC-IV Vs. WISC-III: Cognitive Profile in Autistic, Asperger and Typically Developing Children*. Communication présentée IMFAR, Toronto.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-383.

- O'Connor, D. H., Fukui, M. M., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nat Neurosci*, *5*(11), 1203-1209.
- O'Connor, K. (2012). Auditory processing in autism spectrum disorder: a review. *Neurosci Biobehav Rev*, *36*(2), 836-854.
- O'Connor, N., & Hermelin, B. (1989). The memory structure of autistic idiot-savant mnemonists. *Br J Psychol*, *80* (Pt 1), 97-111.
- O'Riordan, M. (2000). Superior modulation of activation levels of stimulus representations does not underlie superior discrimination in autism. *Cognition*, *77*, 81-96.
- O'Riordan, M., & Passetti, F. (2006). Discrimination in autism within different sensory modalities. *J Autism Dev Disord*, *36*(5), 665-675.
- O'Riordan, M. A., Plaisted, K. C., Driver, J., & Baron-Cohen, S. (2001). Superior visual search in autism. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *27*(3), 719-730.
- Olson, H. F. A. (1967). *Music, Physics and Engineering*. Dover Publ.
- Olsson, H., Björkman, C., Haag, K., & Juslin, P. (1998). Auditory inspection time: On the importance of selecting the appropriate sensory continuum. *Personality and Individual Differences*, *25*(4), 627-634.
- Oswald, A. M., Schiff, M. L., & Reyes, A. D. (2006). Synaptic mechanisms underlying auditory processing. *Curr Opin Neurobiol*, *16*(4), 371-376.
- Quimet, T., Foster, N. E., Tryfon, A., & Hyde, K. L. (2012). Auditory-musical processing in autism spectrum disorders: a review of behavioral and brain imaging studies. *Ann N Y Acad Sci*, *1252*, 325-331.
- Pantev, C., Engelien, A., Candia, V., & Elbert, T. (2001). Representational cortex in musicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *930*(1), 300-314.

- Pantev, C., Okamoto, H., Ross, B., Stoll, W., Ciurlia-Guy, E., Kakigi, R., & Kubo, T. (2004). Lateral inhibition and habituation of the human auditory cortex. *Eur J Neurosci*, *19*(8), 2337-2344.
- Pascual-Leone, A., & Hamilton, R. (2001). The metamodal organization of the brain. *Prog Brain Res*, *134*, 427-445.
- Pellicano, E., Gibson, L., Maybery, M., Durkin, K., & Badcock, D. R. (2005). Abnormal global processing along the dorsal visual pathway in autism: a possible mechanism for weak visuospatial coherence? *Neuropsychologia*, *43*(7), 1044-1053.
- Pellicano, E., & Stears, M. (2011). Bridging autism, science and society: moving toward an ethically informed approach to autism research. *Autism Res*.
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain*, *113* (Pt 4), 1185-1205.
- Peretz, I., Ayotte, J., Zatorre, R. J., Mehler, J., Ahad, P., Penhune, V. B., & Jutras, B. (2002). Congenital amusia: a disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron*, *33*(2), 185-191.
- Peretz, I., & Hyde, K. L. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends Cogn Sci*, *7*(8), 362-367.
- Perreault, A., Gurnsey, R., Dawson, M., Mottron, L., & Bertone, A. (2011). Increased sensitivity to mirror symmetry in autism. *PLoS One*, *6*(4), e19519.
- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Arch Gen Psychiatry*, *68*(1), 101-109. doi: 10.1001/archgenpsychiatry.2010.113
- Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced visual search for a conjunctive target in autism: a research note. *J Child Psychol Psychiatry*, *39*(5), 777-783.

- Plaisted, K., Swettenham, J., & Rees, L. (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *J Child Psychol Psychiatry, 40*(5), 733-742.
- Polat, U. (1999). Functional architecture of long-range perceptual interactions. *Spat Vis, 12*(2), 143-162.
- Poulin-Lord, M. P., Barbeau, E., Soulières, I., Monchi, O., Doyon, J., Benali, H., & Mottron, L. (2014). Increased Topographical Variability of Task-related Activation in Perceptive and Motor Associative Regions in Adult Autistics. *Neuroimage: Clinical*.
- Puts, N. A., Edden, R. A., Evans, C. J., McGlone, F., & McGonigle, D. J. (2011). Regionally specific human GABA concentration correlates with tactile discrimination thresholds. *J Neurosci, 31*(46), 16556-16560.
- Quintin, E. M., Bhatara, A., Poissant, H., Fombonne, E., & Levitin, D. J. (2013). Processing of musical structure by high-functioning adolescents with autism spectrum disorders. *Child Neuropsychol, 19*(3), 250-275.
- Rapin, I. (1996). *Preschool Children with Inadequate Communication: Developmental Language Disorder, Autism, Low IQ*. (1^e éd.). MacKeith Press.
- Raven, J., & Summers, W. (1986). A compendium of North American normative and validity studies (*Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary tests (research Supplement No. 3)*). London: H.K. Lewis and co.
- Raven, J. C. (1938). *Progressive matrices: A perceptual test of intelligence*: London: HK Lewis.
- Razak, K. A., & Fuzessery, Z. M. (2009). GABA shapes selectivity for the rate and direction of frequency-modulated sweeps in the auditory cortex. *J Neurophysiol, 102*(3), 1366-1378.
- Razak, K. A., & Fuzessery, Z. M. (2010). GABA shapes a systematic map of binaural sensitivity in the auditory cortex. *J Neurophysiol, 104*(1), 517-528.

- Remington, A. M., Swettenham, J. G., & Lavie, N. (2012). Lightening the load: perceptual load impairs visual detection in typical adults but not in autism. *J Abnorm Psychol*, *121*(2), 544-551.
- Reynolds, M. R., & Keith, T. Z. (2007). Spearman's law of diminishing returns in hierarchical models of intelligence for children and adolescents. *Intelligence*, *35*(3), 267-281.
- Rimland, B. (1978). Savant capabilities of autistic children and their cognitive implications. Dans G. Serban (dir.), *Cognitive Defects in the Development of Mental Illness* (p. 43-45). New York: Brunner/Mazel.
- Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2001). Movement preparation in high-functioning autism and Asperger disorder: a serial choice reaction time task involving motor reprogramming. *J Autism Dev Disord*, *31*(1), 79-88.
- Ring, H. A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Williams, S. C., Brammer, M., Andrew, C., & Bullmore, E. T. (1999). Cerebral correlates of preserved cognitive skills in autism: a functional MRI study of embedded figures task performance. *Brain*, *122* (Pt 7), 1305-1315.
- Ronemus, M., Iossifov, I., Levy, D., & Wigler, M. (2014). The role of de novo mutations in the genetics of autism spectrum disorders. *Nat Rev Genet*, *15*(2), 133-141.
- Ropar, D., & Mitchell, P. (2001). Susceptibility to illusions and performance on visuospatial tasks in individuals with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *42*(4), 539-549.
- Rosen, S., & Howell, P. (2011). *Signals and Systems for Speech and Hearing*. Emerald.
- Samson, F., Hyde, K. L., Bertone, A., Soulières, I., Mendrek, A., Ahad, P., . . . Zeffiro, T. A. (2011). Atypical processing of auditory temporal complexity in autistics. *Neuropsychologia*, *49*(3), 546-555.
- Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. A. (2011). Enhanced visual functioning in autism: An ALE meta-analysis. *Hum Brain Mapp*.

- Samson, F., Mottron, L., Soulieres, I., & Zeffiro, T. A. (2012). Enhanced visual functioning in autism: an ALE meta-analysis. *Hum Brain Mapp, 33*(7), 1553-1581.
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology, 102*(3), 283-302.
- Schipul, S. E., Keller, T. A., & Just, M. A. (2011). Inter-regional brain communication and its disturbance in autism. *Front Syst Neurosci, 5*, 10. doi: 10.3389/fnsys.2011.00010
- Schwartz, O., & Simoncelli, E. P. (2001). Natural signal statistics and sensory gain control. *Nature neuroscience, 4*(8), 819-825.
- Schwarzkopf, D. S., Anderson, E. J., de Haas, B., White, S. J., & Rees, G. (2014). Larger extrastriate population receptive fields in autism spectrum disorders. *J Neurosci, 34*(7), 2713-2724.
- Selfe, L. (1983). *Normal and anomalous representational drawing ability in children*. Academic Press London.
- Shah, A., & Frith, U. (1983). An islet of ability in autistic children: a research note. *J Child Psychol Psychiatry, 24*(4), 613-620.
- Sinclair, J. (1999). Why I dislike "person first" language. http://www.jimsinclair.org/person_first.htm. Repéré le August 2010.
- Smith, H., & Milne, E. (2009). Reduced change blindness suggests enhanced attention to detail in individuals with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 50*(3), 300-306.
- Smith, S. B. (1983). *The great mental calculators: The psychology, methods, and lives of calculating prodigies, past and present*. Columbia University Press New York.
- Snijders, T. M., Milivojevic, B., & Kemner, C. (2013). Atypical excitation-inhibition balance in autism captured by the gamma response to contextual modulation. *Neuroimage Clin, 3*, 65-72.

- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., . . . Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Hum Brain Mapp, 30*(12), 4082-4107.
- Soulières, I., Hubert, B., Rouleau, N., Gagnon, L., Tremblay, P., Seron, X., & Mottron, L. (2010). Superior estimation abilities in two autistic spectrum children. *Cogn Neuropsychol, 27*(3), 261-276.
- Southall, G. H. (1979). *Blind Tom: The post-civil war enslavement of a black musical genius*. Challenge Productions Minneapolis, MN.
- Spearman, c. (1904). General Intelligence, Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology, 12*(2), 201-292.
- Spreen, O., & Strauss, E. (1991). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York: Oxford University Press.
- Stanutz, S., Wapnick, J., & Burack, J. A. (2014). Pitch discrimination and melodic memory in children with autism spectrum disorders. *Autism, 18*(2), 137-147.
- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract spatial reasoning as an autistic strength. *PLoS One, 8*(3), e59329.
- Stewart, M. E., Watson, J., Allcock, A. J., & Yaqoob, T. (2009). Autistic traits predict performance on the block design. *Autism, 13*(2), 133-142.
- Stoesz, B. M., Jakobson, L. J., Kilgour, A. R., & Lewycky, S. T. (2007). Local processing advantage in musicians: Evidence from disembedding and constructional tasks. *Music Perception, 25*, 153-165.
- Supekar, K., Uddin, L. Q., Khouzam, A., Phillips, J., Gaillard, W. D., Kenworthy, L. E., . . . Menon, V. (2013). Brain Hyperconnectivity in Children with Autism and its Links to Social Deficits. *Cell reports, 5*(3), 738-747.

- Swettenham, J., Remington, A., Murphy, P., Feuerstein, M., Grim, K., & Lavie, N. (2014). Seeing the Unseen: Autism Involves Reduced Susceptibility to Inattentional Blindness.
- Tervaniemi, M., Kruck, S., De Baene, W., Schroger, E., Alter, K., & Friederici, A. D. (2009). Top-down modulation of auditory processing: effects of sound context, musical expertise and attentional focus. *Eur J Neurosci*, *30*(8), 1636-1642.
- Thurstone, L. L. (1938). Primary mental abilities. *Psychometric monographs*.
- Treffert, D. A. (2009). The savant syndrome: an extraordinary condition. A synopsis: past, present, future. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *364*(1522), 1351-1357.
- Turkeltaub, P. E., Flowers, D. L., Verbalis, A., Miranda, M., Gareau, L., & Eden, G. F. (2004). The neural basis of hyperlexic reading: an fMRI case study. *Neuron*, *41*(1), 11-25.
- Vandenbroucke, M. W., Scholte, H. S., van Engeland, H., Lamme, V. A., & Kemner, C. (2008). A neural substrate for atypical low-level visual processing in autism spectrum disorder. *Brain*, *131*(Pt 4), 1013-1024. doi: awm321 [pii]
- 10.1093/brain/awm321
- Vattikuti, S., & Chow, C. C. (2010). A computational model for cerebral cortical dysfunction in autism spectrum disorders. *Biol Psychiatry*, *67*(7), 672-678.
- Vinje, W. E., & Gallant, J. L. (2000). Sparse coding and decorrelation in primary visual cortex during natural vision. *Science*, *287*(5456), 1273-1276.
- Vital, P. M., Ronald, A., Wallace, G. L., & Happe, F. (2009). Relationship between special abilities and autistic-like traits in a large population-based sample of 8-year-olds. *J Child Psychol Psychiatry*, *50*(9), 1093-1101.
- Vlamings, P. H., Jonkman, L. M., van Daalen, E., van der Gaag, R. J., & Kemner, C. (2010). Basic abnormalities in visual processing affect face processing at an early age in autism spectrum disorder. *Biol Psychiatry*, *68*(12), 1107-1113.

- Wang, L., Mottron, L., Peng, D., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2007). Local bias and local-to-global interference without global deficit: a robust finding in autism under various conditions of attention, exposure time, and visual angle. *Cogn Neuropsychol*, 24(5), 550-574.
- Watanabe, T., Harner, A. M., Miyauchi, S., Sasaki, Y., Nielsen, M., Palomo, D., & Mukai, I. (1998). Task-dependent influences of attention on the activation of human primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95(19), 11489-11492.
- Watson, B. U. (1991). Some relationships between intelligence and auditory discrimination. *J Speech Hear Res*, 34(3), 621-627.
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children- Third Edition: Canadian (WISC-III)*. . (Psychological Corporation.° éd.). Toronto, Canada.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Third edition: Canadian (WAIS-III)*. Toronto, Canada: The Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). *San Antonio, TX: The Psychological Corporation*.
- Wechsler, D. (2005). *Wechsler Intelligence Scale for Children- Fourth Edition: Canadian (WISC-IV)*. (4° éd.). Toronto, Canada: Pearson.
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition (WAIS-IV)*. (4° éd.). San Antonio, TX: Pearson.
- Weisberg, J., Koo, D. S., Crain, K. L., & Eden, G. F. (2012). Cortical plasticity for visuospatial processing and object recognition in deaf and hearing signers. *Neuroimage*, 60(1), 661-672.
- Wessinger, C. M., VanMeter, J., Tian, B., Van Lare, J., Pekar, J., & Rauschecker, J. P. (2001). Hierarchical organization of the human auditory cortex revealed by functional magnetic resonance imaging. *J Cogn Neurosci*, 13(1), 1-7.

- Williams, B. A., & Pearlberg, S. L. (2006). Learning of three-term contingencies correlates with Raven scores, but not with measures of cognitive processing. *Intelligence*, *34*(2), 177-191.
- Woodbury-Smith, M. R., Robinson, J., Wheelwright, S., & Baron-Cohen, S. (2005). Screening adults for Asperger Syndrome using the AQ: a preliminary study of its diagnostic validity in clinical practice. *J Autism Dev Disord*, *35*(3), 331-335.
- Yu, C., Klein, S. A., & Levi, D. M. (2002). Facilitation of contrast detection by cross-oriented surround stimuli and its psychophysical mechanisms. *J Vis*, *2*(3), 243-255.
- Zatorre, R. J. (2001). Neural specializations for tonal processing. *Ann N Y Acad Sci*, *930*, 193-210.
- Zoghbi, H. Y., & Bear, M. F. (2012). Synaptic dysfunction in neurodevelopmental disorders associated with autism and intellectual disabilities. *Cold Spring Harb Perspect Biol*, *4*(3).
- Zuko, A., Kleijer, K. T., Oguro-Ando, A., Kas, M. J., van Daalen, E., van der Zwaag, B., & Burbach, J. P. (2013). Contactins in the neurobiology of autism. *Eur J Pharmacol*.
- Zwaigenbaum, L. (2010). Advances in the early detection of autism. *Curr Opin Neurol*, *23*(2), 97-102.
- Zwaigenbaum, L., Bryson, S., Rogers, T., Roberts, W., Brian, J., & Szatmari, P. (2005). Behavioral manifestations of autism in the first year of life. *Int J Dev Neurosci*, *23*(2-3), 143-152.

ANNEXES

Annexe I : Facteurs du modèle CHC de l'intelligence

Tableau 1. Description des facteurs incluent dans le 2e niveau du modèle CHC de l'intelligence humaine

Domaines cognitifs	Facteurs	Étiquette	Description
Moteur	<i>Gp</i>	<i>Habilités Psychomotrices</i>	La capacité à compléter des mouvements moteurs (mouvement avec les doigts, les mains, les jambes, etc.) avec précision, coordination, ou force. Le mouvement ou le comportement moteur est typiquement le résultat d'une activité mentale.
Perception	<i>Gv</i>	Traitement visuel	La capacité à produire, emmagasiner, récupérer et transformer des stimulations visuelles. Les habiletés <i>Gv</i> sont typiquement mesurées par des tâches qui nécessitent la perception et la transformation de formes visuelles, ou d'images et/ou de tâches qui nécessitent de maintenir en tête l'orientation spatiale d'un objet relatif à la position d'autres objets qui peuvent changer ou bouger dans l'espace physique.
	<i>Ga</i>	Traitement auditif	Cette capacité dépend de l'« input » d'un son et du fonctionnement du système auditif périphérique et central. Une des principales caractéristiques est la capacité d'un individu à contrôler la perception de l'information auditive (c.-à-d., gérer la concurrence entre le signal et le bruit). Le domaine <i>Ga</i> inclut plusieurs capacités impliquées dans l'interprétation et l'organisation des sons, telles que la discrimination de patterns dans les sons et les structures musicales (souvent à l'intérieur d'un bruit de fond et/ou des conditions de distorsion) et la capacité à analyser, manipuler, comprendre et synthétiser des éléments sonores, des groupes de sons, ou des patterns sonores.
	<i>Gk</i>	<i>Habilités Kinesthétiques</i>	Capacités qui dépendent des récepteurs sensoriels responsables de détecter la position corporelle, le poids, ou le mouvement des muscles, des tendons et des articulations. Capacités aussi impliquées dans le contrôle et la coordination des mouvements du corps, y compris la marche, le langage, les expressions faciales, les gestes et la posture. Les aspects cognitifs et perceptifs de ce domaine n'ont pas encore été largement étudiés.
	<i>Gh</i>	<i>Habilités Tactiles</i>	Capacités impliquées dans la perception et le jugement des sensations qui sont reçus par le toucher, via les récepteurs sensoriels. <i>Gh</i> comprend les capacités à détecter la stimulation thermique, la stimulation spatiale, et à percevoir des patterns posés sur la peau. Les aspects cognitifs et perceptifs de ce domaine n'ont pas encore été largement étudiés.
	<i>Go</i>	<i>Habilités Olfactives</i>	Capacités qui dépendent de récepteurs sensoriels du système olfactif (des fosses nasales). Les aspects cognitifs et perceptifs de ce domaine n'ont pas encore été largement étudiés.
Attention contrôlée	<i>Gf</i>	Raisonnement fluide	L'utilisation d'opérations mentales intentionnelles et contrôlées pour résoudre de nouveaux problèmes qui ne peuvent être effectués automatiquement. Les opérations mentales nécessitent fréquemment de tirer des inférences, former des concepts, de produire et de tester l'hypothèse, d'identifier des relations, de comprendre des implications, de résoudre des problèmes, et de manipuler l'information pour la transformer. Le raisonnement inductif et déductif sont généralement considérés comme central au facteur <i>Gf</i> . <i>Gf</i> a été liée à la complexité cognitive qui peut être définie comme une plus grande utilisation d'un réseau vaste et diversifié de processus cognitifs élémentaires pendant l'exécution de tâches.

	Gsm	Mémoire à court terme	La capacité d'appréhender et maintenir son attention sur un nombre limité d'éléments dans une situation immédiate (événements qui ont eu lieu dans la dernière minute ou presque). Ce système a une capacité limitée, et perd ainsi l'information rapidement par la décomposition des traces de mémoire, à moins que la personne active d'autres ressources cognitives pour maintenir l'information dans la conscience immédiate.
Connaissances	Gc	Compréhension -Connaissances	La connaissance de la culture qui est absorbée par les individus à travers un processus d'acculturation. Gc est généralement décrit comme l'ensemble des connaissances d'une culture spécifique qui incluent le langage, les faits (informations) et les concepts et la capacité à appliquer ces connaissances. Gq est largement acquis grâce aux autres capacités principalement au cours d'expériences éducatives formelles et de vie.
	Grw	Lecture et écriture	L'ensemble des connaissances déclaratives et procédurales de lecture et d'écriture acquises par une personne. Grw comprend à la fois les compétences de base (par exemple, la lecture et l'orthographe des mots simples) et la capacité de lire et d'écrire des discours complexes (par exemple, la compréhension en lecture et la capacité d'écrire une histoire).
	Gq	Connaissances quantitatives	L'ensemble des connaissances quantitatives ou numériques déclaratives et procédurales. Gq est largement acquis grâce aux autres capacités principalement au cours d'expériences éducatives formelles. Gq représente l'ensemble des connaissances mathématiques acquises d'un individu. Il n'inclut pas les capacités de raisonnement sur ces connaissances (ex. résolution de problèmes mathématiques logiques).
	Gkn	Connaissances Générales (Domaine-Spécifique)	L'ensemble des connaissances acquises par une personne dans une matière ou un domaine spécialisé (délimité), ou un domaine qui ne résulte pas d'expériences universelles (générales) vécu par des individus d'une même culture (Gc). Gkn reflète des capacités dans des domaines de connaissances spécialisées, développées par la pratique intensive et l'entraînement conventionnel (sur une longue période de temps) et le maintien des connaissances de base par la pratique régulière et l'effort (c.-à-d., l'expertise).
Vitesse	Gs	Vitesse de traitement cognitive	La capacité à effectuer automatiquement et avec aisance des tâches cognitives élémentaires relativement faciles ou surappries, surtout en contexte qui demande une efficacité mentale élevée (ex., attention sélective).
	Gt	Vitesse de décision et de réaction	La capacité à prendre des décisions élémentaires et/ou à donner des réponses simples (temps de réaction simple) ou choisir une décision et/ou réponse parmi plusieurs (temps de réaction complexe) à l'apparition de stimuli simples. Le facteur Gt est généralement mesuré par des mesures de temps de réaction et d'inspection.
	Glr	Encodage à long terme et récupération	La possibilité de stocker et de consolider de nouvelles informations (par exemple, des concepts, des idées, articles, noms) dans la mémoire à long terme et les récupérer plus tard par des processus d'association. L'efficacité des mécanismes mnésiques de consolidation et de récupération peut être mesurée en termes d'informations stockées pendant de longues minutes, heures, semaines ou plus.
	Gps	Vitesse psychomotrice	La capacité à effectuer rapidement et avec aisance des mouvements moteurs avec le corps (mouvement des doigts, des mains, des jambes, etc.) qui sont largement indépendants de contrôle cognitif.

Adaptation du Tableau 1 de McGrew et al. (2009) et de la figure du modèle CHC disponible sur le blogue de Joel Schneider : assessingpsyche.wordpress.com/2013/12/29/cattell-horn-carroll-chc-theory-of-cognitive-abilities-in-3d. Traduction libre du contenu du tableau avec la permission de Dr. Kevin McGrew. Les facteurs investigués dans les travaux de cette thèse sont soulignés en bleu.

Annexe II : Discrimination de fréquences spatiales

1. Méthode et stimuli

Le traitement de l'information visuelle de bas niveau a été mesuré à l'aide d'une tâche analogue à la tâche de discrimination de hauteur sonore. Le seuil de discrimination de fréquences spatiales fut évalué par une procédure adaptative « Parameter Estimation by Sequential Testing » - ML -PEST Harvey (Harvey, 1997) identique à celle utilisée en audition. Les essais consistaient à la présentation d'un réseau standard suivi ou précédé d'un réseau de comparaison (Figure 1). Le réseau standard avait une valeur fixe pour chacune des 3 conditions (0.5, 1.0, ou 2.0 cpd), alors que le réseau de comparaison variait sur sa fréquence spatiale d'après un « staircase » adaptatif VPixx VPEST similaire au ML-VPEST de Harvey (1997). Une procédure staircase à 2 directions fut utilisée. Ainsi, les seuils de discrimination étaient mesurés pour chacune des 3 conditions et des 2 directions pour un total de 6 mesures de seuil. Chaque réseau est présenté pendant 753ms et séparé du prochain réseau par un intervalle interstimulus de 271ms, au cours duquel un masque de bruit est présenté pour réduire les « après-effets » du stimulus spatial précédent. La phase des paires de réseaux était variée aléatoirement d'un essai à l'autre afin de minimiser l'effet de référence spatial (« spatial referencing ») sur la performance. Un point de fixation noir (0,5 cd/m²) sous-tendant 0,5 x 0,5 degré était présenté au centre de l'écran au début de chaque essai. Les deux réseaux et le masque de bruit étaient présentés au centre d'une région carrée sous-tendant 10 x 10 degrés d'angle visuel.

Un devis à 2-intervalles par choix forcé a été utilisé. Ainsi, chaque participant devait indiquer si les deux stimuli perçus étaient pareils ou différents en appuyant sur l'un de 2 boutons d'une boîte de réponse VPixx placée dans chaque main. Le participant devait appuyer sur le bouton du haut de la boîte dans la main gauche, pour les essais « pareils » et le bouton du haut de la boîte dans la main droite, pour les essais « différents ». Le prochain essai apparaissait 750ms après que le participant ait appuyé sur le bouton du bas de l'une ou l'autre des boîtes de réponse. Aucune limite de temps n'était imposée.

La procédure adaptative se terminait lorsque l'intervalle de confiance de 90% du seuil estimé se situait à l'intérieur de ± 0.1 log unités. Le seuil est défini comme la valeur minimum de fréquence qui permet de discriminer les deux sons correctement 90% du temps. Les seuils de discrimination étaient mesurés 3 fois et moyennés pour obtenir une estimation plus précise de seuil de discrimination pour chaque stimulus standard. Pour s'assurer de la compréhension de la tâche, le participant devait atteindre un score minimum de 80 % de bonnes réponses à 10 essais pratiques avant de passer à la tâche expérimentale. Puisqu'il n'y avait pas de différence significative entre les performances dans les différentes conditions, la variable d'intérêt était le seuil moyen de discrimination FS à travers les trois conditions.

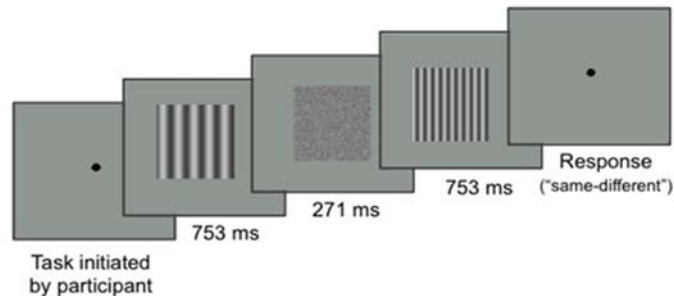


Figure 1. Procédure et stimuli pour la tâche de discrimination de fréquences spatiales.

2. Hypothèse de recherche

Notre hypothèse est que le groupe autiste présentera une meilleure performance, reflété par un seuil de discrimination plus bas, que le groupe contrôle à développement typique.

3. Résultats

Relation entre intelligence et discrimination de fréquence spatiale. La comparaison de groupe sur la relation entre intelligence et performance révèle vers une interaction significative Intelligence X Groupe, pour les MPR ($p=.045$) et une tendance pour l'échelle de Wechsler ($p=.051$). Les groupes semblaient ainsi se distinguer dans leur relation entre l'intelligence et la performance à la tâche de discrimination de fréquences spatiales. En terme statistique, ces résultats signifient une tendance générale vers des pentes de régression inégales entre les groupes pour la relation entre l'intelligence et la performance perceptive.

Tableau 1 Différences de groupe dans la performance moyenne à la tâche de discrimination de fréquence spatiale en contrôlant pour le score global de l'échelle de Wechsler (QIG), ou le score aux Matrices Progressives de Raven (MPR).

	Intelligence	Effets simples de l'intelligence				Effets de groupe ^a	
	X Groupe	Contrôles		Autistes		B _{AUT-TD}	p
	p	B	p	B	P		
GIQ	.051	-3.880	<.001 ***	-1.310	.139	-2.528	.058
MPR	.045 *	-2.017	.123	-5.803	<.001 ***	5.454	.006 **

^a B: Coefficient de régression non-standardisé; Une valeur négative de B indique une meilleure performance chez les autistes (i.e. seuil plus bas) que chez les contrôles, et vice versa lorsque la valeur de B est positive; Niveaux de significativité: * p<.05, **p<.01, ***p<.005

Différences de groupes sur la discrimination de fréquences spatiales en contrôlant pour l'intelligence. Contrairement à ce qui a récemment été répertorié avec des tâches de discrimination de haute fréquence spatiale (Keita et al. en révision), et contrairement notre hypothèse de départ, le résultat de cette étude montre une tendance vers un seuil de discrimination des fréquence spatiale plus bas chez les autistes (B= -2.528, p=.058), mais ce résultat se renverse vers une meilleure performance dans le groupe à développement typique (B= 5.454, p=.006), lorsque l'on contrôle pour l'intelligence mesurée par le RPM, plutôt que l'échelle de Wechsler. Il est possible que les autistes soient plus sensibles aux fréquences spatiales élevée (8 cpd), mais pas aux fréquences spatiales inférieures (1-2 cpd), telles qu'utilisées dans la présente étude. Par conséquent, les fréquences spatiales utilisées dans notre tâche peuvent ne pas avoir été suffisamment élevée pour détecter des différences de groupes. Par ailleurs, depuis qu'avons conçu la tâche, une équipe en collaboration avec notre groupe a démontré que les réseaux caractérisé de fréquences moyennes (2.8 cpd) et élevées (8 cpd) suscitaient des réactions cérébrales similaires dans un groupe TSA, alors que les réponses cérébrales à ces deux catégories de stimuli se distinguaient dans un groupe de contrôle. Cette démonstration suggère un biais de réponse vers les détails, ou l'information composée de fréquences spatiales élevées dans le TSA (Jemel et al. 2010 ; Keita et al. sous révision).

Tableau A1 Différences de groupe dans les covariations résiduelles entre les performances aux tâches, en contrôlant pour l'intelligence, a. Score global de l'échelle de Wechsler (QIG), and b. Matrices Progressives de Raven (RPM).

a.		Covariation		Covariation par Groupes			
Variable indépendante →		X Groupe		Autistes		Contrôles	
Variable dépendante		p		B	p	B	
						p	
Tâches de	Pitch → FS	.007 **		4.867	.001 **	.303	.736
bas niveau	FS → Pitch	.476		.062	.013*	.033	.321
Modalité visuelle ^a	FS → Blocs	.013 *		.092	.743	1.268	.001 **
	Blocs → FS	.029 *		-.142	.177	.109	.027 *

b.		Covariation		Covariation par Groupes			
Variable indépendante →		X Groupe		Autistes		Contrôles DT	
Variable dépendante		p		B	p	B	
						p	
Tâches de	Pitch → FS	.055		.4.307	.004 **	1.055	.198
bas niveau	FS → Pitch	.689		.024	.042 **	.073	.024 **
Modalité visuelle ^a	FS → Blocs	.002 **		-.027	.926	1.389	<.001 **
	Blocs → FS	.004**		-.147	.098	.124	.004 **

^a Contrôle statistique effectué pour la vitesse motrice; Pitch : Discrimination de s sonore; FS: Discrimination de fréquences spatiales; B: Coefficient de régression non-standardisé; Niveaux de significativité: * p<.05, **p<.01, ***p<.005.

Profil de covariation des performances perceptives. *Covariation plurimodale.* Les résultats des covariations plurimodales entre la discrimination de hauteur sonore et de fréquences spatiales sont présentés dans les deux premières rangées du tableau A1. Après avoir contrôlé pour l'intelligence Wechsler, la sensibilité à la hauteur sonore covariait avec les seuils de discrimination de fréquences spatiales différemment entre les groupes. La sensibilité à la hauteur sonore covariait avec le seuil de discrimination de fréquences spatiales chez les autistes, mais pas chez les contrôles.

À la suite d'un contrôle pour l'intelligence MPR, on retrouve une tendance qui suggère une relation entre les performances aux tâches qui diffère entre les groupes. Cependant, les résultats pour chaque groupe demeurent dans la même direction que lors du contrôle avec l'intelligence Wechsler. La sensibilité à la hauteur sonore covarie avec les seuils de discrimination de fréquences spatiales chez les autistes seulement.

Covariation unimodale. Les résultats des covariations plurimodales entre la discrimination de hauteur sonore et de fréquences spatiales sont présentés dans les deux dernières rangées du tableau A1. Après avoir contrôlé pour l'intelligence Wechsler, la sensibilité aux fréquences spatiales covariait avec la condition de cohérence perceptive maximale au sous-test modifié « Blocs » différemment entre les groupes. Le seuil de discrimination de fréquences spatiales variait avec la performance au sous-test modifié « Blocs » chez les contrôles, mais pas chez les autistes. À la suite d'un contrôle pour l'intelligence MPR, la relation entre les performances aux tâches demeure différente entre les groupes et les résultats de covariation se retrouvent pareillement pour le group contrôles seulement.

4. Modèle intégré incluant la tâche de discrimination de fréquences spatiales

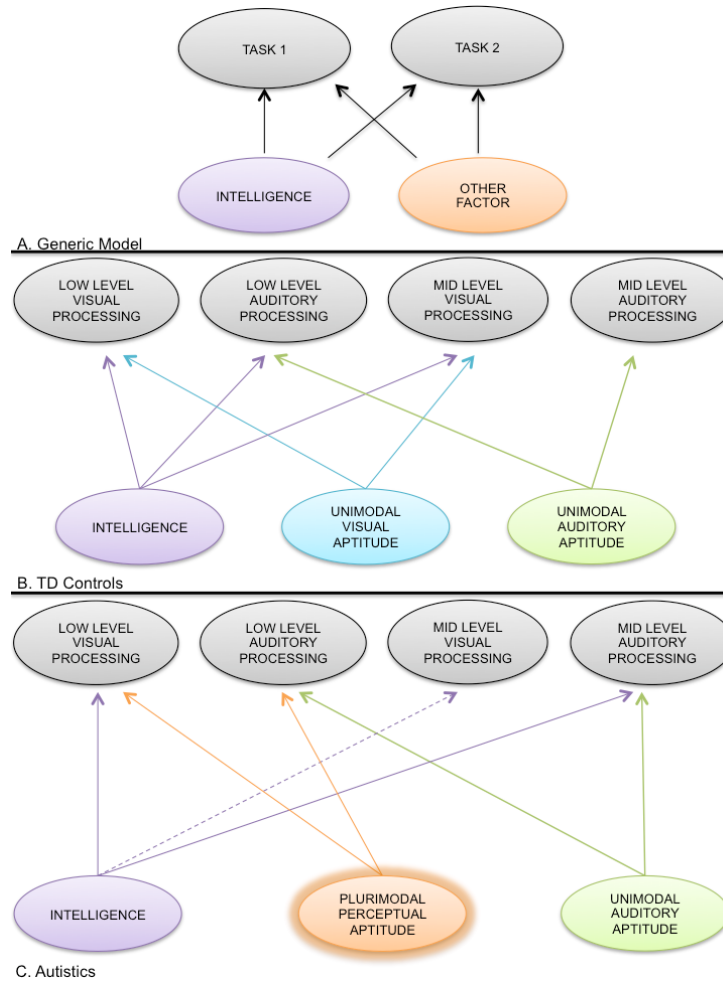
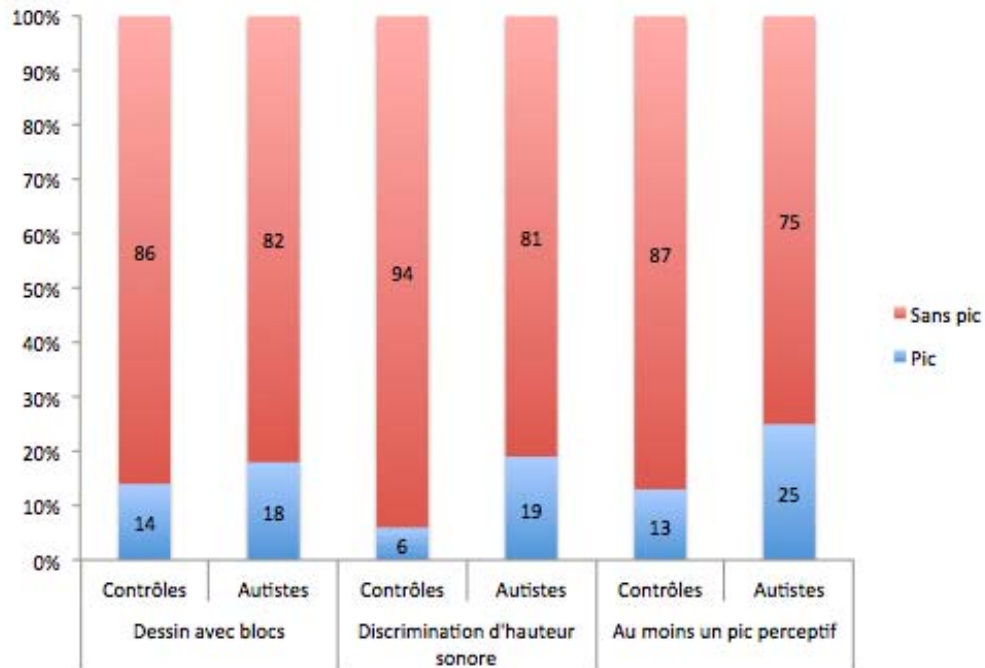


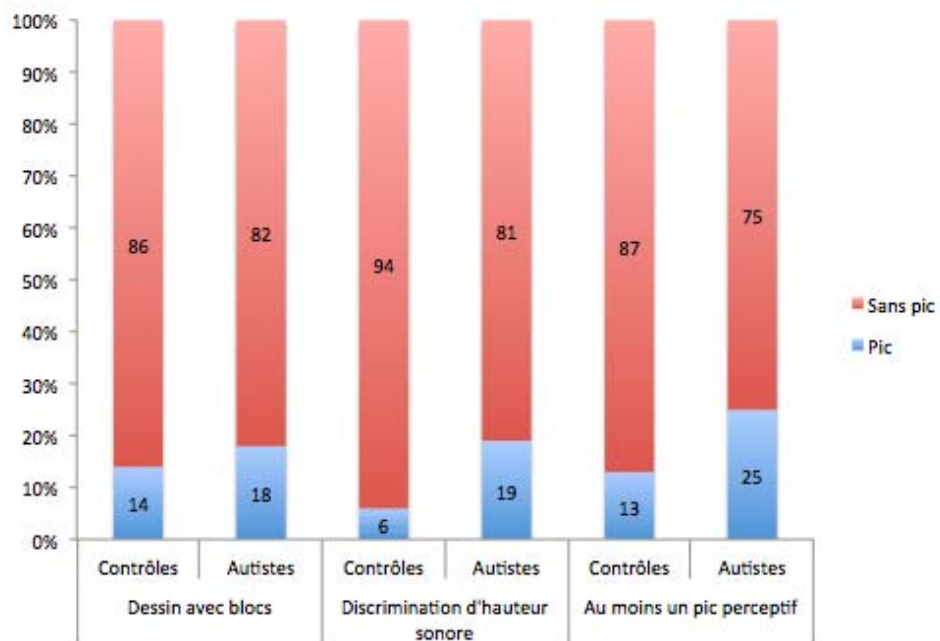
Figure 2. Illustration du modèle théorique correspondant au profil de covariation entre les tâches. Les tâches expérimentales sont présentées dans la rangée du haut, en gris. Les facteurs se retrouvent dans la rangée du bas, en couleur. Le facteur « intelligence » comprend les effets des MDR, du QIG ou des deux, selon la variable et le groupe. Ces modèles décrivent la contribution significative d'un facteur (c.-à-d., l'intelligence ou d'autres facteurs) sur la variance des performances aux tâches perceptives. **A.** Modèle générique. Les flèches qui viennent du même facteur (ici, l'intelligence) et pointent vers deux tâches (ici, 1 et 2) indiquent que la corrélation entre ces deux tâches peut être expliquée par leur relation commune avec le facteur, représenté ici comme intelligence. Dans cet exemple, le facteur d'intelligence n'explique pas entièrement la variance des tâches 1 et 2, ainsi la covariation résiduelle serait mieux expliquée par "un autre facteur" (« other factor »), indépendant de l'intelligence. **B.** (sujets contrôles) et **C.** (sujets autistes). Modèles qui correspondent au profil de covariation dans cette étude pour chaque groupe séparément (statistiques disponibles dans le tableau 2 et 4). Les facteurs séparés de l'intelligence inclus : les facteurs unimodaux d'aptitude visuelle ("Unimodal Visual Aptitude") (bleu) et auditive ("Unimodal Auditory Aptitude") (vert) et le facteur d'aptitude perceptive plurimodale ("Plurimodal Perceptual Aptitude" (orange). Lignes pleines: $p < 0,05$; Lignes pointillées: $p < 0,1$.

Annexe III : Forces perceptives absolues et relatives aux MPR

Forces perceptives relatives aux MPR



Forces perceptives absolues



Annexe IV : Discrimination de hauteurs sonores dans le sous-groupe de musiciens

Dans la discussion du deuxième article, nous mettons le lecteur en garde que la prévalence de pics perceptifs représente possiblement une estimation conservatrice de la prévalence estimée dans la population générale, puisque les participants avec une expérience formelle en musique ont été exclus de l'étude afin d'isoler les forces perceptives de toute influence confondante pouvant découler d'un entraînement spécifique. Afin d'examiner l'influence de l'entraînement musical formel sur les capacités de discrimination de hauteur sonore nous avons conduit des analyses supplémentaires sur le petit échantillon de 8 participants à développement typique avec plus de 5 ans d'expérience formelle en musique et les avons comparés aux résultats de notre étude sur une population sans expérience. On retrouve un pic relatif dans 25 % (vs. 9 % — augmentation de 2.8 fois) et un pic absolu dans 62 % (vs. 17%-augmentation de 3.6 fois) des participants musiciens du groupe contrôle. Ceci cadre d'ailleurs avec des études conduites dans le développement typique, où il a été démontré que l'entraînement musical avait une influence sur l'efficacité des mécanismes de discrimination de hauteur sonore (Bever & Chiarello, 1974; Micheyl et al., 2006; Pantev, Engelen, Candia, & Elbert, 2001).

Les mêmes analyses de prévalence chez les 3 autistes avec une expérience formelle en musique, démontrent la présence de pics relatifs dans 67 % des cas (vs. 47%-augmentation de 1.4 fois) et de pics absolus dans 33 % des cas (vs. 36%-réduction de 1.1 fois). Cette démonstration, toutefois très préliminaire, suggère que la discrimination perceptive en autisme pourrait être moins sensible aux effets de l'entraînement musical *traditionnel* et que de telles forces perceptives de bas niveau seraient davantage liées à des altérations « innées » modulées par des processus de plasticité non associés à l'entraînement conventionnel.

Tableau 1. Résultats des analyses de performance absolue et relative à une tâche de discrimination de hauteur sonore chez 8 contrôles et 3 autistes avec une expérience musicale.

<u>CONTRÔLES</u>					<u>AUTISTES</u>				
Code sujet	Sexe/ Age	QIG	Perf. absolue	Perf. relative	Code sujet	Sexe/ Age	QIG	Perf. absolue	Perf. relative
C1	F/19	1.07	1.30*	.24	A1	M/16	-1.27	.99*	2.26*
C2	F/22	1.73	2.02*	.28	A2	M/19	2.00	-.08	-2.08
C3	F/15	.60	.76	.16	A3	M/16	-.027	.92	1.19*
C4	M/18	1.67	1.34*	-.32					
C5	M/15	.87	.42	-.44					
C6	M/28	.73	.31	-.42					
C7	M/21	.47	2.96*	2.49 *					
C8	M/22	1.00	2.25*	1.25 *					
Moy. ou %	-/20	1.02	62.5%	25%	Moy. ou %	-/17	.703	33%	67%
<i>Population</i>	-/20	.60	17%	9%	<i>Population</i>	-/21	-.33	36%	47%

Perf.=performance; * écart-type ≥ 1 est significatif pour la présence d'une force perceptive dans la discrimination d'hauteur sonore.

Annexe V : Relation entre signe clinique et fonctionnements perceptifs

En autisme, l'association entre les forces perceptives et les signes cliniques a été majoritairement documentée avec des outils diagnostiques tels que l'ADI-R. Caron et al. (2006a) rapportent plus de « préoccupations inhabituelles » et d'« intérêts inhabituels sensoriels » dans le groupe autiste avec un pic d'habileté au sous-test « Blocs » de Wechsler comparativement aux autistes sans pic visuospatial. L'AQ a plutôt été proposé comme mesure du niveau de comportements de « type autistique » dans la population générale. Plus un score est élevé au AQ (Baron-Cohen, Wheelwright, Skinner, Martin, & Clubley, 2001), plus la personne présenterait des comportements de « type autistique », par exemple, une attention importante aux détails, un manque d'intérêt pour les situations sociales ou des intérêts restreints. Des associations ont déjà été établies dans la population typique entre un score plus élevé au AQ et la présence de forces perceptives au sous-test « blocs » de Wechsler (Stewart, Watson, Allcock, & Yaqoob, 2009), l'oreille absolue (Brown et al., 2003) et des talents (Vital et al., 2009).

Afin d'explorer la relation entre l'efficacité des processus perceptifs et les signes cliniques, nous avons mené des analyses exploratoires entre les données expérimentales et les scores à des outils cliniques (résultats décrits dans l'annexe V). Ces derniers étaient composés de l'ADI-R, comme mesure des comportements à l'enfance (4-5 ans) et du « Autism Quotient » (AQ), comme mesure des comportements actuels. En ce qui concerne les données expérimentales issues des tâches perceptives, les variables d'intérêt étaient les mêmes que celles incluses dans le premier article : performance moyenne aux tâches de discrimination de hauteurs sonores et de contraste, et au sous-test modifié de « blocs », ainsi que la sensibilité au changement locaux dans la condition identique de la tâche de mélodie.

Les analyses polysérielles conduites sur l'ADI-R dans le groupe autiste de la présente étude, mettent en évidence des résultats mixtes sur la relation entre les habiletés sociales et de communication à l'âge de 4-5 ans et l'efficacité du système perceptif à partir de 14 ans. Une meilleure discrimination auditive était associée à plus de signes de tête pour communiquer

(communication du « oui » et du « non ») et à un meilleur niveau de langage communicatif à 5 ans. Toutefois, les capacités de discrimination auditive seraient aussi associées à une moindre utilisation des gestes conventionnels/instrumentaux et à un échantillon plus limité d'expressions faciales. De meilleures capacités de discrimination visuelle étaient aussi associées à un meilleur niveau de langage communicatif à 5 ans, en plus d'une meilleure régulation de l'intonation/volume de la voix et à davantage de jeux d'imitation sociale. L'examen de la relation entre l'efficacité des processus perceptifs de niveau intermédiaire et les scores aux items de l'ADI-R, démontre qu'une moindre quantité de regards directs et davantage d'expressions faciales inappropriées étaient associées à une plus grande sensibilité aux changements locaux de mélodies. Les analyses polysérielles ne permettent pas de contrôler pour l'intelligence. Ainsi la variabilité des résultats à l'intérieur d'un même domaine clinique serait partiellement attribuable au lien commun entre le rendement cognitif, la performance perceptive et les capacités sociales et de communication. Étonnamment, aucun des éléments du domaine des comportements et intérêts n'était associé aux performances perceptives.

Des analyses corrélationnelles entre le score au AQ et la performance aux tâches perceptives ont été menées pour chaque groupe séparément. Dans le groupe autiste, on retrouve qu'une plus grande sensibilité au changement de hauteurs sonores est associée à un plus haut score global ($p=.027$) et à une plus grande attention aux détails dans la vie quotidienne ($p=.026$). Aucune des autres mesures perceptives n'était associée aux signes cliniques mesurés par l'AQ. Chez les contrôles, on ne retrouve pas d'associations significatives entre le score global de l'AQ, ou ses sous-échelles, et les variables d'intérêts quant aux performances perceptives.