

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PROCESSUS D'APPRENTISSAGE ET DE CATÉGORISATION CHEZ LES  
ENFANTS AUTISTES

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR

ANNE-MARIE NADER

JUIN 2020

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

En 2006, j'ai participé à l'ascension du mont Kilimandjaro, en Tanzanie, dans le but d'amasser des fonds pour la Société Québécoise pour enfants handicapés, afin de soutenir leur programme de camps de vacances pour enfants autistes. Cette aventure m'a permis de réaliser que le chemin est souvent plus important que l'atteinte d'un but, tout comme l'importance de bien s'entourer. Cette thèse aura été mon deuxième Kilimandjaro.

J'ai la chance de travailler auprès d'enfants autistes depuis de nombreuses années et c'est dans le cadre de mon travail, au départ comme ergothérapeute, que ce projet de thèse a émergé. À force d'observer la manière de faire des enfants autistes, l'idée de mieux comprendre leur propre style d'apprentissage est venue. Toutefois, ce projet n'aurait pas été possible sans la présence de certaines personnes que je tiens à remercier chaleureusement. D'abord, chère **Isabelle**, je ne dirai jamais assez comment je suis privilégiée de t'avoir eue comme directrice de thèse et d'avoir évolué sous ta supervision. Je t'ai rencontrée la première fois alors que j'étais clinicienne et que tu présentais comme conférencière. Mon projet de thèse venait de trouver un sens! Merci d'avoir partagé ta passion pour la recherche en autisme. Je connaissais peu de chose du monde de la recherche au début de cette aventure et tu as pris le temps de transmettre avec passion tes connaissances et ta rigueur scientifique. Ton respect pour les personnes autistes de même que le regard positif que tu portes sur elles, tout en cherchant à mettre à profit leur potentiel, font de toi une chercheuse unique.

Ensuite, **Armando**, j'ai été choyée de pouvoir bénéficier de cette codirection. Nous avons réfléchi longuement sur l'interaction entre l'attention visuelle et l'apprentissage.

Il a fallu être créatif et novateur puisque peu l'ont fait avant nous! Merci pour tes réflexions et tes commentaires à chaque étape de cette thèse. Ton expertise a permis d'élargir les horizons de ce projet.

Et **Michelle**, merci pour avoir inspiré ce projet et m'avoir accompagnée à chacune des étapes de cette recherche. Ton regard a contribué à rapprocher la clinique de la recherche et vice et versa. Merci pour tes réflexions, tes révisions, tes propositions; grâce à nos nombreux échanges, je suis devenue meilleure clinicienne et chercheuse.

À mes **compagnes, compagnons et amies de la recherche** ... Quelle équipe exceptionnelle, rigoureuse et divertissante! Valérie C., Véronique, Élise, Dominique, Éliane, Janie, Alexis et tous les autres ... Que de beaux souvenirs de voyages et de dégustations culinaires, m'ayant fait découvrir le bec sucré de certaines! Une mention spéciale d'abord à Domenico qui a permis de donner vie à ces fameuses tâches d'apprentissage et à Alexandra, Valérie B. et Éliane qui ont permis à Mr Patate d'aller à la rencontre des enfants autistes et non-autistes de la Montérégie!

L'importance de s'entourer ... merci à mes amis et amies qui ont suivi jour après jour l'évolution de ce projet. Caroline, Geneviève et Élisabeth, merci pour votre soutien et votre écoute, surtout dans les moments où je doutais de mon choix. Merci pour tous ces beaux moments qui s'accumulent au fil des années. Et à tous les autres, je suis choyée de vous avoir dans ma vie.

Merci maman de m'avoir transmis cette soif d'apprendre. Merci pour ta présence, ton oreille attentive et ton support. Papa, assis sur ton étoile, je suis certaine que tu es fier de ta fille. Mélissa, ma sœur, toi qui a aussi passé par cette route, tu auras su me donner de précieux conseils!

Etienne, mon amoureux, sans toi, je n'écirais pas ces mots! D'abord, tu as permis de donner vie au personnage de Mr Patate et de Mme Courge en les faisant passer de simples jouets à de réels stimuli de recherche. Mais plus encore, je te remercie sincèrement de partager mon quotidien. Merci pour tes encouragements et surtout ... ta patience pour ce retour aux études qui s'est étiré un peu plu longtemps que prévu! Je t'aime.

Enfin, Simone et Margot, cette thèse je vous la dédie. Vous êtes arrivées dans ma vie durant ce long projet doctoral et l'expérience d'être maman est la plus fabuleuse qui soit. J'espère réussir à mon tour à vous transmettre la curiosité et la soif d'apprendre, tout comme le respect de la différence et le désir d'aller à la rencontre de l'autre. Vous me rappelez à chaque jour ce qui est essentiel dans la vie. Je vous aime!

Pour terminer, à tous les enfants, parents et enseignants qui ont participé à ce projet, un immense merci! Ce fut des rencontres inoubliables! C'est avec une grande humilité que je vous propose le fruit de mon travail. J'espère que la lecture de cette thèse contribuera à imaginer de nouvelles façons de faire dans le soutien apporté aux enfants autistes. Bonne lecture!

*à Simone et Margot.*

« Painting is easy when you don't know how, but very difficult when you do. »

- Edgar Degas

« Ça prend un village pour élever un enfant. Ça prend un enfant autiste pour éveiller  
la conscience du village »

- Elaine Hall

## TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTE DES FIGURES.....                                                                         | xi   |
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                                        | xiv  |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES .....                                      | xv   |
| RÉSUMÉ.....                                                                                    | xvii |
| ABSTRACT .....                                                                                 | xix  |
| CHAPITRE I CONTEXTE THÉORIQUE.....                                                             | 2    |
| 1.1 Les troubles du spectre de l'autisme.....                                                  | 2    |
| 1.2 Rôle de la perception dans la cognition en autisme.....                                    | 5    |
| 1.2.1 Particularités de la perception visuelle dans l'autisme .....                            | 6    |
| 1.2.2 Implication de la perception au sein des processus cognitifs supérieurs en autisme ..... | 10   |
| 1.3 Corrélats neuronaux d'une cognition différente en autisme.....                             | 14   |
| 1.3.1 Particularités anatomiques dans l'autisme .....                                          | 14   |
| 1.3.2 Connectivité structurelle et fonctionnelle dans l'autisme .....                          | 15   |
| 1.4 Modèles cognitifs de l'autisme.....                                                        | 18   |
| 1.5 La question de l'apprentissage en autisme .....                                            | 22   |
| 1.5.1 Style d'apprentissage en autisme : similaire ou atypique?.....                           | 23   |
| 1.5.2 Place de la catégorisation dans l'apprentissage .....                                    | 25   |

|                                                                                                     |                                                                                                          |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.3                                                                                               | Particularités de la catégorisation en autisme .....                                                     | 26 |
| 1.5.4                                                                                               | La question du matériel à apprendre .....                                                                | 28 |
| 1.5.5                                                                                               | La question de la rétroaction dans l'apprentissage .....                                                 | 32 |
| 1.6                                                                                                 | Apprentissage implicite en autisme .....                                                                 | 36 |
| 1.7                                                                                                 | Changements neuronaux associés à l'apprentissage : suggestible de mécanismes distincts en autisme? ..... | 39 |
| 1.8                                                                                                 | Stratégies d'apprentissage : l'information révélée par l'analyse des poursuites oculaires .....          | 41 |
| 1.9                                                                                                 | Synthèse des processus d'apprentissage en autisme.....                                                   | 45 |
| CHAPITRE II OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....                                               |                                                                                                          | 48 |
| 2.1                                                                                                 | Étude 1a. Effet de l'intensité de la rétroaction dans l'apprentissage .....                              | 49 |
| 2.2                                                                                                 | Étude 1b. Étude de la présentation du matériel sur l'apprentissage .....                                 | 50 |
| 2.3                                                                                                 | Étude 2. Impact de l'apprentissage implicite sur l'attention visuelle .....                              | 52 |
| CHAPITRE III ARTICLE 1 – Category learning in autism: are some situations better than others? ..... |                                                                                                          | 55 |
| 3.1                                                                                                 | Abstract.....                                                                                            | 56 |
| 3.2                                                                                                 | Introduction.....                                                                                        | 57 |
| 3.3                                                                                                 | Methods .....                                                                                            | 61 |
| 3.3.1                                                                                               | Participants.....                                                                                        | 61 |
| 3.3.2                                                                                               | Procedure and conditions .....                                                                           | 64 |
| 3.4                                                                                                 | Results.....                                                                                             | 72 |
| 3.4.1                                                                                               | Data analysis .....                                                                                      | 72 |
| 3.4.2                                                                                               | Preliminary analysis .....                                                                               | 73 |

|                                                                                                                           |                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.3                                                                                                                     | Main analysis .....                                                                 | 74  |
| 3.5                                                                                                                       | Discussion.....                                                                     | 86  |
| 3.6                                                                                                                       | Acknowledgements.....                                                               | 89  |
| 3.7                                                                                                                       | References.....                                                                     | 90  |
|                                                                                                                           |                                                                                     |     |
| CHAPITRE IV ARTICLE 2 – Visual attention and implicit category knowledge in autistic children: an eye-tracking study..... |                                                                                     | 96  |
| 4.1                                                                                                                       | Abstract.....                                                                       | 97  |
| 4.2                                                                                                                       | Introduction.....                                                                   | 98  |
| 4.3                                                                                                                       | Methods .....                                                                       | 101 |
| 4.4                                                                                                                       | Results.....                                                                        | 112 |
| 4.5                                                                                                                       | Discussion.....                                                                     | 124 |
| 4.6                                                                                                                       | References.....                                                                     | 129 |
|                                                                                                                           |                                                                                     |     |
| CHAPITRE V DISCUSSION.....                                                                                                |                                                                                     | 135 |
| 5.1                                                                                                                       | Résumé des objectifs et des hypothèses de la thèse .....                            | 135 |
| 5.2                                                                                                                       | Résumé des principaux résultats.....                                                | 137 |
| 5.3                                                                                                                       | Contribution théorique.....                                                         | 140 |
| 5.3.1                                                                                                                     | Apprentissage implicite : un levier en autisme? (étude 1 a et b) .....              | 140 |
| 5.3.2                                                                                                                     | Apprentissage implicite : stratégies implicites ou explicites ? .....               | 146 |
| 5.3.3                                                                                                                     | Prédicteurs de l'apprentissage : Hétérogénéité de certains sous-groupes .....       | 149 |
| 5.3.4                                                                                                                     | Généralisation de l'apprentissage : Transfert des principes de catégorisation ..... | 151 |

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3.5 La rétroaction : Un rôle différent en autisme ?<br>(Étude 1 a. Impact de l'intensité de la rétroaction sur l'apprentissage).....                                      | 152 |
| 5.3.6 Un accès à l'information comme support à l'apprentissage chez les<br>enfants autistes (Étude 1 b. Impact de la présentation du matériel sur<br>l'apprentissage) ..... | 160 |
| 5.3.7 Stratégies d'apprentissage : l'information révélée par les poursuites<br>oculaires (Étude 2) .....                                                                    | 172 |
| 5.4 Discussion générale .....                                                                                                                                               | 180 |
| 5.4.1 Place de la perception dans l'apprentissage en autisme.....                                                                                                           | 180 |
| 5.4.2 Modèles cognitifs récents de l'autisme et apprentissage : quels liens peut-<br>on établir ?.....                                                                      | 181 |
| 5.4.3 Portée de la thèse et implication des résultats au plan clinique .....                                                                                                | 183 |
| CHAPITRE VI LIMITES DE L'ÉTUDE ET PERSPECTIVES FUTURES .....                                                                                                                | 192 |
| CONCLUSION .....                                                                                                                                                            | 196 |
| ANNEXE A AUTRES PUBLICATIONS DURANT LE DOCTORAT.....                                                                                                                        | 198 |
| RÉFÉRENCES.....                                                                                                                                                             | 199 |

## LISTE DES FIGURES

| <b>CHAPITRE 1</b>                                                                                                                                                  | <b>PAGE</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figure 1.1. Profil cognitif au WISC-IV chez des enfants autistes avec ( <i>autistic with SOD</i> ) et sans ( <i>autistic without SOD</i> ) retard de langage. .... | 11          |
| Figure 1.2. Profil type retrouvé au sein des deux groupes d'enfants autistes évalués à l'aide des échelles de Wechsler pour enfants (WISC-IV). ....                | 12          |
| Figure 1.3. Performance (rang centile) des enfants autistes (a) et non-autistes (b) aux Matrices progressives de Raven et au WISC-IV. ....                         | 13          |
| Figure 1.4. Situation d'apprentissage (catégorisation probabiliste) utilisée par Shohamy et al. (2004). ....                                                       | 36          |
| <b>CHAPITRE II</b>                                                                                                                                                 |             |
| Figure 2.1. Résumé du projet de recherche. ....                                                                                                                    | 54          |
| <b>CHAPITRE III</b>                                                                                                                                                |             |
| Figure 3.1. Feedback condition stimuli .....                                                                                                                       | 69          |
| Figure 3.2. Information condition stimuli .....                                                                                                                    | 71          |
| Figure 3.3. Test 1 (same stimuli) overall accuracy across all 4 learning situations .....                                                                          | 75          |
| Figure 3.4. Test 2 (generalization stimuli) overall accuracy across all 4 learning situations .....                                                                | 76          |

|                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3.5. Test 1 (same stimuli) mean accuracy on each stimulus-outcome probability for low and high feedback situations .....                                                                                             | 78 |
| Figure 3.6. Test 1 (same stimuli) mean accuracy for combined high stimulus-outcome probability (.92, .89, .83) versus low stimulus-outcome probability (.78, .55), for <i>low</i> and <i>high</i> feedback situations ..... | 78 |
| Figure 3.7. Test 1 (same stimuli) mean reaction time (ms) on each stimulus-outcome probability for low and high feedback situations .....                                                                                   | 79 |
| Figure 3.8. Test 1 (same stimuli) mean accuracy on each stimulus-outcome probability for isolated and simultaneous situations .....                                                                                         | 83 |
| Figure 3.9. Test 1 (same stimuli) mean accuracy for combined high (.92, .89, .83) versus low (.78, .55) stimulus-outcome probability, for isolated and simultaneous situations .....                                        | 83 |
| Figure 3.10. Test 1 (same stimuli) mean reaction time on each stimulus-outcome probability for isolated and simultaneous situations .....                                                                                   | 84 |

#### CHAPITRE IV

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 4.1. The 4 AOIs for eye tracking: 4 rectangles encompassing the 4 category-defining features (glasses, moustache, bowtie, hat) shown for Mr. Potato Head .....                                                                              | 108 |
| Figure 4.2. Mean fixation length on AOIs vs. non-AOIs for <i>low</i> vs. <i>high</i> feedback (a) and <i>isolated</i> vs. <i>simultaneous</i> presentation (b) .....                                                                               | 116 |
| Figure 4.3. Mean fixation length on AOIs according to high (.92, .89, .83) and low (.78, .55) stimulus-outcome probability for <i>low</i> and <i>high</i> feedback situations (a) and <i>isolated</i> and <i>simultaneous</i> situations (b) ..... | 117 |
| Figure 4.4. Mean fixation count on AOIs vs. non-AOIs for <i>low</i> vs. <i>high</i> feedback (a) and <i>isolated</i> vs <i>simultaneous</i> presentation (b) .....                                                                                 | 118 |
| Figure 4.5. Time to first fixate on all 4 AOIs, in milliseconds. The horizontal bars represent the mean for each condition .....                                                                                                                   | 120 |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 4.6. Proportion of fixation length to the 4 AOIs for <i>low</i> vs. <i>high</i> feedback (a) and <i>isolated</i> vs. <i>simultaneous</i> (b) situations ..... | 122 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 4.7. Proportion of fixation count on the 4 AOIs for <i>low</i> vs. <i>high</i> feedback (a) and <i>isolated</i> vs. <i>simultaneous</i> information (b) situations. .... | 123 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## CHAPITRE V

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 5.1. Performance des enfants autistes et neurotypiques aux 4 situations d'apprentissage. .... | 139 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 5.2. Performance des enfants autistes et neurotypiques dans une tâche de catégorisation perceptive probabiliste dans l'étude de Brown et al. (2010). .... | 142 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## LISTE DES TABLEAUX

### CHAPITRE III

|     |                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 | Participant demographics for the total sample and for each condition .....                                                                                                                                      | 63 |
| 3.2 | Character features and probability structure of the 4 learning tasks .....                                                                                                                                      | 66 |
| 3.3 | A) Overall accuracy for each learning situation in each test, means (M) and standard deviations (SD); B) Overall RTs (in seconds) for each situation in each test, means (M) and standard deviations (SD) ..... | 81 |

### CHAPITRE IV

|     |                                                                                                                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 | Participant demographics for the total sample and for each condition .....                                                                                 | 102 |
| 4.2 | Character features and probability structure of the 4 learning tasks .....                                                                                 | 105 |
| 4.3 | Mean (SD) fixation length (FL) in ms, on AOIs and non-AOIs for the <i>low</i> vs. <i>high</i> and <i>isolated</i> vs. <i>simultaneous</i> situations ..... | 119 |
| 4.4 | Mean (SD) fixation count (FC) on AOIs and non-AOIs for <i>low</i> vs. <i>high</i> and <i>isolated</i> vs. <i>simultaneous</i> situations .....             | 119 |
| 4.5 | Mean proportion ( <i>SD</i> ) of fixation length on the 4 AOIs .....                                                                                       | 124 |
| 4.6 | Mean proportion ( <i>SD</i> ) of fixation count on the 4 AOIS. ....                                                                                        | 124 |

### CHAPITRE V

|              |                                                                                                                                                                                     |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 5.1. | Proportion (nombre (N) et % du groupe) d'enfants qui affichent une performance au-dessus (apprenants) et en-dessous (non-apprenants) de 60% aux 4 situations d'apprentissages. .... | 150 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

### ABRÉVIATIONS

|         |                                                                   |
|---------|-------------------------------------------------------------------|
| ADI-R : | Autism Diagnostic Interview-Revised                               |
| ADOS :  | Autism Diagnostic Observation Schedule                            |
| ANOVA:  | Analyse de variance                                               |
| AOI:    | Area of interest                                                  |
| APA :   | American Psychiatric Association                                  |
| AS :    | Autistics                                                         |
| CDC :   | Center for Disease Control and Prevention                         |
| CEFT :  | Children Embedded Figure Test                                     |
| CSIR :  | Comportements stéréotypés et intérêts restreints                  |
| DI :    | Déficience intellectuelle                                         |
| DSM :   | Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux           |
| EEG :   | Électroencéphalographie                                           |
| EPF :   | Enhance Perceptual functioning                                    |
| Fhigh : | High feedback                                                     |
| FC:     | Fixation count                                                    |
| FL:     | Fixation length                                                   |
| Flow :  | Low feedback                                                      |
| FSIQ :  | Full Scale Intellectual Quotient (QI global)                      |
| Hz :    | Hertz                                                             |
| ICV :   | Indice de compréhension verbale                                   |
| IRMf :  | Imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle                  |
| IRP :   | Indice de raisonnement perceptif                                  |
| IVT :   | Indice de vitesse de traitement de l'information                  |
| MPR :   | Matrices progressives de Raven (Raven Progressive Matrices - RPM) |
| MS :    | Milliseconds                                                      |
| PSI :   | Processing Speed Index                                            |
| QI :    | Quotient intellectuel                                             |
| QIV :   | Quotient intellectuel (verbal)                                    |

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| QIP :  | Quotient intellectuel (performance)      |
| RT :   | Response time                            |
| TFF:   | Time to first fixation                   |
| WCST : | Wisconsin Card Sorting Test              |
| WISC : | Wechsler Intelligence Scale for Children |

## RÉSUMÉ

La majorité des méthodes d'intervention auprès des enfants autistes s'appuient sur des modèles d'apprentissage développés auprès d'une population neurotypique. En revanche, les mécanismes d'apprentissage des personnes autistes diffèreraient des enfants dits « typiques » et la perception, plutôt orientée vers un traitement local et marquée par une capacité à extraire systématiquement des régularités (*patterns*) lorsqu'exposés à une grande quantité d'informations, pourrait jouer un rôle plus grand dans leur facilité à apprendre une nouvelle information. L'objectif principal de cette thèse est d'étudier les stratégies et les conditions favorables à l'apprentissage de nouvelles catégories perceptives chez les enfants autistes. Ce projet de recherche vise à documenter la nature et les facteurs influençant l'apprentissage (catégorisation et généralisation) chez les enfants autistes en étudiant l'impact de deux des principales conditions de la situation d'apprentissage, en l'occurrence (1) l'intensité de la rétroaction donnée en cours d'apprentissage et (2) la manière de présenter le matériel à apprendre.

La première étude de cette thèse a pour objectif d'investiguer si les enfants autistes sont aidés par une situation d'apprentissage où 1) l'ensemble de l'information est présentée simultanément (accès à tous les stimuli en même temps vs présentation de type « un item à la fois »), et par 2) une rétroaction de plus faible intensité, laissant une plus grande place à une rétroaction donnée de manière inhérente par la tâche. 54 enfants autistes et 52 enfants typiques (6-14 ans), appariés en âge et en QI, ont été exposés à deux situations d'apprentissage probabilistes où l'enfant devait dégager la règle permettant de classer des stimuli dans deux catégories perceptuelles. La première tâche d'apprentissage varie sur la manière de présenter le matériel (présentation séquentielle vs simultanée) alors que la seconde varie sur l'intensité du feedback (faible vs forte intensité du feedback). Les résultats montrent que les enfants autistes n'ont pas bénéficié d'une hausse de la rétroaction, alors que celle-ci semble profiter aux enfants neurotypiques. En revanche, les enfants autistes ont montré un meilleur apprentissage de nouvelles catégories lorsqu'ils ont eu accès en cours d'apprentissage à un plus large éventail d'exemplaires de la catégorie (condition simultanée) par rapport

à un apprentissage où le matériel est présenté de manière séquentiel / isolé (un item à la fois)

La seconde partie de cette thèse a pour objectif de documenter l'impact de la situation d'apprentissage sur l'attention visuelle des enfants. Des mesures de poursuite oculaire ont été collectées auprès des mêmes enfants au terme de l'apprentissage de nouvelles catégories probabilistes, permettant de comparer les stratégies prises par les enfants autistes et non-autistes pour classer l'information. Les résultats montrent que 1) les enfants autistes et non-autistes prennent le même temps pour orienter leur attention aux régions d'intérêt; 2) les enfants autistes ont généralement des temps de fixation de l'écran plus courts que ceux des enfants non-autistes et 3) les patrons de fixation, surtout la durée des fixations sur les 4 régions d'intérêt, diffèrent selon le type d'apprentissage. Les enfants autistes s'attardent moins longtemps aux régions d'intérêt lors d'un apprentissage isolé alors qu'ils sont en mesure de prioriser cette information lorsque le matériel est présenté d'une manière simultanée

Les résultats de la présente thèse suggèrent que les mécanismes d'apprentissage des enfants autistes diffèrent des enfants typiques et reposent davantage sur les processus perceptuels. Les enfants semblent soutenus lorsqu'on leur présente l'information de manière exhaustive et organisée, tout en leur permettant de la manipuler et de la classer, puisque cela semble correspondre à leur façon d'apprendre. Les résultats de cette thèse soulèvent la pertinence de réfléchir aux interventions destinées aux personnes autistes afin de les harmoniser aux spécificités de leur cognition.

Mots clés : autisme, apprentissage, catégorisation, perception, généralisation, cognition

## ABSTRACT

Learning, the core of any intervention, is the ability to acquire new skills in various contexts. Yet, while autistic individuals have been characterized as experiencing great difficulty with learning (e.g. difficulty generalizing abilities learned in intervention programs to real-life situations), they have also been reported to learn spontaneously in exceptional ways. These contrasting accounts suggest that some situations may be better than others for learning in autism. High performance in various low-level perceptual tasks has been repetitively documented in autism. Enhanced perception in autism has led to the hypothesis that modifying learning situations to the perceptual strengths/differences found in autism could facilitate concept acquisition for this population. The general objective of this thesis is to characterize two important factors contributing to category learning, namely how material is presented and how feedback is given. Indeed, recent findings have prompted the idea that the way of presenting learning material and giving feedback, two major components of a learning situation, might underly some of the heterogeneity.

The first part of the thesis assess the contribution of two factors to category learning and generalization of learning in autistic children; the intensity of feedback given through learning (low vs high intensity of feedback) and the way the material to be learned is presented (isolated vs simultaneous presentation of material). We tested this possibility using a probabilistic category learning task with four learning situations differing either in feedback intensity or in information presentation. Two situations contrasted the use of high versus low intensity feedback, while two situations were feedback-free and instead contrasted the use of isolated information (presented sequentially) versus simultaneous information (presented in arrays). We tested the categorization and generalization performance of 54 autistic children and 52 age-matched typical school-aged children after they learned in different situations. Children in both groups were able to learn and generalize novel probabilistic categories in all four situations. However, across and within groups, autistic children

were advantaged by learning with simultaneous information presentation, while typical children were advantaged by learning with high intensity feedback.

The second part of the thesis is related to the association between learning and visual attention. Autism researchers have shown great interest in how autistic individuals distribute their attention and in how they organize information into categories. Despite large literatures in both areas, studies using eye-tracking to link visual attention with category learning in autism remain rare. In this study, we obtained eye-tracking data from a subgroup of children while they categorized the same complex probabilistic stimuli presented on a computer screen. Autistic children showed generally shorter fixation length to the entire screen, but groups did not differ in how quickly they fixated at least once on all key features for determining probabilistic category membership. Both groups also spent more time attending to key features than elsewhere, and mean number of fixations was similar between groups. However, for both fixation length and count, our data suggest that after learning with isolated information, autistic children's attention to key features was diminished, which in turn maps onto their task performance.

This thesis reiterates that school-aged autistic children are able to implicitly learn complex probabilistic categories, but learning in different situations (with high vs low feedback; or with isolated vs simultaneous information presentation) has different effects on autistic vs typical patterns of performance and visual attention; our findings suggest that learning in autism is supported by greater simultaneous access to feedback-free information. These findings question some common aspects of autism interventions and underline the importance of improving our current understanding of how and when autistics learn well. This study provides some important data to design targeted and efficient interventions, grounded on the specificities of autistic children's learning mechanisms.

Keywords : autism, learning, categorization, perception, generalization, cognition



## **CHAPITRE I**

### **CONTEXTE THÉORIQUE**

#### **1.1 Les troubles du spectre de l'autisme**

Les troubles du spectre de l'autisme font partie des troubles neurodéveloppementaux qui présentent une apparition des premiers symptômes tôt dans l'enfance. Alors que l'ancienne édition du DSM proposait une classification catégorielle avec différents sous-groupes à même ce qui était alors défini comme les troubles envahissants du développement (regroupant autisme, syndrome d'Asperger et trouble envahissant du développement non spécifié), le DSM-5 propose de regrouper l'ensemble des sous-groupes sous un seul continuum, soit celui des troubles du spectre de l'autisme (TSA). Deux grands domaines de symptômes définissent maintenant les troubles du spectre de l'autisme, soient celui de (1) la communication et les interactions sociales réciproques; de même que (2) celui des comportements et intérêts restreints et stéréotypés. Pour rejoindre les critères diagnostiques de l'autisme, des particularités doivent être présentes au sein de ces deux domaines de symptômes (APA, 2013). Ainsi, avec le DSM-5, les domaines de la communication et des interactions sociales deviennent indissociables et le second domaine, celui des comportements, activités et intérêts restreints et/ou répétitifs s'apparente à la 3<sup>ème</sup> aire retrouvée dans l'édition précédente. Le premier domaine de symptômes fait référence, notamment, aux difficultés sur le plan de la réciprocité sociale, de la communication non-verbale et des relations sociales (APA, 2013). Pour sa part, le second domaine inclut des

particularités d'ordre verbal, sensori-moteur et cognitif, tels que le langage stéréotypé et répétitif, les intérêts particuliers, le besoin de similitude (*sameness*), de même que les atypies sensorielles comme les hypo/hyper réactivités sensorielles (Bendor & Wang, 2005; Mahjouri & Lord, 2012). Il n'y a pas nécessairement de concordance entre l'intensité des symptômes socio-communicatifs et celle associée aux comportements stéréotypés et intérêts restreints (Ronald, Happe, & Plomin, 2005). Enfin, le DSM-5 propose maintenant l'ajout de spécificateurs au diagnostic d'autisme tels qu'une précision du niveau de langage, du fonctionnement intellectuel et du niveau de « sévérité », ayant pour objectif d'individualiser davantage le diagnostic et offrir un meilleur portrait des forces / défis de la personne.

Une augmentation constante de la prévalence de l'autisme est notée depuis maintenant plusieurs années et elle est actuellement estimée en moyenne à 1 enfant sur 68 de la population (Baio, 2012; Elsabbagh et al., 2012). Les manifestations peuvent être présentes dès l'âge de 6 mois, mais l'âge médian du diagnostic est de 5 ans (Jones, Carr, & Klin, 2008; Lord, Elsabbagh, Baird, & Veenstra-Vanderweele, 2018b). Il y a une proportion plus grande de garçons que de filles autistes; toutefois, les filles dites de plus « haut niveau » seraient potentiellement sous-diagnostiquées en raison de manifestations cliniques légèrement différentes des garçons (p.ex. leurs intérêts restreints seraient plus typiques des pairs du même âge) et de l'effet de camouflage décrit par plusieurs au long cours (Dean, Harwood, & Kasari, 2017).

Quant à l'étiologie, l'autisme est une condition avec une forte composante génétique (Abrahams & Geschwind, 2008; Ronemus, Iossifov, Levy, & Wigler, 2014). Toutefois, des facteurs environnementaux (p.ex. âge des parents, complications à la naissance et exposition à des tératogènes) (Currenti, 2010; Modabbernia, Velthorst, & Reichenberg, 2017) et biologiques (p.ex. modification de la connectivité cérébrale; altération des mécanismes d'excitation / inhibition cellulaire) (Belmonte et al., 2004; Coghlan et al., 2012) semblent impliqués dans le déploiement de la condition. Les

comorbidités sont fréquentes, notamment avec le trouble déficitaire de l'attention / hyperactivité (TDAH 30-70% selon les études) (Leitner, 2014; Leyfer et al., 2006), les troubles anxieux (environ 50%) et dépressifs (50-70% chez les adultes autistes) (Lugnegård, Hallerbäck, & Gillberg, 2011), de même qu'avec les troubles d'apprentissage. En effet, environ 75 % des enfants autistes vont expérimenter des difficultés pour l'une ou l'autre des matières académiques au cours de leur parcours scolaire (Lord, Elsabbagh, Baird, & Veenstra-Vanderweele, 2018a).

Le continuum autistique est caractérisé par une vaste hétérogénéité des manifestations comportementales et des profils cognitifs (Fountain, Winter, & Bearman, 2012; Geschwind & Levitt, 2007). Par exemple, certains enfants apprennent à parler tôt alors que d'autres montrent une apparition tardive du langage et certains demeureront très peu verbaux tout au cours de leur vie. Suivant l'évolution du développement de la communication et des interactions sociales de même que celui des comportements stéréotypés et intérêts restreints, Fountain et al. (2007) ont identifié 6 trajectoires développementales distinctes chez les enfants autistes. Par exemple, certains enfants montrent peu de signes autistiques en bas âge et demeurent ainsi à l'âge adulte. D'autres montrent une grande symptomatologie autistique en bas âge mais avec une diminution dans le temps alors qu'un autre sous-groupe d'enfants présente plusieurs symptômes qui persistent au long cours. L'hétérogénéité du fonctionnement cognitif et ses similarités / différences avec le développement typique est ainsi de plus en plus étudié, notamment pour éviter l'homogénéisation d'une population hétérogène. Une plus grande individualisation du diagnostic en fonction des forces et défis de la personne permettra d'offrir des interventions plus adaptées à chaque individu (Szatmari, 2011).

## 1.2 Rôle de la perception dans la cognition en autisme

Déjà dans sa présentation de 11 enfants autistes, Kanner (1943) remarquait que ceux-ci se montraient sensibles à l'information perceptive (p.ex. réaction négative face à certains bruits ou au contraire, recherche de stimulations visuelles comme l'alignement d'objets), portaient une attention particulière aux détails et se montraient sensibles à de petits changements dans les objets et dans les scènes visuelles (Kanner, 1943). Depuis, de nombreux travaux ont étayé le traitement atypique de l'information perceptive en autisme. D'abord, les particularités dans le traitement de l'information sensorielle sont fréquentes au sein de la population autiste pour laquelle l'impact fonctionnel demeure important à l'âge adulte (Crasta & Davies, 2018). Ensuite, plusieurs comportements chez les enfants autistes sont liés à une perception visuelle atypique, notamment les explorations visuelles particulières (regards latéraux, exploration particulière des objets, attention intense pour les détails, intérêt pour certains types d'objets brillants ou en rotation, etc.) (Leekam, Nieto, Libby, Wing, & Gould, 2007; Mottron, Dawson, Soulières, Hubert, & Burack, 2006; Mottron et al., 2007; Zwaigenbaum et al., 2005). Ces comportements sont apparents tôt dans le développement et sont aussi plus fortement associés à l'autisme qu'au développement typique ou à d'autres conditions neurodéveloppementales (Koterba, Leezenbaum, & Iverson, 2014; Leekam et al., 2007; Mottron et al., 2007; Sally Ozonoff et al., 2008). On y retrouve également des intérêts marqués pour certains domaines tels que la littéracie (p.ex. prévalence plus grande de l'hyperlexie chez les enfants autistes), les algorithmes mathématiques (p.ex. calcul de calendrier) ou le domaine de l'électronique et des systèmes mécaniques. Par ailleurs, plusieurs des domaines d'intérêt des personnes autistes dites « savantes » ou avec un talent particulier font appel à l'implication de processus perceptifs (p.ex. musique, dessin). En outre, la fréquence des personnes « savantes » ou avec un talent particulier serait plus grande en autisme (Treffert, 2009). Bien que les intérêts particuliers soient davantage

prégnants et apparents à l'enfance, ceux-ci ont tendance à évoluer et persister à l'adolescence et à l'âge adulte. Le plus grand poids accordé par le DSM-5 (relativement aux anciennes éditions du DSM) au domaine des comportements stéréotypés et intérêts restreints reflète une reconnaissance accrue par la communauté scientifique de son importance et de son implication dans le phénotype autistique.

### **1.2.1 Particularités de la perception visuelle dans l'autisme**

Les comportements atypiques répertoriés au long cours ont aussi été mis en lien avec un traitement particulier au plan perceptif. La perception est généralement organisée et décrite selon trois niveaux faisant référence au type d'information traitée et aux aires corticales impliquées (Cavanagh, 2011). D'abord, le traitement dit de « bas niveau » implique l'extraction et l'analyse des propriétés psychophysiques de l'information (p.ex. l'orientation des traits du stimulus visuel, les contrastes, les fréquences spatiales, etc.) et relève plutôt du fonctionnement des aires primaires du cortex. Le niveau « intermédiaire » relève lui des aires associatives et implique une analyse plus poussée de l'information permettant de combiner différentes caractéristiques de l'objet visuel (ex. perception des contours, ségrégation figure-fond, perception des formes visuelles, détection de patterns visuels). Enfin, le traitement de « haut niveau » ou « supérieur » implique plutôt les régions antérieures du cerveau et une organisation plus complexe sur le plan neuronal permettant une reconnaissance et une interprétation des objets et des scènes visuelles. Les processus supérieurs sont habituellement impliqués lorsqu'il est question de raisonnement et de catégorisation.

Alors que la cognition non autistique est dominée par un biais pour l'information sociale, la cognition autistique se traduit plutôt par une augmentation de l'attention portée aux aspects perceptifs de l'environnement (Mottron & Dawson, 2013). Par exemple, Pierce et al. (2011; 2016) montrent que, déjà à 2 ans, les enfants autistes affichent une absence de préférence pour les stimuli sociaux et un intérêt plus grand pour les formes géométriques (Pierce, Conant, Hazin, Stoner, Desmond, 2011; Pierce

et al., 2016). Qui plus est, la perception en autisme serait plutôt orientée vers un traitement dit local, avec un biais plus important pour la saillance des détails. Elle serait moins influencée par les processus de haut niveau tels que l'analyse globale ou configurationnelle (Wang, Mottron, Peng, Berthiaume, & Dawson, 2007), alors que cette dernière a souvent préséance chez les individus typiques. Les personnes autistes affichent souvent des performances supérieures dans des tâches perceptives de bas niveau et de niveau intermédiaire comparativement aux gens avec un développement typique (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005; Caron, Mottron, Berthiaume, & Dawson, 2006; Kéïta, Mottron, Dawson, & Bertone, 2011; Mottron, Dawson, Soulieres, et al., 2006). Ces forces perceptives semblent se traduire par une discrimination supérieure des propriétés psychophysiques et une sensibilité accrue pour le traitement de l'information dite de « premier ordre » (c.-à-d., information traitée par les aires visuelles primaires ou V1). Par exemple, Bertone et al. (2005) ont démontré un meilleur seuil de discrimination de contraste chez un groupe d'adolescents et d'adultes autistes, comparativement à leurs pairs neurotypiques (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2005). Ces forces perceptives seraient apparentes tôt dans le développement, notamment les différences dans les aires perceptives qui seraient notables avant l'âge de un an (Hazlett et al., 2017).

Par ailleurs, des forces visuospatiales ont été documentées dans une variété de tâches de niveau intermédiaire telles qu'en recherche visuelle, notamment lorsque la cible partage des caractéristiques communes avec les distracteurs (Gliga et al., 2015; Joseph, Keehn, Connolly, Wolfe, & Horowitz, 2009; Keehn, Brenner, Palmer, Lincoln, & Muller, 2008; O'Riordan, Plaisted, Driver, & Baron-Cohen, 2001; Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen, 1998) ou aux figures enchevêtrées alors que les personnes autistes détectent plus rapidement la cible, font moins d'erreurs et se montrent moins influencées par la complexité de la tâche que les sujets neurotypiques (Jolliffe & Baron-Cohen, 1997; Manjaly et al., 2007; Morgan, Maybery, & Durkin, 2003; Shah & Frith, 1983). Les forces relevées aux épreuves visuospatiales se

traduisent non seulement par des performances supérieures comparativement à d'autres types d'habiletés, mais aussi par des résultats fréquemment meilleurs comparativement à ceux de leurs pairs neurotypiques appariés sur le plan des capacités intellectuelles. Ces forces semblent davantage attribuables à de meilleures capacités de discrimination visuelle (p.ex. orientation, couleurs, formes) et à une capacité supérieure à traiter un grand nombre de distracteurs qu'à la mémorisation de la localisation des cibles ou de l'utilisation de stratégies de recherche différentes (Mottron, 2013b). En effet, les personnes autistes seraient en mesure de traiter une plus grande quantité d'information simultanément et afficheraient des champs récepteurs visuels plus larges (Remington, Swettenham, & Lavie, 2012). S'ajoute également une performance supérieure pour la manipulation mentale de l'information, comme dans des épreuves de rotation mentale ou de construction visuospatiale où les personnes autistes semblent plus facilement faire abstraction du contexte global pour traiter les parties locales de l'objet (Caron et al., 2006; Soulieres, Zeffiro, Girard, & Mottron, 2011). Par ailleurs, la performance des autistes se distinguerait non seulement de celles des personnes typiques, mais aussi d'autres populations ayant une condition psychiatrique (Bölte, Holtmann, Poustka, Scheurich, & Schmidt, 2007).

D'autres travaux documentent les forces chez les personnes autistes pour la détection des similarités et la capacité à dégager une régularité dans le matériel (Mottron & Dawson, 2013). Les personnes autistes auraient une propension à détecter les patterns / les isomorphismes et elles auraient une plus grande facilité à établir une correspondance entre différents éléments. En effet, Mottron et al. (2009) montrent que les personnes autistes sont aptes à saisir des structures ou des régularités perceptives et la cognition autistique s'appuierait davantage sur un mécanisme de cartographie véridique (*veridical mapping*), soit la capacité de dégager des patterns complexes et d'établir une correspondance entre différents éléments qui partagent certaines caractéristiques communes. Cette détection des récurrences / reconnaissance des patterns se ferait de manière implicite puisque les personnes autistes ont souvent

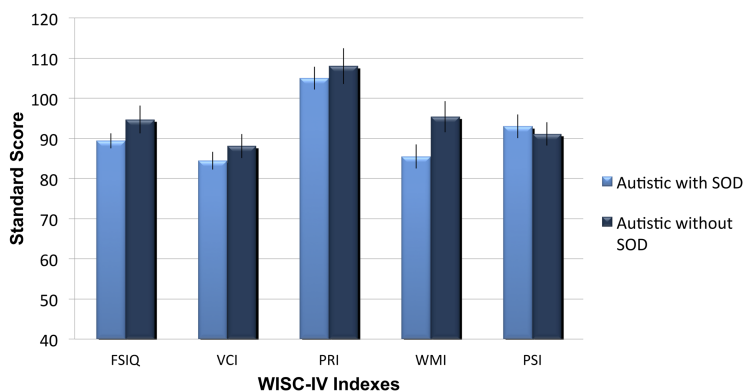
du mal à verbaliser après coup leurs stratégies d'apprentissage (Mottron et al., 2013; Mottron, Dawson, & Soulieres, 2009). C'est le cas, par exemple, des personnes considérées comme savantes dans leur domaine, qu'il s'agisse de calculateurs de calendrier ou d'hyperlexiques; ces individus peuvent difficilement expliquer comment ils sont parvenus à maîtriser leur apprentissage.

Comparativement aux non-autistes, chez les personnes autistes, l'influence des processus de haut niveau entrave moins la perception et celle-ci s'appuie davantage sur une représentation « véridique » des informations (Mottron, Dawson, Soulieres, et al., 2006; Soulieres et al., 2009). Les processus perceptifs seraient plus autonomes à l'égard des processus dits de haut niveau, tels l'influence des contextes et connaissances antérieures, et il y aurait en autisme une moins grande influence modulatrice descendante. D'ailleurs, les personnes autistes ont souvent de meilleures performances dans des tâches qui demandent de faire abstraction du contexte global ou des apriori, comme pour la reproduction de figures géométriques (Ropar & Mitchell, 2002) et de modèles avec blocs (Caron et al., 2006) ou bien encore aux figures enchevêtrées (Jarrold, Gilchrist, & Bender, 2005). L'écart par rapport à la population neurotypique est d'autant plus grand lorsqu'il y a une cohérence perceptive dans le modèle ou l'image (p.ex. tâche des blocs des échelles Wechsler; Caron et al., 2006).

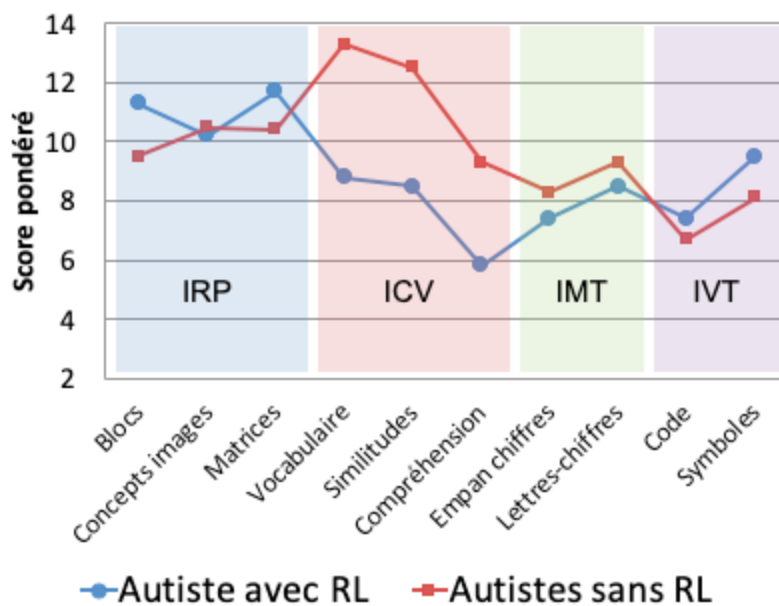
Enfin, il y a peu de consensus quant à l'association des forces perceptives entre elles (p.ex. forces en discrimination visuelle et en discrimination auditive) : certaines études établissant un lien (Caron et al., 2006; Guy, Mottron, Berthiaume, & Bertone, 2016) et d'autres, non (Meilleur, Jelenic, & Mottron, 2015). Quant à l'association des forces perceptives avec la symptomatologie autistique, certains auteurs montrent un lien entre ces deux composantes (Joseph et al., 2009), alors que d'autres proposent une relative indépendance de ces deux catégories de symptômes, voire une influence génétique distincte (Happe, Ronald, & Plomin, 2006).

### **1.2.2 Implication de la perception au sein des processus cognitifs supérieurs en autisme**

L'implication de la perception dans les processus supérieurs (ou de haut niveau) se traduit régulièrement par une hétérogénéité du profil intellectuel avec un écart entre les indices de Compréhension verbale (ICV) et de Raisonnement perceptif (IRP), au profit de ce dernier (Charman et al., 2011; Nader, Jelenic, & Soulières, 2015; Oliveras-Rentas, Kenworthy, Roberson, Martin, & Wallace, 2012) (**Figures 1.1 et 1.2**) alors que des écarts au sein d'un même test sont peu fréquents dans la population typique (Caron et al., 2006; Joseph, Tager-Flusberg, & Lord, 2002). En effet, environ 30 à 50% de la population autistique présente aux épreuves intellectuelles une force relative au plan du raisonnement perceptif (Mayes & Calhoun, 2008; Nader et al., 2015, voir annexe 1) (Figures 1.1 et 1.2), surtout chez les individus qui ont présenté un retard de langage à la jeune enfance. Il n'est pas rare de voir apparaître dans le profil cognitif des personnes autistes des forces relatives et / ou absolues pour la tâche de blocs et de matrices des échelles Wechsler. Ainsi, non seulement les personnes autistes présentent des forces dans des tâches visuelles dites de bas niveau ou intermédiaire, mais elles affichent également des forces relatives, et parfois absolues, au sein de diverses tâches de raisonnement visuel complexe (Caron et al., 2006; Nader et al., 2015; Rafael Oliveras-Rentas, Kenworthy, Roberson, Martin, & Wallace). S'ajoutent également des forces en raisonnement spatial abstrait, où la performance des personnes autistes dépasse celle des non-autistes (Stevenson & Gernsbacher, 2013).

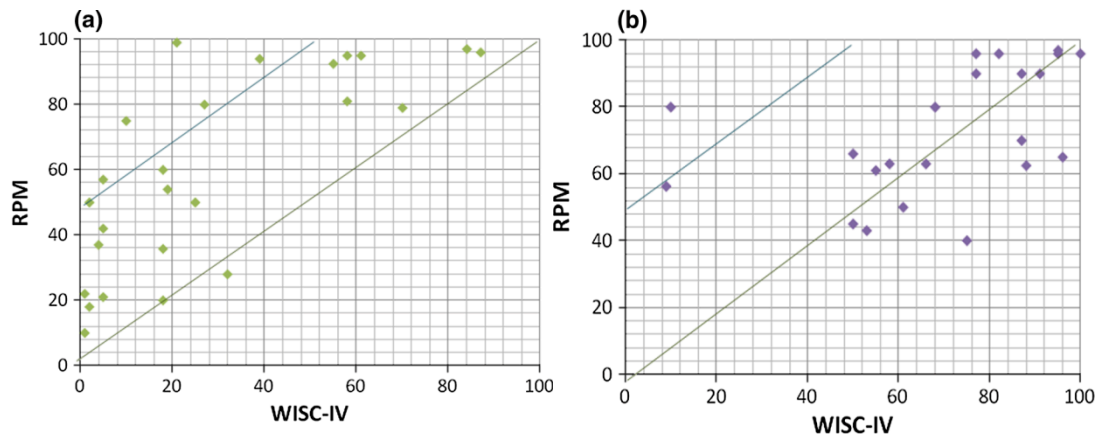


**Figure 1.1.** Profil cognitif au WISC-IV chez des enfants autistes avec (*autistic with SOD*) et sans (*autistic without SOD*) retard de langage. FSIQ : Full Scale IQ; VCI : Verbal Comprehension Index; PRI : Perceptual Reasoning Index; WMI : Working Memory Index; PSI : Processing Speed Index. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard à la moyenne. Tiré de Nader et al., 2015.



**Figure 1.2.** Profil type retrouvé au sein des deux groupes d'enfants autistes évalués à l'aide des échelles de Wechsler pour enfants (WISC-IV). Le trait en bleu représente des enfants autistes avec une histoire de retard de langage, alors que le trait en rouge correspond à des enfants autistes sans retard de langage. Tiré de Nader et al., 2015.

De manière intéressante, il semble que ce soit le quotient intellectuel (QI) non verbal qui soit plus prédictif des comportements adaptatifs (p.ex. autonomie, accès à l'emploi) plutôt que le QI verbal (Howlin, Goode, Hutton, & Rutter, 2004; Stevens et al., 2000), ce qui soulève la question de bien mesurer le potentiel intellectuel des personnes autistes. Par ailleurs, une avancée récente importante dans le domaine de la cognition autistique est l'hétérogénéité retrouvée au sein même des tests mesurant l'intelligence. En autisme, l'évaluation de l'intelligence est beaucoup plus tributaire de l'instrument de mesure utilisé. Selon l'outil employé, des résultats parfois très différents peuvent être retrouvés, pouvant donner lieu à de grands écarts dans la prévalence de déficience intellectuelle au sein de la population autiste (Christensen et al., 2018). Par exemple, Dawson et al., (2007) et Nader et al. (2016, voir annexe 1) ont montré un écart important entre la valeur du QI obtenu à l'aide des échelles Wechsler et celui obtenu avec les matrices de Raven, écart pouvant atteindre jusqu'à 70 rangs centiles pour certains enfants et adultes autistes, sans que cette différence ne soit retrouvée dans la population typique (Dawson, Soulieres, Gernsbacher, & Mottron, 2007; Nader, Courchesne, Dawson, & Soulières, 2016) (**Figure 1.3**). S'ajoutent également la possibilité pour des jeunes autistes décrits comme minimalement-verbaux de réaliser les matrices progressives de Raven (MPR) à un haut niveau (Courchesne, Meilleur, Poulin-Lord, Dawson, & Soulières, 2015) et d'accéder au code-écrit (Ostrolenk, Forgeot d'Arc, Jelenic, Samson, & Mottron, 2017), alors que plusieurs d'entre eux sont considérés comme ayant une déficience intellectuelle. Des écarts ont aussi été retrouvés au sein d'autres outils, tels qu'au *Leiter International Performance Scale* (Roid & Miller, 2011), au *Mullen Scale of Early Learning* (Mullen, 1995) ou au *Stanford-Binet* (Thorndike, Hagen, & Sattler, 1986) (Alvares et al., 2019; Courchesne, Girard, Jacques, & Soulières, 2019; Grondhuis & Mulick, 2013). Il semble donc que les personnes autistes soient plus sensibles à la structure de la tâche pour déployer pleinement leur potentiel cognitif.



**Figure 1.3. Performance (rang centile) des enfants autistes (a) et non-autistes (b) aux Matrices Progressives de Raven et au WISC-IV.** Tirée de : Nader, Courchesne, Dawson et Soulières, 2014. Une performance plus élevée aux Matrices Progressives de Raven caractérise presque l'ensemble du groupe autiste (en vert), alors que la performance des enfants non-autistes est plutôt distribuée autour de la ligne médiane, indiquant des performances beaucoup plus similaires entre les deux tests.

De plus, un lien assez robuste est établi entre les habiletés perceptives et l'intelligence en autisme, association retrouvée à tous les âges et pour l'ensemble du spectre autistique (Courchesne et al., 2015). En effet, plusieurs tâches perceptives sont corrélées à l'intelligence et aux habiletés de raisonnement; toutefois, l'association entre les deux est plus prononcée chez les personnes autistes (Barbeau, Soulières, Dawson, Zeffiro, & Mottron, 2012; Deary, Bell, Bell, Campbell, & Fazal, 2004; Soulières et al., 2009; Soulières, Zeffiro, et al., 2011). Par exemple, la performance à la reproduction de modèles avec blocs est associée avec la performance aux MPR seulement pour les personnes autistes et non chez les personnes typiques (Mottron et al., 2009). Il en est de même pour la performance dans des tâches de rotation mentale qui est liée au QI non verbal seulement chez les personnes autistes (Soulières, Zeffiro, et al., 2011). De plus, certaines capacités perceptives sont fortement liées à l'intelligence, comme la performance dans des tâches d'inspection (Barbeau, Soulières, Dawson, Zeffiro, & Mottron, 2013), de recherche visuelle ou aux figures enchevêtrées, où la force des personnes autistes a maintes fois été documentée (Courchesne et al., 2019; Courchesne et al., 2015; Crespi, 2016).

### **1.3 Corrélats neuronaux d'une cognition différente en autisme**

#### **1.3.1 Particularités anatomiques dans l'autisme**

Plusieurs différences à la fois structurelles et fonctionnelles ont été avancées pour comprendre les particularités retrouvées en autisme. D'abord, la macrocéphalie est retrouvée chez environ 20% de la population autistique (Fombonne, 2000). La circonférence crânienne serait similaire à la naissance, mais montrerait une croissance accélérée dans les premières années de vie, pour reprendre une taille comparable plus tard à l'enfance (Courchesne, Carper, & Akshoomoff, 2003). En effet, le périmètre crânien devient significativement plus élevé avant l'âge de 2 ans et atteint son maximum de différence entre les âges de 2 et 4 ans. Cette croissance accélérée coïnciderait avec une perturbation de la régulation des mécanismes de prolifération et/ou d'élimination des synapses et des neurones. Le cerveau plus volumineux des enfants autistes serait associé à un plus grand nombre de neurones. Le développement de la matière grise et blanche suivrait aussi un parcours différent, mais aurait tendance à se normaliser avec le temps (Kleinhans et al., 2012). La macrocéphalie serait associée aux particularités de la connectivité structurelle et fonctionnelle relevées en autisme (décrites ci-après) (Anagnostou & Taylor, 2011) et pourrait être liée aux particularités perceptives observées dès le jeune âge (Courchesne, 2004; Johnson & Myers, 2007). Une étude récente de Hazlett et al. (2017) montre qu'il y a chez les enfants qui recevront ultérieurement un diagnostic d'autisme une augmentation accrue de la surface corticale entre l'âge de 6 et 12 mois, sans différence pour l'épaisseur corticale, et que l'augmentation la plus significative se trouve dans le gyrus occipital moyen, le cuneus droit et le gyrus lingual droit, trois régions impliquées au plan du traitement de l'information visuelle (Hazlett et al., 2017). Au niveau de la matière grise, on retrouverait également des volumes plus élevés au niveau du lobe frontal, pariétal et temporal, tout comme dans le cervelet,

l'hippocampe et le noyau caudé (Amaral, Schumann, & Nordahl, 2008; Anagnostou & Taylor, 2011; Courchesne, Redcay, & Kennedy, 2004; Maier et al., 2015).

À cela est associée une variété d'atypies microstructurelles, notamment une augmentation plus notable du nombre et de la densité des neurones dans les régions frontales, temporales et cingulaires (Courchesne et al., 2011; Schumann et al., 2010) ainsi que des particularités au plan des minicolonnes apparemment plus nombreuses (Casanova & Trippe, 2009; Casanova, Buxhoeveden, Switala, & Roy, 2002; Casanova et al., 2006), particulièrement chez les jeunes enfants (McKavanagh, Buckley, & Chance, 2015). Au plan du fonctionnement neuronal, on retrouverait des différences à même la structure des neurones telles qu'une augmentation de la synthèse des protéines dendritiques et des modifications dans la structure des fibres axonales (Casanova et al., 2002; Gibbard et al., 2013; McFadden & Minshew, 2013). Il y aurait également une inhibition latérale excessive entre les neurones des colonnes de V1, ce qui accentuerait la saillance figure-fond et serait associé à une plus grande sensibilité des personnes autistes pour le contraste de luminance (Kéïta, Motttron, Dawson, Bertone, 2011).

### **1.3.2 Connectivité structurelle et fonctionnelle dans l'autisme**

Ce rôle accru de la perception dans la cognition autistique a été appuyé par de nombreux travaux en connectivité structurelle et fonctionnelle. Just et son équipe (2004) ont été parmi les premiers chercheurs à montrer une sous-connectivité (structurelle et fonctionnelle) longue distance dans l'autisme, particulièrement au niveau fronto-pariétale, ce qui donne lieu à une moins grande communication des régions cérébrales entre elles (Just, Cherkassky, Keller, Kana, & Minshew, 2007; Just, Cherkassky, Keller, & Minshew, 2004). Depuis, cette sous-connectivité a été observée dans une variété de tâches cognitives et appuyée par une revue systématique d'O'Reilly et al. (2017) montrant une sous-connectivité à la fois intra et inter-hémisphérique pour les connections longues distances, notamment pour les liaisons

fronto-temporales, fronto-pariétales et fronto-striatales (O'Reilly, Lewis, & Elsabbagh, 2017). Cette sous-connectivité pourrait donner lieu à une indépendance fonctionnelle des régions et à une réduction de la synchronisation entre les régions antérieures (frontales, associées aux processus cognitifs dits de haut niveau) et postérieures (processus plutôt perceptifs, dits de bas niveau) du cerveau (Cherkassky, Kana, Keller, & Just, 2006; Just et al., 2007; Just et al., 2004; Kana, Libero, & Moore, 2011; Koshino et al., 2008; Lewis & Elman, 2008; Mottron, Dawson, Soulieres, et al., 2006; Schipul, Keller, & Just, 2011). Cette proposition est consistante avec la mise en évidence d'une diminution de la synchronisation entre les régions corticales antérieures et postérieures observée dans une variété de tâches cognitives réalisées en imagerie (raisonnement, mémoire, catégorisation, cognition sociale, etc.) (Just et al., 2007; Kana, Keller, Cherkassky, Minshew, & Just, 2006, 2009; Schipul et al., 2011). La connectivité fonctionnelle au repos est aussi altérée suggérant par le fait même une organisation cérébrale différente (Cherkassky et al., 2006).

La sous-connectivité longue distance serait aussi accompagnée d'une augmentation de la connectivité locale courte distance (au sein des régions entre elles), surtout observée à même les régions perceptives (Shukla, Keehn, Smylie, & Müller, 2011; Turner, Frost, Linsenhardt, McIlroy, & Muller, 2006) et préfrontales. (Courchesne et al., 2011; Crespi, 2016). Plusieurs études rapportent également une hyperconnectivité entre les régions visuelles et d'autres régions du cerveau (Mizuno, Villalobos, Davies, Dahl, & Muller, 2006). L'augmentation de la connectivité locale a été associée aux capacités supérieures en discrimination, qu'elles soient auditives, visuelles ou tactiles (Crespi, 2016). En somme, cette connectivité cérébrale atypique longue et courte distance pourrait être à la base des sur et sous-fonctionnements cognitifs caractéristiques de l'autisme (Belmonte et al., 2004). Puisque les fonctions cognitives complexes reposent sur l'intégration et la coordination de plusieurs régions cérébrales entre elles, celles-ci seraient plus sujettes à se montrer fragilisées en autisme (Keller, Kana, & Just, 2007).

S'ajoutent également plusieurs résultats en imagerie fonctionnelle qui montrent l'utilisation de processus différents par les personnes autistes et non-autistes pour résoudre une variété de tâches simples ou complexes. En effet, il a été montré que pour diverses tâches cognitives, les personnes autistes tendent à recruter davantage les régions cérébrales postérieures, associées plutôt à la perception, à l'expertise visuelle de même qu'à l'élaboration et la manipulation d'images mentales. En revanche, les personnes non-autistes sollicitent plus largement les régions antérieures, notamment les régions frontales et préfrontales associées aux fonctions exécutives, aux stratégies verbales et à la capacité de générer des hypothèses (Mottron et al., 2009). Par exemple, la complétion des MPR est associée, chez les personnes autistes, à une plus grande sollicitation des aires visuelles extrastriées et à une réduction de l'implication des régions préfrontales latérales et pariétales médianes postérieures (Soulières et al., 2009), ce qui suggère l'utilisation de stratégies plutôt visuo-perceptives pour résoudre la tâche. Cette plus grande implication des aires perceptives n'est pas seulement retrouvée dans des tâches de raisonnement (Sahyoun, Belliveau, Soulières, Schwartz, & Mody, 2010; Sahyoun, Soulières, Belliveau, Mottron, & Mody, 2009; Simard, Luck, Mottron, Zeffiro, & Soulières, 2015), mais au sein d'une variété de tâches cognitives; notamment, en recherche visuelle (Keehn et al., 2008; Manjaly et al., 2007), aux figures enchevêtrées (Damarla et al., 2010; Manjaly et al., 2007), dans des tâches de mémoire de travail (Koshino et al., 2005), de compréhension du langage oral (Kana et al., 2006) et écrit (Ostrolenk et al., 2017). De manière intéressante, la connectivité fonctionnelle entre le lobe occipital et les autres régions cérébrales augmente davantage chez les autistes que chez les non-autistes lorsque le niveau de complexité de la tâche s'accroît (p.ex. en rotation mentale, McGrath et al., 2012; en raisonnement, Simard et al., 2015).

Enfin, cette plus grande place de la perception au sein de la cognition autistique s'est révélée dans une méta-analyse de 26 études comparant des personnes autistes et non-autistes sur une variété de tâches cognitives (p.ex. tâches de langage, de résolution de

problèmes, de raisonnement) impliquant du matériel visuel (p.ex. visages, mots, objets). Les résultats montrent une sous-activation des régions frontales chez les autistes (liées aux stratégies exécutives et verbales) et une plus grande implication des régions temporales, occipitales et pariétales (liées aux stratégies visuo-spatiales) (Samson, Mottron, Soulieres, & Zeffiro, 2011), et ce peu importe le type de tâches ou d'objets à l'étude. En somme, on retrouve une plus grande implication du système visuel et une diminution de l'implication des aires frontales dans l'autisme, sans égard aux tâches réalisées, et une tendance pour un traitement plus autonome ou moins dépendant des systèmes corticaux antérieurs.

#### **1.4 Modèles cognitifs de l'autisme**

Plusieurs théories ont été mises de l'avant pour expliquer les particularités sociales, perceptives et cognitives de l'autisme. Dans les années 90, Ozonoff et coll. (1991) ont proposé le modèle d'un « dysfonctionnement exécutif » qui stipulait que plusieurs des symptômes retrouvés en autisme s'apparentaient à ceux retrouvés chez des patients atteints de lésions frontales et pouvaient, en l'occurrence, être liés à un déficit des fonctions exécutives (initiative, flexibilité, inhibition, planification, fluence, résolution de problèmes, jugement) (Ozonoff, Pennington, & Rogers, 1991; Russell, 1997). Par exemple, des études montrent une association entre le fonctionnement exécutif et les théories de l'esprit (Russell, Saltmarsh, & Hill, 1999) ou entre les fonctions exécutives et la tendance aux comportements restreints et répétitifs (Rajendran & Mitchell, 2007). Or, les études ultérieures ont illustré, d'une part, que ce ne sont pas toutes les personnes autistes qui présentent des lacunes sur le plan des fonctions exécutives et, d'autre part, que le profil de dysfonctionnement exécutif est très variable d'un individu autiste à l'autre (p.ex. un enfant peut afficher des difficultés plus franches au plan de la mémoire de travail et du contrôle de l'inhibition, alors qu'un autre présente des défis plus importants pour la flexibilité cognitive).

Enfin, les mêmes déficits exécutifs sont également présents au sein d'autres populations cliniques (p.ex. dans le trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité) (Rajendran & Mitchell, 2007; Russell et al., 1999). Par ailleurs, une méta-analyse récente sur la question des fonctions exécutives en autisme relève une certaine variabilité dans les résultats entre différents instruments mesurant une même fonction (Lai et al., 2017).

D'autres auteurs ont proposé la théorie d'un déficit du traitement complexe des informations (Minshew, Goldstein, & Siegel, 1997; Minshew, Meyer, & Goldstein, 2002) référant à des déficits des processus cognitifs dits supérieurs, que ceux-ci soient moteurs, langagiers ou perceptuels. Les auteurs proposent des faiblesses chez les personnes autistes lorsqu'elles doivent recourir à des processus complexes, tels qu'un plus haut niveau d'abstraction ou la formation de concepts, pour résoudre une tâche. Le déficit serait croissant avec la complexité du matériel proposé. Cette théorie est également conforme avec la sous-connectivité longue distance relevée dans l'autisme (Just et al., 2004), puisque les processus cognitifs supérieurs dépendent habituellement de l'intégrité des faisceaux longue distance. Pourtant, les personnes autistes ont montré des performances comparables aux non-autistes dans plusieurs tâches considérées comme complexes, parfois même avec une supériorité relativement au groupe contrôle (Stevenson & Gernsbacher, 2013).

En revanche, bien que les personnes autistes se montrent capables de prendre part à des tâches cognitives complexes, il demeure qu'elles ont tendance à former des représentations perceptuelles dites « hyper-spécifiques » et que celles-ci rendent plus difficiles la généralisation des apprentissages. Les représentations hyper-spécifiques réfèrent à l'idée que les représentations en autisme seraient plus détaillées et liées à un événement précis, réduisant la capacité à repérer la similarité entre différents objets / situations, nuisant par le fait même à la généralisation. Les recherches sur les faiblesses en cohérence centrale (Happé & Frith, 2006), la réduction de la perception

des similarités (Plaisted et al., 1998) et le surfonctionnement perceptif (Mottron & Burack, 2001) ont contribué à démontrer la perception détaillée et la difficulté pour les personnes autistes à regrouper l'information sous une même entité.

D'abord, Plaisted et al (2001) ont proposé qu'une diminution de la perception des similarités entre stimuli / situations (*reduced perceptual similarity*) chez les autistes interfère dans leur capacité à former des concepts (Plaisted et al., 1998) et à généraliser leurs apprentissages (*reduced generalization theory*). Cette théorie se base sur les difficultés apparentes de généralisation chez les personnes autistes et sur leur plus grande capacité à détecter des petits changements dans le matériel ou à discriminer des stimuli en apparence très similaires (Falter, Grant, & Davis, 2010). Les auteurs proposent que les forces notées sur le plan des capacités de discrimination font en sorte que les stimuli sont plus susceptibles d'être vus comme différents plutôt que similaires et que cette diminution de la perception des similarités contribuerait aux difficultés de catégorisation et de généralisation, puisque les événements ou les objets ont plutôt tendance à être perçus comme différents les uns des autres (Plaisted, 2001). Or, plusieurs études en catégorisation ont montré que les autistes sont tout aussi capables que les non-autistes de reconnaître la récurrence parmi plusieurs items et de les regrouper sous forme de catégories selon leur similarités (Bott, Brock, Brockdorff, Boucher, & Lamberts, 2006; Soulieres, Mottron, Giguere, & Larochelle, 2011).

Ensuite, le modèle de la « cohérence centrale réduite » (Frith, 1989; Happe & Frith, 2006) proposait initialement un traitement atypique de l'information en autisme, focalisé sur le détail, segmenté et avec un biais pour les détails, au détriment de la tendance naturelle d'un traitement global et d'ensemble. Ce style cognitif particulier chez la personne autiste est caractérisé par une incapacité à considérer la vue d'ensemble / le contexte. Ce modèle ne met pas tant à l'avant-plan les forces perceptives des personnes autistes, mais plutôt la difficulté à considérer la forme

globale et à élaborer des représentations d'ensemble. Cette diminution de la capacité à traiter l'information globale résulterait en une supériorité dans des tâches où il est avantageux de considérer les éléments simples (p.ex. figures enchevêtrées, recherche visuelle). Les faiblesses en cohérence centrale auraient été associées aux intérêts restreints et à la résistance aux changements (Happé, Briskman, & Frith, 2001). Par ailleurs, ce modèle a ajusté sa position puisque des études subséquentes ont montré que les personnes autistes sont en mesure, au même titre que les sujets contrôles, de favoriser un traitement global de l'information lorsque cette stratégie devient essentielle pour la réussite de la tâche (Caron et al., 2006; Lopez, Donnelly, & Hadwin, 2004; Mottron, Burack, Iarocci, Belleville, & Enns, 2003; Wang et al., 2007). Conséquemment, il semble maintenant y avoir un certain consensus au sein de la communauté scientifique sur la « préférence » ou le « biais » des personnes autistes pour le traitement local, plutôt qu'un déficit du traitement global.

Pour sa part, le modèle du surfonctionnement perceptif (*enhanced perceptual functioning; EPF*) (Mottron & Burack, 2001; Mottron, Dawson, Soulières, et al., 2006) propose plutôt à la fois (1) une supériorité du traitement perceptif de bas niveau (p.ex. discrimination visuelle) et de niveau intermédiaire (p.ex. détection de patterns), tant en modalité visuelle qu'auditive; (2) une préférence pour le traitement local des stimuli perceptifs, mais tout en étant en mesure de traiter l'information globalement lorsque cela s'avère nécessaire ou plus « économique » pour résoudre la tâche; (3) une sur-implication des régions perceptives au sein de la cognition autistique, et ce tant pour des tâches sociales (p.ex. discrimination des émotions) que non-sociales (p.ex. raisonnement, lecture); (4) une certaine dissociation entre la complexité du réseau neuronal impliqué et la complexité de la tâche, c'est-à-dire que la sollicitation neuronale pour résoudre une tâche n'est pas toujours proportionnelle à la complexité de la tâche en soit; et (5) une relative autonomie des processus perceptifs vis-à-vis des processus cognitifs dits « supérieurs » ou de « haut niveau » (connaissances antérieures d'une situation). De ce fait, pour les personnes autistes, le traitement local

est favorisé et le traitement global devient « optionnel », mais demeure possible lorsque celui-ci est essentiel pour la réalisation de la tâche (Iarocci, Burack, Shore, Mottron, & Enns, 2006; Mottron et al., 2003). En définitive, plutôt que de proposer un déficit du traitement global, ce modèle met plutôt l'emphasis sur l'activité et la performance plus grande des systèmes perceptifs dans la réalisation d'une variété de tâches et la possibilité pour les personnes autistes de passer d'un traitement local à global, tout en favorisant le premier. La perception des personnes autistes serait moins influencée par les processus descendants (p.ex. connaissances antérieures; contrôle exécutif), tout en montrant un traitement supérieur des dimensions visuelles élémentaires (détails). Ce modèle est cohérent avec une augmentation du poids accordé aux particularités perceptives dans le DSM-5 (p.ex. intérêts sensoriels inhabituels).

### **1.5 La question de l'apprentissage en autisme**

La plupart des programmes d'intervention offerts actuellement aux personnes autistes s'appuient sur une théorie et une trajectoire d'apprentissage développées chez les personnes neurotypiques. Ces interventions structurées, ou connues comme les approches d'intervention comportementale intensive (ICI) en autisme, dérivé du terme *Applied Behavior Analysis* en anglais, se fondent sur la décomposition et la simplification de la tâche en de plus simples composants, de même que sur la répétition et l'utilisation du renforcement pour solliciter les comportements souhaités. En effet, les interventions actuelles favorisent plutôt l'intervention précoce et l'intensité (plusieurs heures par semaine), en proposant une tâche simplifiée (p.ex. décortiquer les étapes, réduire la quantité d'informations) qui sera apprise avec répétition et renforcement.

La rétroaction et la présentation de la tâche semblent deux aspects d'importance pour l'apprentissage en autisme. D'une part, l'apprentissage chez les neurotypiques

s'appuie sur l'idée que la conséquence d'un comportement augmente ou diminue la probabilité que celui-ci se reproduise dans des conditions similaires (modèle d'apprentissage du conditionnement opérant, Honig et Staddon, 1977). Puisque l'utilisation du renforcement a montré au préalable ses effets positifs sur l'acquisition d'une variété de comportements liés à la communication et aux interactions sociales non seulement auprès de la population typique, mais aussi chez diverses populations cliniques, l'utilisation du renforcement a été une des composantes constitutives du cadre de référence pour une intervention structurée auprès des personnes autistes (Dawson & Burner, 2011; Virués-Ortega, 2010).

D'autre part, il apparaissait naturel de réduire et simplifier la présentation des tâches auprès des enfants autistes puisque ceux-ci ont tendance à porter leur attention sur des stimuli jugés non pertinents (Lovaas, Koegel, & Schreibman, 1979), sans oublier que ce sont des jeunes qui présentent régulièrement des difficultés de modulation sensorielle entraînant une surcharge et une hyperactivité aux stimuli environnants (p.ex. sensibilité aux bruits ambiants, aux informations visuelles) (Ashburner, Ziviani, & Rodger, 2008; Baranek, Boyd, Poe, David, & Watson, 2007). Les particularités sensorielles, notamment les hyperréactivités et le fait que les individus se sentent souvent inconfortables dans des environnements riches en stimulation ont traditionnellement porté à croire que les personnes autistes apprennent mieux dans un environnement épuré d'informations. De plus, bien qu'il y ait quelques études sur l'efficacité de la rétroaction en autisme, il y a très peu de travaux sur le rôle même de la manière de présenter le matériel dans une situation d'apprentissage.

### **1.5.1 Style d'apprentissage en autisme : similaire ou atypique?**

Plusieurs indices laissent croire que les mécanismes d'apprentissage des personnes autistes diffèrent de ceux des enfants typiques. Déjà Kanner (1943) observait des particularités au plan de l'apprentissage chez les enfants autistes, notamment leur grande capacité à mémoriser des éléments spécifiques, tout comme une difficulté à

généraliser leurs acquisitions. Dans sa description d'un enfant autiste, il indiquait *“He had an unusual memory for faces and names, knew the names of a great number of houses, but despite his good memory, he seemed unable to generalize, transfer an expression to another similar object”* (Kanner, 1943). En effet, certains enfants font très peu d'apprentissages dans des situations d'enseignement formel avec renforcement, mais peuvent se montrer surprenants lorsqu'ils apprennent à lire spontanément. L'hyperlexie, fortement associée à l'autisme, est l'une des illustrations que l'apprentissage semble transiger par des mécanismes différents chez les enfants autistes. Ces enfants sont en mesure de décoder très tôt, souvent entre les âges de 2 et 3 ans, les patrons de lecture, et parfois avant même que le langage oral ne se soit développé. Des études en imagerie montrent qu'ils utilisent davantage les régions perceptives associées au traitement des formes que les régions associées au langage pour reconnaître le code écrit (Ostrolenk et al., 2017). Par ailleurs, lorsqu'on porte attention à la nature des intérêts considérés comme restreints chez les personnes autistes, on constate que plusieurs d'entre elles montrent une facilité pour repérer les structures récurrentes dans le matériel.

D'autres enfants ont une grande difficulté à généraliser ce qu'ils ont appris dans un contexte à diverses situations. En effet, la propension à la routine, la résistance au changement, les conduites rigides et les intérêts parfois limités font souvent partie du tableau clinique de la personne autiste. Ces particularités sont souvent corolaires d'un profil neuropsychologique qui met à l'avant-plan des difficultés de souplesse et flexibilité cognitive (Hill, 2004; Panerai, Tasca, Ferri, Genitori D'Arrigo, & Elia, 2014), ce qui a été corroboré par les résultats de quelques méta-analyses sur la question (Demetriou et al., 2018; Lai et al., 2017). Ces faiblesses se traduisent de différentes façons, que ce soit par une persistance à donner la même réponse, par des difficultés à modifier le stimulus auquel porter son attention (p.ex. au *Wisconsin Card Sorting Test – WCST*) (Hill, 2004; Memari et al., 2013; Russo et al., 2007) ou par une difficulté à généraliser les apprentissages dans de nouveaux contextes (Motttron,

Dawson, Soulieres, et al., 2006; Plaisted et al., 1998). Par exemple, des études ont montré que les personnes autistes généralisent plus difficilement que les enfants au développement typique les apprentissages réalisés dans les programmes d'habiletés sociales (Ozonoff & Miller, 1995; Swettenham, 1996). De manière intéressante, les déficits exécutifs semblent beaucoup plus liés aux faiblesses en communication et en interaction sociale qu'aux comportements stéréotypés et intérêts restreints (Charman et al., 2011; Ozonoff et al., 2004).

### **1.5.2 Place de la catégorisation dans l'apprentissage**

L'apprentissage repose sur la capacité à organiser l'information en catégories et à former des concepts, permettant de généraliser ce qui est appris dans un contexte à une nouvelle situation. Les processus de catégorisation jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement humain et sont essentiels pour l'apprentissage de nouvelles connaissances, qu'il s'agisse d'habiletés langagières, motrices ou sociales. En fait, regrouper sous la même catégorie des éléments partageant certaines similitudes ou caractéristiques communes, soit conceptuelles ou perceptives, facilite et structure l'organisation des connaissances tout en réduisant les demandes sur le plan mnésique. La catégorisation permet d'éviter de « mémoriser » chaque exemplaire / expérience et de reconnaître comme membre de la catégorie un élément qui n'a jamais été rencontré au préalable. La catégorisation est donc un processus cognitif qui permet d'organiser l'information sous forme de concepts et de les utiliser lorsqu'une nouvelle information se présente. La catégorisation arrive tôt dans le développement de l'enfant, répondant au besoin d'organiser les expériences et faciliter le traitement de nouvelles informations. Plusieurs catégories de stimuli sont innées, mais la plupart auront besoin d'être apprises au cours de la vie (Roth & Karni, 2012).

Différentes théories ont successivement expliqué l'appartenance d'un élément spécifique à une catégorie par différents principes : soit un ensemble de règles (Bruner, Goodnow, & George, 1956; Smith, Langston, & Nisbett, 1992), la

mémorisation d'exemplaires spécifiques (Medin & Schaffer, 1978; Nosofsky & Johansen, 2000; D. J. Smith & Minda, 2000) ou le principe de la ressemblance familiale (Rosch & Mervis, 1975), c'est-à-dire de la similarité ou du nombre d'attributs qu'un exemplaire partage avec les autres membres de la catégorie. Selon cette dernière théorie, la catégorie peut être représentée par un prototype qui est considéré comme le meilleur représentant de sa catégorie et se définit par la moyenne des caractéristiques des membres de la catégorie (Rosch, 1999; Rosch & Mervis, 1975). L'estimation de la similarité peut alors se faire soit en comparant un exemplaire avec un prototype (tendance centrale) ou bien à un ensemble d'exemplaires. La notion de prototype a été utilisée dans plusieurs études puisqu'elle permet de vérifier si une personne parvient à abstraire une représentation moyenne de la catégorie à partir d'une série d'exemplaires de la même catégorie. De manière expérimentale, on peut mesurer la capacité d'un sujet à catégoriser les informations de deux manières : soit par *l'effet de prototype* alors que les sujets classent plus facilement le prototype, jamais encore rencontré, par rapport à des items vus antérieurement; de même que par des tâches de *reconnaissance* (le participant est appelé à classer des items dans l'une ou l'autre des catégories).

### **1.5.3 Particularités de la catégorisation en autisme**

Puisque l'apprentissage est fortement lié à la catégorisation et que celle-ci est, du moins dans le développement typique, tributaire d'une bonne communication entre les régions frontales et postérieures, la capacité à former des catégories a été proposée comme un élément central dans les difficultés d'apprentissages relevées chez les personnes autistes. Déjà, Klinger et Dawson (1995) ainsi que Plaisted, O'Riordan et Baron-Cohen (1998) proposaient que la difficulté à générer des catégories pouvait être à la base des comportements répétitifs ou des inconforts face au changement retrouvés chez cette population. Les personnes autistes semblent moins sensibles à l'interférence en cours d'apprentissage, mais en contrepartie, elles présentent plus de

difficulté pour généraliser les associations ou réponses apprises antérieurement à de nouvelles situations (Minshew et al., 2002; Mottron, Belleville, Stip, & Morasse, 1998; Neisser, 1998; Plaisted et al., 1998). Minshew, Meyer et Goldstein (2002) ont avancé que les personnes autistes forment leurs concepts à un niveau plus bas et concret, basés sur moins d'éléments, ce qui limite leur généralisation dans divers contextes et contribue au manque de souplesse observé chez cette population (Bölte, Dziobek, & Poustka, 2009).

Les premiers travaux s'intéressant au processus de catégorisation chez les personnes autistes ont d'abord cherché à savoir si les personnes autistes étaient en mesure de catégoriser/classer l'information selon différents critères (p.ex. selon la couleur, la forme ou certains aspects fonctionnels) (Tager-Flusberg, 1985a; Ungerer & Sigman, 1987). Ces études montraient la possibilité pour les personnes autistes d'apprendre de manière comparable aux sujets contrôles lorsque : (1) la catégorisation se basait sur un seul élément (ex. : couleur, forme); (2) se faisait selon des catégories simples (p. ex. : bateaux, oiseaux, nourriture, outils) (Tager-Flusberg, 1985a, 1985b); ou (3) s'appuyait sur l'utilisation de règles explicites (Klinger & Dawson, 2001). Des résultats divergents ont ensuite émergé de la recherche quant à l'apprentissage de catégories plus complexes. D'une part, certaines études proposent des déficits, comme une plus faible tendance à reconnaître le prototype d'une catégorie ou à abstraire une catégorie (Church et al., 2010; Gastgeb, Wilkinson, Minshew, & Strauss, 2011; Gastgeb, Dundas, Minshew, & Strauss, 2012; Klinger & Dawson, 2001), allant dans le sens d'une diminution de la perception de la ressemblance et vers le développement de représentations dites « hyperspécifiques ». D'autre part, une série d'études montre des performances tout à fait comparables aux sujets contrôles (Bott et al., 2006; Froehlich et al., 2012; Molesworth, Bowler, & Hampton, 2005, 2008; Soulieres, Mottron, et al., 2011; Vladusich, Olu-Lafe, Kim, Tager-Flusberg, & Grossberg, 2010), suggérant plutôt que l'apprentissage de catégories est possible et ne se base pas uniquement sur une mémorisation explicite d'exemplaires. Le portrait

variable des résultats est compliqué par de nombreuses différences méthodologiques entre les études à la fois au niveau de la variabilité des sujets (p.ex. âge, profil cognitif, présence ou non de DI dans l'échantillon) qu'aux tâches utilisées (p.ex. paradigme utilisé, manière de présenter les consignes ou de poser les questions, type de stimuli utilisés) (Motttron, Dawson, Soulieres, et al., 2006; Naigles, Kelley, Troyb, & Fein, 2013; Samson, Motttron, Jemel, Belin, & Ciocca, 2006). Néanmoins, il ressort que les personnes autistes semblent en mesure d'apprendre et de former des catégories, à un niveau parfois complexe, bien que des différences soient répertoriées dans les processus menant à leur élaboration. Puisque la rétroaction et la présentation du matériel en cours d'apprentissage se distinguent comme deux aspects d'importance pour l'apprentissage en autisme, ceux-ci seront davantage explorés dans la présente thèse.

#### **1.5.4 La question du matériel à apprendre**

Les études récentes en catégorisation démontrent une plus grande sensibilité chez les personnes autistes face au matériel à apprendre. En fait, la qualité et le niveau d'apprentissage dans les tâches de catégorisation sembleraient davantage tributaires du matériel didactique utilisé.

**Nature de l'information à apprendre.** D'abord, le niveau de complexité du matériel à organiser en catégories aurait une influence sur la performance des personnes autistes à cette tâche (Rutherford & McIntosh, 2007; Schipul, Williams, Keller, Minshew, & Just, 2011). Il serait plus facile pour les personnes autistes d'organiser l'information à partir de critères concrets qu'abstraits. Par exemple, il est plus difficile pour les personnes autistes de rassembler de l'information si les similitudes sont moins apparentes sur le plan perceptuel ou si la catégorie requiert un plus haut niveau d'abstraction (Minshew et al., 2002). Notamment, les personnes autistes favorisent davantage l'utilisation d'indices perceptifs (p.ex. indices spatiaux) au détriment d'autres types d'indices, tels que des indices sémantiques (p.ex. identité

d'objets) (Travers et al., 2013). Ensuite, le niveau de typicité des items à classer est également un facteur interférant dans la facilité à organiser le matériel en catégories pour les personnes autistes (McGonigle-Chalmers & Alderson-Day, 2010). La typicité réfère à la notion de représentativité, c'est-à-dire à quel point un exemplaire est représentatif de sa catégorie (Rosch, 1973). Certains items sont très représentatifs de leur catégorie, alors que d'autres le sont très peu et sont plutôt décrits comme atypiques. Lorsqu'une décision doit être prise sur l'appartenance d'un exemplaire à une catégorie, les propriétés n'ont pas toutes le même poids et certaines caractéristiques semblent avoir plus d'importance que d'autres (p.ex. le fait de voler pour la catégorie « oiseau ») (Cordier, 1986). Bien que tous les sujets, y compris les personnes neurotypiques, prennent plus de temps pour classer des exemplaires atypiques s'éloignant du prototype d'une catégorie (p.ex. un oiseau qui ne vole pas), cet effet est plus important chez les personnes autistes, ce qui se traduit par un temps de réponse plus long et une plus faible inclusion des items atypiques dans la catégorie (Gastgeb, Strauss, & Minshew, 2006; Soulieres, Mottron, et al., 2011). Les catégories formées seraient conséquemment plus étroites en termes d'éléments regroupés (moins d'items par catégorie) et plus concrètes ou rapprochées des éléments réels. Les personnes autistes généraliseraient donc moins les catégories apprises antérieurement à de nouveaux stimuli que les personnes non-autistes (Froehlich et al., 2012), particulièrement si ces nouveaux stimuli s'éloignent du prototype central. Néanmoins, ceci est mis en doute par quelques études qui montrent que la généralisation de l'apprentissage est comparable pour les personnes autistes à celle du groupe contrôle (Bott et al., 2006). Ceci dit, les personnes autistes seraient plus sensibles à la distorsion des items et à la diminution de la similarité entre eux, traduisant peut-être une plus grande sensibilité à la fréquence de l'occurrence des membres d'une catégorie (Ellawadi, Fein, & Naigles, 2017; Strauss et al., 2012).

**Sélection des critères pour catégoriser l'information.** Les personnes autistes s'appuieraient sur un nombre plus restreint d'attributs et prendraient leur décision en

se basant sur moins de critères que les contrôles lors de l'apprentissage de nouvelles catégories, que celles-ci réfèrent à du matériel social ou non (Bott et al., 2006; Edwards, Perlman, & Reed, 2012; Ropar & Peebles, 2007; Soulieres, Mottron, et al., 2011). Par exemple, lors de la catégorisation de visages avec différentes expressions faciales, les personnes autistes utilisent davantage une stratégie basée sur des règles et se concentrent sur certains éléments (p.ex. la position de la bouche) plutôt qu'un ensemble de caractéristiques (Bellebaum, Brodmann, & Thoma, 2013; Goldstein, Naglieri, & Ozonoff, 2008). De plus, face à de l'information complexe, elles auraient tendance à réduire le nombre de dimensions prises en compte et utiliseraient spontanément des critères concrets plutôt qu'abstraits pour l'organiser (Edwards et al., 2012; Minshew et al., 2002; Ropar & Peebles, 2007). Edwards et al. (2012) montrent que si les items à classer se complexifient, tant les autistes que les non-autistes tendent à être plus « spécifiques » et à baser leurs catégories sur moins d'éléments. Toutefois, pour des items considérés plus faciles à catégoriser, une proportion plus grande d'enfants autistes n'utilise qu'une seule dimension pour classer l'information. En outre, les personnes autistes se baseraient sur des critères différents pour regrouper les éléments sous une même catégorie. Ce qui est considéré comme similaire pourrait différer entre les personnes autistes et non-autistes (Froehlich et al., 2012); les premières pourraient avoir tendance à regrouper les éléments selon des critères idiosyncratiques (Gaigg, Gardiner, & Bowler, 2008). Les auteurs proposent que ceci puisse contribuer au délai d'apprentissage et aux lacunes en généralisation observés chez les personnes autistes.

**Délai d'apprentissage et nécessité d'être exposé à une plus grande quantité d'informations.** L'apprentissage d'une nouvelle catégorie chez les personnes autistes pourrait être plus lent et nécessiter une plus grande exposition à différents exemplaires d'une même catégorie. Une série d'études montre que les personnes autistes ont besoin de plus d'entraînement lors de l'apprentissage de nouvelles catégories, soit d'être exposées à une plus grande quantité d'items pour que leur

apprentissage rejoint le même seuil que celui du groupe contrôle (Bott et al., 2006; Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002b; Schipul et al., 2011; Schipul & Just, 2016; Solomon, Smith, Frank, Ly, & Carter, 2011; Soulières, Mottron, Giguère, & Larochelle, 2011; Vladusich et al., 2010). Il semble cependant que ce ne soit pas toujours le cas puisque, dans certains contextes, autistes et non-autistes montrent des courbes d'apprentissages similaires (Nemeth et al., 2010). De plus, certains enfants autistes peuvent montrer un intérêt marqué pour une catégorie spécifique dans laquelle ils deviennent particulièrement rapides à catégoriser les items (Frith, 2003). Enfin, il se pourrait que le développement des habiletés de catégorisation suive une trajectoire différente chez les personnes autistes avec une amélioration plus tardive de leur capacité à traiter les stimuli atypiques (Gastgeb et al., 2006).

**Diminution de l'influence des catégories.** L'influence des processus supérieurs (contexte, connaissances antérieures, catégories, etc.) sur le traitement de nouvelles informations serait diminué (Happe & Frith, 2006; Ropar, Mitchell, & Scheppard, 2008) ou optionnel en autisme (Dawson, Mottron, & Gernsbacher, 2008; Mottron, Dawson, Soulières, et al., 2006; Schipul et al., 2011; Soulières, Mottron, et al., 2011; Soulières, Mottron, Saumier, & Larochelle, 2007) avec une plus grande utilisation de stratégies perceptives pour compléter la tâche. Une réduction de l'influence descendante des catégories a été relevée dans une variété de tâches, que ce soit (1) en fluence verbale où la supériorité des indices sémantiques sur les indices phonétiques n'est pas observée chez les personnes autistes (Minshew, Muenz, Goldstein, & Payton, 1992; Mottron, Morasse, & Belleville, 2001), (2) en mémoire alors qu'elles ont moins tendance à faire des regroupement sémantiques lors des rappels (Beverdors, Narayanan, Hillier, & Hughes, 2007; Bowler, Matthews, & Gardiner, 1997; Gaigg et al., 2008; Minshew & Goldstein, 1993; Mottron & Burack, 2001; Tager-Flusberg, 1991) ou (3) dans diverses tâches d'abstraction / résolution de problèmes comme à la tâche des 20 questions (Alderson-Day & McGonigle-Chalmers, 2011). La diminution de l'influence descendante est aussi trouvée dans des

tâches de discrimination où les sujets neurotypiques ont tendance à discriminer plus facilement deux objets de deux catégories différentes plutôt que deux objets dans la même catégorie. Chez les personnes autistes, il y a moins d'influence des catégories apprises sur la discrimination de nouveaux items; la performance ne change pas selon que les objets appartiennent ou non à la même catégorie (Mitchell, Mottron, Soulieres, & Ropar, 2010; Soulieres et al., 2007).

### **1.5.5 La question de la rétroaction dans l'apprentissage**

#### **1.5.5.1 Rétroaction : Rôle du renforcement dans l'apprentissage**

Le striatum ventral (incluant le noyau accumbens) et l'aire tegmentaire ventrale jouent un rôle important dans le traitement du renforcement et dans l'apprentissage par essai-erreur. Dans le développement typique, la rétroaction reçue en cours d'apprentissage sert d'opportunité pour améliorer la performance puisqu'il y a une mise à jour de l'apprentissage en fonction de la rétroaction reçue. Les ganglions de la base sont impliqués dans cette « relecture » de l'apprentissage grâce aux changements dans les synapses des neurones dopaminergiques cortico-striataux (Shohamy et al., 2004). Les projections cortico-striatales sont importantes en catégorisation, surtout en début de tâche lorsque l'apprentissage est plus dépendant de la rétroaction (Seger, 2008).

La majorité des études qui se sont penchées sur le rôle de la rétroaction en cours d'apprentissage s'inscrivent dans le contexte de la *théorie de la motivation sociale* qui avance qu'il y a en autisme une diminution de la valeur accordée aux stimuli sociaux. En effet, la plupart des études effectuées s'intéressent au rôle du renforcement dans l'apprentissage et compare la réponse des participants autistes et non-autistes face à un renforcement social (p.ex. applaudissement, félicitations) ou non-social (p.ex. monétaire). Bien que la littérature dans ce domaine soit relativement nouvelle et qu'il n'y ait pas nécessairement consensus, une série d'études montre que

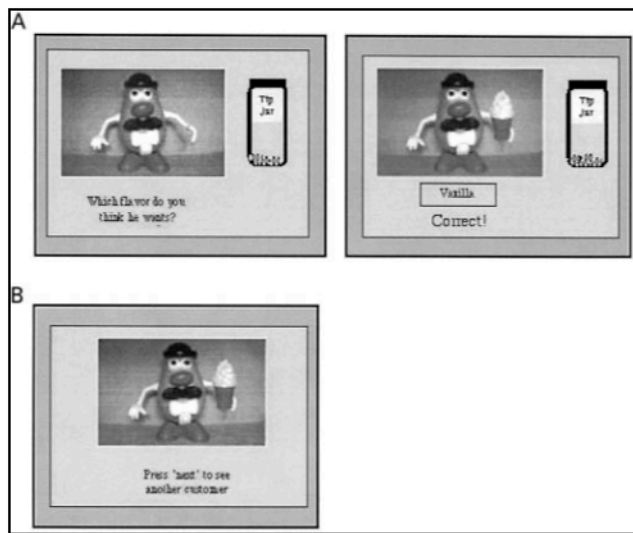
l'activation des patrons neuronaux associés typiquement au traitement de la rétroaction est différente en autisme, et ce, malgré des performances comportementales parfois similaires aux non-autistes (Solomon, Buaminger, & Rogers, 2011). En effet, des tâches de catégorisation effectuées en imagerie montrent qu'il y aurait une sous-activation des régions fronto-striatales et fronto-limbiques (Just et al., 2004; Minshew & Williams, 2007; Scott-Van Zeeland, Dapretto, Ghahremani, Poldrack, & Bookheimer, 2010; Solomon et al., 2009), tant pour des renforçateurs monétaires (Dichter et al., 2012; Kohls, Chevallier, Troiani, & Schultz, 2012; Kohls et al., 2011) que sociaux (Demurie, Roeyers, Baeyens, & Sonuga-Barke, 2011; Dichter et al., 2012; Kohls et al., 2012; Kohls et al., 2011). Par ailleurs, l'ampleur des changements d'activation cérébrale corrèle également avec l'intensité de la symptomatologie autistique (Schmitz et al., 2008) et pourrait différer selon le type de renforçateur utilisé. Par exemple, des études montrent de plus faibles performances et une diminution plus importante de l'activité cérébrale chez les participants autistes lors de l'utilisation d'un renforçateur social plutôt que monétaire (Demurie et al., 2011; Scott-Van Zeeland, Dapretto, Ghahremani, Poldrack, & Bookheimer, 2010). En outre, la sous-activation de ces circuits n'est plus observée lorsqu'un jouet d'intérêt pour l'enfant autiste est utilisé comme renforcement. On retrouve alors une augmentation de l'activité du cortex préfrontal ventro-médian (Dichter et al., 2012) et du cortex cingulaire antérieur (Cascio et al., 2014). D'ailleurs, les intérêts particuliers qui persistent dans le temps sont associés une plus grande activation des circuits de la récompense (Dichter et al., 2012) et pourraient être associés à la notion de plaisir (Motttronet al., 2007; Sasson, Elison, Turner-Brown, Dichter, & Bodfish, 2011). Dans une revue de littérature, Minshew et Keller (2010) proposent que les différences d'activation associées au circuit de la récompense diffèrent selon que l'on utilise des renforçateurs sociaux, monétaires ou bien associés à des intérêts spécifiques de la personne autiste.

Dans le contexte où il est établi que la rétroaction est une variable importante dans l'apprentissage, du moins dans le développement typique, les études qui ont été réalisées ont particulièrement porté sur la nature du renforcement donné; plus rarement a-t-on évalué l'impact de la présence ou non du renforcement, ou encore, de son intensité. Une seule étude a vérifié l'effet de l'intensité de la rétroaction et celle-ci montre que plus l'intensité est forte (p.ex. gagner plus d'argent ou accentuer le renforcement social), plus la performance des autistes est rapide et exacte (Demurie et al., 2011). Certaines études montrent que les personnes autistes répondent moins bien au feedback positif (Solomon et al., 2011); alors que d'autres, comme celle de Broadbent et Stokes (2013), proposent que le retrait de la rétroaction négative facilite l'apprentissage. En effet, ces auteurs montrent que le retrait de la rétroaction négative donnée au cours de la réalisation du WCST (p.ex. ne plus dire « non » lorsque la personne classe de manière erronée la carte) permet aux personnes autistes de rejoindre la performance du groupe contrôle.

#### **1.5.5.2 Rétroaction : Feedback informatif**

Par ailleurs, la question de la rétroaction peut aussi être abordée en termes de rétroaction informative, soit l'information qu'elle procure au sujet pour lui permettre de compléter la tâche. Peu d'études se sont penchées sur cette question et les résultats sont plutôt variables. Dans une tâche de recherche visuelle, une étude montre que les personnes autistes performant moins bien lorsqu'on leur fournit seulement une information spatiale (la cible change de place mais le fond reste le même) mais que l'ajout d'une information contextuelle (la cible change de place et la configuration globale est modifiée) permet aux personnes autistes de rejoindre la performance des non-autistes (Travers et al., 2013). En revanche, d'autres études montrent que les personnes autistes sont moins sensibles à l'information additionnelle (p.ex. ajouter un stimulus auditif à un stimulus visuel dans un tâche de recherche visuelle) puisque son ajout a peu d'impact sur leur performance (Collignon et al., 2013).

Par ailleurs, aucune étude n'a tenté de retirer complètement la rétroaction en cours d'apprentissage chez les personnes autistes. Par exemple, des personnes atteintes de la maladie de Parkinson sont aidées par le retrait de la rétroaction en cours d'apprentissage et favorisées par un apprentissage basé sur l'observation (Shohamy et al., 2004). Shohamy et ses collaborateurs (2004) ont modifié le paradigme standard d'apprentissage implicite (apprentissage probabiliste) en comparant une condition avec feedback extérieur et une condition d'apprentissage par observation d'associations où la rétroaction est plutôt inhérente à la tâche elle-même (observation des associations stimulus-catégorie), obtenant une réponse plus favorable pour la seconde (**Figure 1.4**). L'apprentissage sous forme d'observation dépendrait d'une autre région que le striatum, sollicitant plutôt les régions temporales médianes. Gluck, Shohamy et Myers (2002) abondent dans la même direction, avançant que plusieurs stratégies peuvent être prises pour faire un apprentissage probabiliste. Puisque les stratégies perceptives sont bien souvent favorisées par les personnes autistes, et ce, à bien des égards dans leur cognition, se pourrait-il qu'un apprentissage qui dépende davantage de l'observation d'associations (rétroaction inhérente à la tâche), et moins d'une rétroaction extérieure, leur soit favorable? L'utilisation d'une rétroaction multimodale (à la fois informative et renforçatrice) et de plus forte intensité pourrait-elle nuire à la détection de la régularité dans le matériel?



**Figure 1.4** Situation d'apprentissage (catégorisation probabiliste) utilisée par Shohamy et al. (2004). Les sujets apprennent à prédire la saveur de crème glacée désirée par M. Patate (vanille ou chocolat) selon la présentation d'indices visuels (chapeau, lunette, moustache et cravate). **(A)** Dans la condition avec rétroaction (correspondant aux conditions 1 et 2, les sujets font l'essai de deviner la bonne saveur, recevant une rétroaction par la suite (indice visuel de la bonne/mauvaise réponse et un pourboire donné dans le pot à droite de l'écran (correspondant à la condition d'apprentissage 1). **(B)** Dans la condition sans rétroaction (correspondant à la condition 3 et 4), l'association stimulus et catégorie est déjà présentée et le sujet fait défiler une après l'autre chacune des représentations.

## 1.6 Apprentissage implicite en autisme

L'apprentissage implicite réfère au fait que les individus sont sensibles aux régularités dans leur environnement et qu'ils peuvent apprendre sans nécessairement en être conscients ou que l'apprentissage soit intentionnel (Reber, 1989). L'apprentissage implicite est incident, dépendant de la pratique ou d'une exposition répétée, sans intention d'apprendre (ou d'être conscient du contenu de l'apprentissage) et les gens ont du mal à expliquer le processus ou la résultante de leur apprentissage (Barnes et al., 2008; Brown, Aczel, Jiménez, Kaufman, & Grant, 2010). L'apprentissage se détecte plutôt par un changement de performance au fur et à

mesure que celui-ci se met en place. L'apprentissage implicite serait impliqué tant dans les apprentissages sociaux (p.ex. détecter les régularités dans les expressions faciales) que non-sociaux.

Différents paradigmes de recherche ont été élaborés pour évaluer l'apprentissage implicite dans la population tout venant et clinique. Pour réduire les chances que les gens soient au fait d'extraire de manière explicite les régularités dans la tâche, un paradigme d'apprentissage probabiliste a été introduit dans lequel l'appartenance à une catégorie n'est pas absolue et un certain pourcentage d'items irréguliers est inclus dans la tâche. Bien que les différentes régions cérébrales impliquées dans l'apprentissage de nouvelles catégories dépendent des exigences de la tâche et des propriétés des stimuli, il semble que les régions préfrontales, les ganglions de la base et le système dopaminergique soient particulièrement sollicités pour l'apprentissage implicite (Stadler & Frensch, 1998).

Au départ, on estimait que les personnes autistes pouvaient plus facilement organiser les informations à partir de règles explicites (Klinger & Dawson, 2001; Minshew et al., 2002). Ceci était corroboré par des performances plus faibles chez les autistes lors de l'utilisation de tâches implicites (Mostofsky, Goldberg, Landa, & Denckla, 2000; Ashley A. Scott-Van Zeeland, Kristin McNealy, et al., 2010). Or, une série d'études a montré, au contraire, que l'apprentissage implicite semble adéquat chez les sujets autistes (Barnes et al., 2008; Brown et al., 2010; Nemeth et al., 2010; Solomon et al., 2011), et ce, en utilisant différents paradigmes de recherche, tels que les tâches de catégorisation perceptive probabiliste (Brown et al., 2010) ou un apprentissage de type statistique, dans le cadre desquels les autistes affichent des performances équivalentes aux contrôles, voire même supérieures chez les adultes autistes (Roser, Aslin, McKenzie, Zahra, & Fiser, 2015). Par ailleurs, deux récentes méta-analyses montrent des résultats tout à fait comparables entre autistes et non-autistes sur

diverses tâches relevant de l'apprentissage implicite (Foti, De Crescenzo, Vivanti, Menghini, & Vicari, 2015; Obeid, Brooks, Powers, Gillespie-Lynch, Lum, 2016).

L'apprentissage implicite s'appuie sur des mécanismes d'apprentissage par association, comme lors de la détection d'une association entre deux ou plusieurs éléments. Cette forme d'apprentissage ne repose pas sur une rétroaction externe; il est plutôt sensible aux probabilités statistiques et aux contingences (Nemeth et al., 2010; Roser et al., 2015). L'apprentissage implicite serait donc moins dépendant des processus descendants, dits de « plus haut niveau » (Fiser & Aslin, 2005), et peut même être affaibli par l'implication de processus explicites (Scott-Van Zeeland, Dapretto, et al., 2010).

Contrairement à l'apprentissage explicite, l'apprentissage implicite serait moins corrélé aux capacités cognitives générales (Gebauer & Mackintosh, 2007; Reber, Walkenfeld, & Hernstadt, 1991). Par exemple, la performance d'un groupe d'enfants autistes non-appariés au QI était plus faible que celle d'un groupe contrôle à une tâche d'apprentissage explicite, mais leurs performances étaient semblables lors d'une épreuve reposant sur un apprentissage implicite (Brown et al., 2010). D'ailleurs, la question de l'intelligence a souvent été mise en lien avec les habiletés de catégorisation. Dans la population générale, la catégorisation est plutôt liée aux habiletés verbales (Gelman, 2003; Smith, 2000), alors que ce serait différent en autisme puisque la majorité des études montre que le QI verbal ne s'avère pas un bon prédicteur de l'habileté à catégoriser. En effet, ce serait plutôt le QI non verbal qui prédirait l'apprentissage chez les sujets autistes (Bott et al., 2006; Gastgeb et al., 2012; Naigles et al., 2013; Vladusich et al., 2010), et ce, même pour des tâches de catégorisation verbale (Naigles et al., 2013). En revanche, l'association entre le QI non verbal et la performance se démarque davantage pour les apprentissages de type explicite puisque l'apprentissage implicite est moins dépendant du QI et moins lié aux symptômes autistiques (Brown et al., 2010).

L'apprentissage implicite serait possiblement facilité en autisme puisque celui-ci repose sur la propension à détecter les régularités dans le matériel présenté et la capacité à apprendre des associations entre stimuli (p.ex. un couteau près d'une assiette prédit les chances d'y retrouver une fourchette) (Barnes et al., 2008). Les personnes autistes seraient particulièrement sensibles à l'apprentissage probabiliste et acquièrent rapidement les probabilités statistiques liées à la récurrence du matériel (Dovgopoly & Mercado, 2013). Cette propension à détecter la régularité dans le matériel servirait autant dans les apprentissages sociaux que non-sociaux : par exemple, il y a suffisamment de régularités dans les expressions faciales d'émotions pour que les personnes autistes en tirent certaines correspondances (Rutherford & McIntosh, 2007). Dans le cadre d'une revue de littérature critique, Dawson et al. (2008) abondent dans la même direction et proposent que l'apprentissage chez les personnes autistes passe davantage par l'extraction implicite de régularités et de patrons de présentation; ce qui peut donner au départ une allure de passivité au sujet apprenant, mais qui se traduit éventuellement par l'extraction de règles explicites. Les apprentissages spontanés de l'enfant (p.ex. code écrit) ont parfois été compris comme des comportements de recherche sensorielle ou comme liés aux intérêts restreints (p.ex. alignement de lettres), alors qu'ils ont peut-être une utilité plus fondamentale dans le développement (Dawson et al., 2008). Par ailleurs, les interventions qui utilisent les intérêts de l'enfant (vs. un programme préétabli) montrent des résultats supérieurs, notamment sur la question de la généralisation des apprentissages (Koegel, Koegel, & O'Neill, 1989).

### **1.7 Changements neuronaux associés à l'apprentissage : suggestible de mécanismes distincts en autisme?**

L'apprentissage est lié au phénomène de plasticité synaptique qui propose que l'efficacité de la transmission synaptique est fonction de l'activité passée des

neurones. Habituellement, l'apprentissage se traduit par une diminution de l'implication des aires corticales associatives impliquées dans la tâche, une augmentation de l'activation des régions sous-corticales et temporales médianes et une meilleure synchronisation de l'activité des régions sollicitées, toutes trois reflétant une plus grande efficacité du réseau neuronal pour résoudre la tâche (Schipul & Just, 2016).

Dans le cadre d'études avec deux tâches d'apprentissage implicite, l'une avec un contenu social et l'autre sans, Schipul et al. (2012, 2016) proposent que les changements dans l'activité neuronale diffèrent entre les adultes autistes et les non-autistes, malgré des performances comparables entre les deux groupes. Les résultats montrent que les adultes autistes et les contrôles sollicitent les mêmes régions cérébrales, mais que l'adaptation des réseaux neuronaux, entendue comme les changements liés aux patrons d'activation et à la connectivité fonctionnelle, ne se traduit pas de la même façon chez les deux groupes. D'abord, les autistes ne montrent pas la même augmentation d'activité des régions sous-corticales. Ensuite, l'activation des aires associatives occipitales et pariétales a tendance à demeurer stable ou croissante chez les autistes alors que l'activation de ces régions diminue dans le groupe contrôle. Qui plus est, le groupe autiste affiche une moins grande connectivité fonctionnelle et une moins grande synchronisation entre les différentes régions, notamment entre les régions frontales et postérieures, tel que proposé par les théories de la sous-connectivité fonctionnelle (Just et al., 2007) ou de l'autonomie des processus perceptifs dans la cognition autistique (Mottron, Dawson, Soulières, et al., 2006). Toutefois, comme les non-autistes, les adultes autistes affichent une diminution de l'implication de l'hippocampe au terme de leur apprentissage, suggérant qu'ils ne s'appuient pas non plus sur des stratégies explicites pour apprendre. Ces résultats indiqueraient donc des différences à même les mécanismes de plasticité cérébrale impliqués dans l'apprentissage chez les personnes autistes (allocation différente des ressources et réseau différent).

## 1.8 Stratégies d'apprentissage : l'information révélée par l'analyse des poursuites oculaires

L'attention visuelle est un processus automatique qui joue le rôle de filtre et permet, dans un monde chargé d'informations visuelles, de s'orienter vers des stimuli pertinents, tout en laissant de côté ce qui ne l'est pas en fonction de la situation ou du contexte (Desimone & Duncan, 1995). Dans le développement typique, l'influence des processus de haut niveau ou descendants sert à orienter l'attention visuelle et, par le fait même, le regard, en fonction des connaissances antérieures que l'on a de la situation et de ce qui est jugé prioritaire.

L'oculométrie, connue sous le terme de *eye tracking* en anglais, est une technique qui permet d'investiguer la manière dont la personne explore et porte attention à son environnement visuel. Cette méthode a largement été utilisée pour documenter divers processus cognitifs, autant chez des enfants typiques qu'avec des difficultés de développement. Elle permet d'objectiver la distribution spatiale de l'attention visuelle et d'inférer quelle(s) composante(s) de l'environnement visuel sollicite l'attention et l'intérêt de la personne (Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002a). L'équipement est non invasif: l'analyse de l'activité oculaire se fait grâce à l'utilisation d'une lumière infrarouge invisible projetée sur l'œil qui permet de capter les patrons de réflexion de la pupille et de la cornée pour estimer le point de fixation de la personne. La technologie associée à la captation du regard permet l'analyse de différents paramètres de poursuite visuelle, notamment des mesures communément utilisées comme la fréquence et la durée de stabilisation du regard sur un objet statique (Falck-Ytter, Bölte, & Gredebäck, 2013). Dans une revue critique de la littérature, Falck-Ytter (2013) rapportent que la plupart des études en autisme s'intéressent principalement à « où » les enfants regardent, s'attardant beaucoup moins à « quand » les enfants portent attention aux différentes régions d'intérêt.

Ainsi, la majorité des études d'oculométrie en autisme se sont attardées à la comparaison de l'attention visuelle portée aux composantes sociales (p.ex. visage) et non-sociales (p.ex. objets d'intérêts, éléments en arrière-plan d'une scène visuelle) de l'environnement. Une des premières études en poursuite oculaire a montré que lors du visionnement de courts extraits d'un film à contenu social, les personnes autistes s'attardaient moins à la région des yeux et plus à la région de la bouche, au corps et aux objets que les personnes non-autistes (Klin et al., 2002a). Par la suite, il y a eu de nombreuses études qui ont rapporté moins de temps d'attention chez les personnes autistes pour les mouvements biologiques, moins d'attention au visage et plus sur le corps; et lorsqu'elles s'attardent au visage, elles portent moins attention aux éléments principaux (Hanley, McPhillips, Mulhern, & Riby, 2013). Par ailleurs, une méta-analyse récente à partir de 68 études indique que les personnes autistes s'attardent moins au visage dans son ensemble, comparativement au reste du corps, et s'attardent davantage aux éléments non-sociaux de leur environnement (Chita-Tegmark, 2016a). Il y aurait donc à la fois une diminution de l'intérêt pour les informations dites sociales et une augmentation de l'attention portée sur des objets d'intérêt (p.ex. Pierce et al., 2011; Pierce et al., 2016), avec toutefois des incohérences entre les études quant à la distribution de l'attention au sein même des parties du visage. Par exemple, certaines études trouvent une différence entre l'attention portée à la région des yeux par rapport à la bouche (Dalton et al., 2005; Jones et al., 2008; Klin et al., 2002a; méta-analyse de Papagiannopoulou, Chitty, Hermens, Hickie & Lagopoulos, 2014); alors que d'autres ne trouvent pas de différences entre les parties du visage entre elles, mais plutôt une diminution globale de l'intérêt porté au visage et un désengagement hâtif de l'intérêt porté aux stimuli sociaux en général (Chita-Tegmark, 2016a; Fletcher-Watson, Leekam, Benson, Frank, & Findlay, 2009). L'écart avec la population neurotypique serait plus marqué lorsque les stimuli sociaux augmentent en complexité, notamment si l'interaction est composée de plusieurs personnes. De manière intéressante, bien que les personnes autistes tendent moins naturellement à diriger leur attention vers des informations sociales (p.ex. visage de

l'expérimentateur), ils peuvent le faire lorsque la tâche le demande ou qu'il n'y a pas d'autres informations qui entrent en compétition avec celles-ci (Chawarska, Macari, & Shic, 2012; Hanley et al., 2017; Hanley et al., 2013; Riby, Hancock, Jones, & Hanley, 2013). À ce jour, il n'est pas encore clair s'il s'agit d'une difficulté à traiter l'information sociale ou d'un manque d'intérêt et de motivation liée aux informations sociales, tel que proposé par la théorie de la motivation sociale décrite antérieurement.

Par ailleurs, il se dégage une tendance chez les personnes autistes à (1) observer moins d'éléments dans une scène visuelle (p.ex. images : Sasson et al., 2011; Sasson, Turner-Brown, Holtzclaw, Lam, & Bodfish, 2008; ou objets : Wang et al., 2015); (2) sélectionner surtout des objets en lien avec leur domaine d'intérêt (p.ex. trains, électroniques, objets mécaniques et lettres); et, (3) avoir une approche plutôt centrée sur le détail des objets que sur les composantes sémantiques (Sasson & Touchstone, 2014; Wang et al., 2015). On retrouve aussi (4) une plus grande difficulté à désengager l'attention visuelle de l'objet fixé (notion de « *sticky attention* ») (Sacrey, Armstrong, Bryson, & Zwaigenbaum, 2014); (5) plus de persévération sur les images regardées, accompagnée de temps de fixation plus courts sur les objets sociaux que non sociaux (Nakano et al., 2010; Sasson & Touchstone, 2014; Wang et al., 2015) dès la première année de vie (Elison et al., 2013; Sacrey et al., 2014); de même que (6) un délai plus grand pour orienter l'attention vers les éléments pertinents de la tâche (Kourkoulou, Kuhn, Findlay, & Leekam, 2013). En parallèle, certaines études rapportent moins de temps d'attention sur l'écran chez les personnes autistes et des temps de fixation globalement plus courts (Wass et al., 2015). Par exemple, dans une tâche de recherche visuelle, les participants autistes affichent des temps de fixation plus courts que les contrôles, sans différence pour le nombre de fixations; ce qui amène les auteurs à postuler que la supériorité des personnes autistes dans les tâches de recherche visuelle n'est pas liée à une mémorisation des items antérieurs, mais plutôt à des capacités supérieures en discrimination (Joseph et al., 2009; Kemner, van Ewijk, van Engeland, & Hooge, 2008).

Comme pour d'autres composantes de la cognition autistique, on connaît peu l'évolution des patrons d'exploration au cours du développement. Il semble que les différences apparaissent tôt dans la vie de l'enfant puisque, déjà dans la première année, les bébés qui recevront ultérieurement un diagnostic d'autisme affichent des différences dans la manière d'explorer leur espace visuel (Falck-Ytter et al., 2013; Jones & Klin, 2013; Pierce et al., 2011). Les différences de patron de fixation seraient parmi les premiers signes comportementaux observables chez les enfants qui recevront ultérieurement un diagnostic d'autisme (Jones & Klin, 2013; Sacrey, Bryson, & Zwaigenbaum, 2013). Certaines études montrent une diminution, dès la jeune enfance, de l'attention portée aux stimuli sociaux, particulièrement pour les visages (Frazier et al., 2017). Celle-ci est parfois accompagnée d'une augmentation de l'intérêt porté aux objets non-sociaux (Hutman, Chela, Gillespie-Lynch, & Sigman, 2012), mais pas dans tous les cas (Chawarska et al., 2012; Nakano et al., 2010; Sasson & Touchstone, 2014; Sasson et al., 2008). Pour leur part, Pierce et al. (2016) montrent qu'une proportion plus grande d'enfants autistes de 2 ans affiche une préférence accrue pour les formes géométriques par rapport aux scènes sociales que chez les non-autistes. Toutefois, la distribution de l'attention visuelle n'est pas la même selon le type d'objet que l'on présente en compétition avec l'information sociale. En présence d'objets d'intérêt (p.ex. trains, voitures, avions, lettres), les enfants autistes diminueraient leur attention sur l'information sociale; alors qu'aucune différence n'est relevée lorsque l'objet présenté n'est pas lié aux intérêts de l'enfant. Ainsi, les personnes autistes ne s'attarderaient pas de manière indiscriminée aux éléments non sociaux, mais elles semblent clairement orienter leur attention visuelle vers des objets qui captent particulièrement leur intérêt (Chita-Tegmark, 2016a). Enfin, l'exploration de l'information sociale pourrait se modifier avec l'âge, bien que la trajectoire change selon les études. Par exemple, Sabatos-DeVito, Schipul, Bulluck, Belger, and Baranek (2016) montrent que les adolescents autistes sont plus en mesure de se désengager d'un stimulus et le font plus rapidement que les enfants; alors que

d'autres recherches semblent plutôt indiquer que les difficultés d'orientation sont plus marquées avec l'âge (Landry & Parker, 2013).

L'acquisition de catégories implique elle aussi des changements au plan de l'attention visuelle sélective. Au fur et à mesure que l'apprentissage se met en place, l'attention sélective se modifie pour se porter davantage sur les dimensions qui seront utiles pour juger si l'item appartient à l'une ou l'autre des catégories (Rehder & Hoffman, 2005). Plus il y a de dimensions à considérer pour classifier l'objet, plus l'apprentissage est difficile. Afin de mieux saisir comment les enfants autistes apprennent, il s'avère intéressant de cerner le type d'information qui capte leur attention et le genre de stratégies utilisées pour forger leurs apprentissages (Falck-Ytter et al., 2013). Puisque les études montrent une diminution des influences descendantes en autisme, on peut s'attendre à des patrons d'exploration de l'espace visuel différents et des divergences quant à la saillance de l'information entre autistes et contrôles. Seules deux études ont utilisé les poursuites oculaires pour documenter les stratégies utilisées par les enfants autistes lors d'une tâche de catégorisation. Gastgeb et al. (2011; 2012) ont voulu vérifier si la plus faible performance des enfants autistes à élaborer un prototype / catégorie n'était pas tributaire d'une exploration différente de l'espace visuel. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence entre les groupes sur l'attention portée aux différentes caractéristiques des stimuli (visage dans l'une des études et patrons de points dans l'autre), les deux groupes considérant autant d'aspects et ne se distinguant pas sur la durée, ni la fréquence des fixations portées aux différents attributs.

## **1.9 Synthèse des processus d'apprentissage en autisme**

La littérature actuelle suggère que l'apprentissage de nouvelles catégories est tout à fait possible en autisme, bien que celui-ci se fasse différemment. L'élaboration et l'utilisation de concepts pour organiser l'information semblent toutefois transiger par

des mécanismes distincts (Brown et al., 2010; Molesworth et al., 2005, 2008; Soulieres, Mottron, et al., 2011). Bien que les enfants et les adultes autistes soient en mesure de regrouper l'information en catégories au même titre que la population neurotypique, plusieurs particularités sont relevées au niveau des processus d'apprentissage (Rutherford & McIntosh, 2007). En effet, les personnes autistes ont souvent besoin d'une plus grande exposition au matériel pour apprendre. Elles ont également tendance à utiliser une information restreinte et différente pour organiser leurs connaissances (Church et al., 2010; Gastgeb et al., 2012; Gastgeb et al., 2006; Klinger, Klinger, & Pohlig, 2007). Par ailleurs, elles semblent avoir plus de difficulté à utiliser les catégories apprises antérieurement comme stratégie de support à divers processus cognitifs (Bowler, 2012; Minshew et al., 2002) ou pour généraliser leurs apprentissages lorsqu'elles font face à une nouvelle information. En contrepartie, il existe une variété de formes d'apprentissage et l'apprentissage implicite semble tout à fait possible en autisme; ce qui pourrait être une avenue intéressante pour la mise en place d'interventions, d'autant plus que celui-ci est moins dépendant des capacités cognitives générales (Mottron, 2017).

La forte association entre perception et intelligence chez les autistes, démontrée dans une variété de tâches cognitives complexes, pourrait jouer un rôle privilégié dans l'apprentissage. Cette plus grande place de la perception dans la cognition suggère un style d'apprentissage distinct et l'utilisation de stratégies propres à l'autisme (p.ex. importance des régularités, propension à détecter les cooccurrences, sélection différente des informations). Par ailleurs, le QI non-verbal, plutôt que le QI verbal chez les personnes typiques, est un meilleur prédicteur des capacités de catégorisation en autisme, appuyant l'idée que les stratégies d'apprentissage se distinguent en autisme.

Différents paramètres définissent une situation d'apprentissage et il semble que de simples modifications dans la tâche à accomplir puissent avoir un impact significatif

sur la portée de l'apprentissage chez les personnes autistes. Notamment, la rétroaction et la manière de présenter le matériel d'apprentissage sont deux composantes importantes de la situation d'apprentissage qui ont peu été explorées par les recherches précédentes. Considérant l'implication de la perception dans la cognition autistique, l'apprentissage des personnes autistes pourrait être plus dépendant de l'accessibilité, de la présentation et de l'organisation de l'information. Par ailleurs, les apprentissages spontanés des enfants autistes (p.ex. calcul, calendrier, lecture) prouvent qu'ils sont en mesure de dégager spontanément et implicitement des structures assez complexes. Enfin, les personnes autistes montrent une réponse différente à la rétroaction, que celle-ci soit renforçatrice ou informative. Une activation cérébrale différente, tout comme des réponses comportementales distinctes, suite à de simples modifications dans la rétroaction donnée aux autistes et non-autistes, suggèrent que la rétroaction ne semble pas avoir le même rôle dans l'apprentissage des personnes autistes que celui qu'elle tient dans le développement typique.

## CHAPITRE II

### OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Cette thèse doctorale s'intéresse à documenter la nature et les facteurs influençant l'apprentissage de catégories (catégorisation et généralisation) chez les enfants autistes en étudiant l'impact de modifications apportées aux situations d'apprentissage standard. Pour ce faire, des tâches inspirées du paradigme utilisé par Shohamy et al. (2004) et Brown et al. (2010) ont été développées puis combinées à des mesures d'occulométrie afin de comparer l'attention visuelle au terme de l'apprentissage chez les enfants autistes et neurotypiques. Jusqu'à maintenant, la plupart des études se sont concentrées sur la performance des participants dans des tâches de catégorisation, explorant peu les mécanismes sous-jacents qui pourraient être différents chez les enfants autistes malgré des réponses comportementales similaires. L'inclusion de mesures de poursuite oculaire dans une tâche d'apprentissage implicite est novatrice et offre un regard complémentaire sur la manière dont se font les apprentissages chez les enfants autistes.

Considérant l'utilisation plus grande de stratégies visuospatiales et l'augmentation de l'activité des régions cérébrales postérieures dans une variété de tâches cognitives chez les personnes autistes, augmenter l'accès aux composantes perceptives de la tâche pourrait permettre d'optimiser l'acquisition et la généralisation de nouvelles informations. Plus spécifiquement, **l'intensité de la rétroaction** et la **manière de**

**présenter le matériel** – deux composantes clés dans l'intervention – sont étudiées. Ainsi, à l'aide de situations d'apprentissage de catégories probabilistes perceptuelles, l'impact de ces deux variables sur l'apprentissage et la généralisation est étudié. Le présent projet vise à évaluer si (1) la diminution de l'intensité de la rétroaction et (2) un accès plus large à l'information sont des facteurs permettant un meilleur apprentissage; de même que (3) si ces conditions d'apprentissage sont associées à un traitement de l'information visuelle différent.

## 2.1 Étude 1a. Effet de l'intensité de la rétroaction dans l'apprentissage

---

**Objectif.** Le fait que la régularité d'un exemplaire à l'autre soit facilement apparente et accessible en cours d'apprentissage pourrait être une variable déterminante pour le succès de l'apprentissage chez les enfants autistes. Par conséquent, y aurait-il un moyen de faciliter l'extraction de la régularité dans le matériel comme support à l'apprentissage? Dans un premier temps, la rétroaction extérieure (feedback) donnée en cours d'apprentissage est une variable qui, selon son intensité, pourrait interférer au plan de l'apprentissage en introduisant un bruit nuisible à la détection de la régularité. Deux situations d'apprentissage ont été élaborées permettant de comparer une première situation avec une faible intensité de rétroaction, dans laquelle seule une rétroaction informative est donnée (appelée *low feedback* dans les publications), et une deuxième situation avec une plus forte intensité de rétroaction, dans laquelle la rétroaction reçue est à la fois informative et renforçatrice (appelé *high feedback* dans les publications).

**Hypothèses.** Selon ce que suggèrent les études antérieures, on s'attend à ce que les enfants autistes apprennent plus difficilement lorsqu'une plus forte intensité de rétroaction est présentée à chacun des essais de la phase d'apprentissage (taux de

bonnes réponses inférieur aux enfants du groupe contrôle). Au contraire, cette rétroaction pourrait s'avérer aidante pour les enfants neurotypiques qui profitent habituellement d'une hausse de la rétroaction en cours d'apprentissage. De même, le temps de réponse pourrait être plus lent chez les enfants autistes lorsque l'apprentissage transige par la rétroaction extérieure. Une plus forte intensité de la rétroaction (à la fois informative et renforçatrice) est potentiellement dérangement pour les enfants autistes puisque (1) l'ajout de la composante renforçatrice apporte peu de nouvelles informations aux enfants autistes pour résoudre la tâche et (2) elle introduit une composante visuelle et sonore qui pourrait contribuer à interférer avec la capacité de détecter les régularités dans le matériel.

## 2.2 Étude 1b. Étude de la présentation du matériel sur l'apprentissage

---

**Objectif.** Les connaissances actuelles sur la cognition autistique suggèrent que la manière de présenter le matériel à apprendre soit également une variable à considérer dans l'apprentissage des personnes autistes. Considérant les particularités de la perception visuelle en autisme, notamment les capacités supérieures en discrimination et la propension à la détection des régularités / patterns, il est possible que la quantité d'information disponibles au moment de l'apprentissage soit un facteur influençant la performance des enfants autistes. Deux situations d'apprentissage ont été élaborées permettant de comparer une première situation avec une présentation isolée de l'information (un item à la fois, appelée *isolated* dans les publications) et une deuxième situation où plusieurs items sont présentés simultanément (appelée *simultaneous* dans les publications).

**Hypothèses.** Des stimuli présentés de manière isolée (condition *isolated*), communément utilisés dans les situations d'apprentissage, pourraient rendre

l'acquisition d'une nouvelle catégorie plus ardue pour les enfants autistes. Toutefois, on prévoit une amélioration de leur performance (meilleur taux de réponse) lorsque l'apprentissage est basé sur l'observation de plusieurs items simultanément (condition *simultaneous*). La présentation simultanée de l'information pourrait permettre aux enfants autistes de dégager plus facilement les éléments de ressemblance entre différents exemplaires, favorisant une meilleure acquisition de nouvelles catégories et une plus grande facilité à généraliser l'apprentissage à de nouveaux items. La manière de présenter le matériel d'apprentissage devrait avoir un plus grand impact chez les enfants autistes, comparativement aux enfants neurotypiques qui devraient montrer une performance similaire peu importe la condition d'apprentissage. Contrairement aux deux tâches évaluant l'effet de la rétroaction qui pourraient engendrer des temps de réponses plus lents chez les enfants autistes, on s'attend à ce que les temps de réponse des enfants autistes ne se démarquent pas de ceux des enfants typiques lors d'un apprentissage simultané.

Par ailleurs, l'effet des deux variables à l'étude – (1) rétroaction et (2) présentation du matériel – pourrait avoir une influence différente sur la facilité à généraliser l'apprentissage lors du traitement d'une nouvelle information similaire à celle apprise durant la tâche. Avec une méthode d'apprentissage conventionnelle (un item à la fois et rétroaction extérieure), la généralisation à de nouveaux items devrait être moindre chez les enfants autistes que lorsque l'apprentissage se fait avec une présentation simultanée du matériel (condition simultanée). Par ailleurs, les enfants non-autistes devraient montrer des performances similaires lorsqu'on leur présente de nouveaux items, peu importe le contexte de l'apprentissage.

### 2.3 Étude 2. Impact de l'apprentissage implicite sur l'attention visuelle

---

**Objectif.** L'apprentissage et l'attention visuelle sont deux phénomènes intrinsèquement liés. En effet, il est plus facile d'apprendre à partir de ce qui attire l'attention et l'apprentissage oriente à son tour l'attention vers des informations apprises comme étant pertinentes. Il est donc possible de penser que des situations d'apprentissage distinctes n'auront pas le même impact sur l'attention visuelle; la modulation de l'attention visuelle pourrait différer entre autistes et non-autistes et être influencée de manière différente selon le contexte de l'apprentissage. D'autre part, puisque l'attention visuelle des personnes autistes présente certaines particularités (p.ex. attention portée vers les objets plutôt que sur les composantes sociales, attention plus détaillée et moins flexible) (Happe & Frith, 2006; Sasson et al., 2008), on peut s'attendre à ce que celle-ci diffère par rapport aux enfants neurotypiques en situation d'apprentissage. L'objectif de l'étude 2 est de déterminer si les quatre situations d'apprentissage implicite auxquelles les enfants sont exposés à l'étude 1 modulent différemment les patrons de fixation oculaire au terme de la tâche. Plus spécifiquement, la durée et la fréquence des fixations, ainsi que le temps mis pour s'orienter aux éléments-clés pour catégoriser les exemplaires seront étudiés.

**Hypothèse.** La diminution de la rétroaction (condition *faible intensité de rétroaction*), tout comme l'accès simultané à l'information (condition *simultanée*) pourraient faire en sorte que les enfants aient plus de facilité à s'attarder aux éléments-clés pour catégoriser les items dans l'une ou l'autre des catégories. Non seulement les enfants autistes devraient s'orienter plus longtemps et plus fréquemment vers ceux-ci dans la condition avec *faible rétroaction* et *présentation simultanée* de l'information (durée et fréquence des fixations sur les attributs > ailleurs sur l'écran), mais ils seront possiblement capables de dégager plus facilement les attributs les plus discriminants pour la catégorisation (Moustache et Boucle). De plus, on s'attend à ce que les

enfants autistes orientent plus rapidement leur attention sur les 4 principaux attributs des items de catégorisation dans les tâches avec *faible rétroaction* et *présentation simultanée*. La condition simultanée devrait être celle où les patrons de fixation reflètent à la fois une plus grande attention aux attributs de même qu'une meilleure capacité à dégager la prédictibilité de certains attributs par rapport à d'autres.

## Résumé du projet de recherche

**Étude 1** : Étude de l'impact de l'intensité de la rétroaction (étude 1a) et de la manière de présenter le matériel (étude 1b) sur l'apprentissage.

### 4 conditions d'apprentissage

- 1) Situation faible rétroaction (rétroaction informative) (*Low feedback*)
- 2) Situation forte rétroaction (rétroaction informative + renforçatrice) (*High feedback*)
- 3) Présentation isolée (un item à la fois en cours d'apprentissage) (*Isolated*)
- 4) Présentation simultanée (plusieurs items présentés simultanément) (*Simultaneous*)

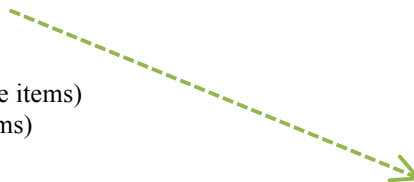
**Étude 2** : Étude de l'impact de l'intensité de la rétroaction (étude 1a) et de la manière de présenter le matériel sur l'attention visuelle (étude 1b)

Poursuites oculaires colligées à la fin de la phase test

---

Pour chacune des 4 conditions d'apprentissage implicite : **Catégorisation probabiliste perceptive**

1. Phase d'apprentissage
2. Phase test 1 (même items)
3. Poursuites oculaires (même items)
4. Phase test 2 (nouveaux items)



**Figure 2.1** Résumé du projet de recherche. Les résultats de cette thèse sont présentés à l'aide **deux manuscrits** : le premier (**Étude 1, chapitre 3**) présentant les données comportementales aux 4 situations d'apprentissage, suivi d'un second (**Étude 2, chapitre 4**) portant sur l'impact des différentes situations d'apprentissage implicite sur l'attention visuelle. Cette thèse se termine avec une discussion des principaux résultats, des limitations et des pistes futures.

## **CHAPITRE III**

### **ARTICLE 1**

---

#### **CATEGORY LEARNING IN AUTISM: ARE SOME SITUATIONS BETTER THAN OTHERS?**

Article soumis dans la revue *Journal of Experimental Psychology*

Nader, A.M., Tullo, D., Bouchard, V., Degré-Pelletier, J., Bertone, A., Dawson, M.,  
Soulières, I.

**Keyword:** Autism, Learning, Perception, Cognition

### 3.1 Abstract

Autism is diagnosed based on commonalities in atypical social and non-social behaviors, but also entails high apparent variance in specific abilities such as learning. While autistic individuals have been characterized as experiencing great difficulty with learning, they have also been reported to learn spontaneously in exceptional ways. These contrasting accounts suggest that some situations may be better than others for learning in autism. We tested this possibility using a probabilistic category learning task with four learning situations differing either in feedback intensity or in information presentation. Two situations contrasted the use of high versus low intensity feedback, while two situations were feedback-free and instead contrasted the use of isolated information (presented sequentially) versus simultaneous information (presented in arrays). We tested the categorization and generalization performance of 54 autistic children and 52 age-matched typical school-aged children after they learned in different situations. Children in both groups were able to learn and generalize novel probabilistic categories in all four situations. However, across and within groups, autistic children were advantaged by learning with simultaneous information presentation, while typical children were advantaged by learning with high intensity feedback. These findings question some common aspects of autism interventions (e.g., frequent intense feedback, minimized simplified information), and underline the importance of improving our current understanding of how and when autistics learn well.

### 3.2 Introduction

Autism is a neurodevelopmental disability whose diagnostic criteria combine atypical social communication with restricted and repetitive behaviours (APA, 2013). High variance in outcomes across the lifespan is characteristic of autism (Cowen, 2011), as is high apparent variance in specific abilities such as learning. Questions of how and how well autistics learn have been subject to disparate views in the literature (Dawson, Mottron, & Gernsbacher, 2008, for an overview). For example, prominent accounts have emphasized that while typical children constantly learn from information in their environments, autistic children are in comparison unwilling and unable to do so (Smith, 2001; Lovaas, 2003). Autistic children have been portrayed as requiring comprehensive support to mitigate multiple learning and behavioural impairments stemming from deficits in executive functioning, sensory processing, and complex information processing, among many others (Cannon et al., 2011; Kenworthy et al., 2014). Concurrently, the literature documents exceptional, spontaneous, and sometimes outstanding manifestations of learning that are distinctive or prevalent in autism, including savant abilities and hyperlexia (Heaton & Wallace, 2004; Mottron et al., 2009; Ostrolenk, Forgeot d’Arc, Jelenic, Samson, & Mottron, 2017; Kissine et al., 2018). Such marked contrasts across accounts of learning in autism are intriguing and of clear importance for autistic outcomes. Nevertheless, heterogeneity in autistic learning remains understudied and unexplained. As a result, existing developmental, behavioural, and educational approaches to autism lack theoretical grounding regarding how, when, and why autistics learn well or badly.

An influential view of learning in autism, in both research and practice, has been that autistics cannot spontaneously learn from presented information, and cannot go beyond rigid use of simple rules to learn more complex regularities and probabilities (Eigsti & Mayo, 2011). Only recently has this view been called into question through

studies using implicit learning tasks in autism. These studies have failed to find predicted learning deficits in autistic children, adolescents, and/or adults, across an array of tasks (e.g., artificial grammar, serial reaction time, contextual cueing, probabilistic classification; Foti, De Crescenzo, Vivanti, Menghini, & Vicari, 2015; Obeid, Brooks, Powers, Gillespie-Lynch, & Lum, 2016; Zwart, Vissers, Kessels, & Maes, 2017 for systematic reviews). There may nevertheless be situations in which autistics have difficulty learning (e.g., Scott-Van Zeeland, Dapretto, Ghahremani, Poldrack, & Bookheimer, 2010a; Crawley et al., 2019), as well as situations where their learning is enhanced versus typical controls (e.g., Roser, Aslin, McKenzie, Zahra, & Fiser, 2015). While autistics have shown an absence of typical neural activation during language-based implicit learning (word segmentation; Scott-Van Zeeland, McNealy, et al., 2010b), they have also shown typical learning on this task (Mayo & Eigsti, 2012; Haebig, Saffran, & Ellis Weismer, 2017; Saffran, 2018, for a review). Thus, existing evidence shows that autistics can spontaneously learn complex regularities or probabilities, such as those in implicit learning tasks, but may use atypical cognitive processes resulting in variable outcomes, which are as yet unexplained.

The overlapping issue of how or whether autistics form categories to structure information dates to seminal work showing autistic children to be less dependent on probabilities and categories when recalling words (Hermelin & O'Connor, 1967). Nevertheless, when assessed, autistic children were able to demonstrate typical semantic category organization (Tager-Flusberg, 1985a, b; Ungerer & Sigman, 1987). More nuanced tests of categorization strategies in autism have followed, involving rules, exemplars, prototypes, and/or generalization, and a range of stimuli (e.g., dot patterns, artificial animals, face images). Results have been diverse (e.g., reduced prototype use in Church et al., 2010; but not in Molesworth, Bowler, & Hampton, 2005), suggesting that while category learning may not be typical in autism with respect to strategies, speed of learning, and range of information used, autistics are

nonetheless able to learn complex category structures in some situations (Soulières, Mottron, Giguère, & Larochelle, 2011). However, autistics' heterogeneous performance in category learning and generalization remains inadequately explained (Mercado et al., 2015). It is plausible that there are as-yet unexplored situations which help or hinder learning, including probabilistic category learning, in autism and that these situations may differ from their equivalents in the typical population. Discrepancies in results across existing studies may arise from overlooked differences in the way tasks are designed and how and how much information is presented. If relatively minor differences in learning situations produce differences in autistic (vs typical) learning even within a single task, this could in turn lead to progress in explaining the apparently high variance in learning abilities reported across the autism literature.

Different features characterize a learning situation, among which *feedback* and *information presentation* are two essential components. Feedback is a feature of learning phases in probabilistic category learning tasks (Brown, Aczel, Jiménez, Kaufman, & Grant, 2010) in which participants must start by guessing which stimuli belong in which category and adapt their answer according to the feedback provided as the task goes on. Trial-by-trial feedback about accuracy of their guesses may be informative only, such as text indicating a correct / incorrect response, and a visual running count. However, feedback may also include elaborate and/or superfluous (non-informative) social or non-social elements, such as smiling faces, praise, or attractive sounds and animations. These additional elements add intensity to feedback but are not directly relevant to learning, in that they do not add information relevant to solving the task; instead they are relevant to the broad issue of motivation, which spans the related but distinct concepts of reward and reinforcement.

Autistics have long been characterized as lacking motivation to learn (Koegel, Koegel, & McNerney, 2001; Smith, 2001) and therefore as requiring intense, elaborate, and

frequent feedback (Leaf & McEachin, 1999; Lovaas, 2003; Cooper et al., 2007), including within “naturalistic” interventions (Schreibman et al., 2015), and extending into school-ages and beyond (e.g., Mandell et al., 2013; Odom, Boyd, Hall & Hume, 2010; Wong et al., 2015). Accordingly, learning in autism is claimed to depend on the potency (i.e., intensity) of non-informative elements of social and non-social feedback, with informative-only feedback presumed to be ineffective. If this influential view is correct, autistic performance in novel category learning should benefit from, or possibly require, the addition of intensity to informative-only feedback. Alternatively, autistics would not be unmotivated to learn, and instead are willing and able to implicitly learn complex regularities or probabilities, if presented to them. In this case, intense feedback, including elaborate and superfluous elements which add nothing informative, may be irrelevant, unnecessary, distracting, and possibly disruptive to learning (Brown et al., 2010; see also Broadbent & Stokes, 2013).

Probabilistic category learning tasks can also involve learning without any feedback (Shohamy et al., 2004). In this case, category membership information is visually integrated into learning phase stimuli (association stimulus-category), which are then observed by participants in the absence of feedback. Therefore, if autistics are only motivated or able to learn in the presence of feedback, or intense feedback, they should be unable to learn in its complete absence. The feedback-free design in Shohamy et al. (2004) also permits the testing of how *information presentation* affects category learning in autism. Whereas Shohamy et al. (2004) presented their stimuli one at a time in a sequence during the learning phase, it is also possible to present the stimuli in arrays or groups, or, simultaneously. In the latter situation, participants have access to an increased quantity of information at once while they are learning. Influential views of autism, however, posit that autistics are overly-selective in attending to limited and irrelevant aspects of complex stimuli (Ploog, 2010), comprehensively impaired in complex information processing (Williams, Minshew,

& Goldstein, 2015), and easily overwhelmed by information (Pellicano & Burr, 2012), particularly if it involves complex regularities (Qian & Lipkin, 2011). Along with intense feedback, popular approaches to autism feature the breaking down of tasks or objectives into small simple increments of information presented one at a time (e.g., Maurice et al., 1996; Smith, 2001; Cooper et al., 2007; Odom et al., 2010; Wong et al., 2015). If these influential views and practices are well founded, autistic performance should not benefit from, but rather be hindered by large quantities of simultaneously-presented information during implicit learning tasks. Alternatively, a growing body of evidence shows autistics to have an increased, not decreased, perceptual capacity (Remington, Swettenham, & Lavie, 2012; Remington & Fairnie, 2017; Remington et al., 2019). Therefore, autistics may benefit when more - and not less - information is available, and from situations where all necessary information is simultaneously available, allowing greater latitude in how information is processed across levels and scales, and in how regularities are learned (Motttron et al., 2009, 2013).

In this study, our aim was to assess the role of feedback intensity (low vs high) and information presentation (isolated vs simultaneous) on probabilistic category learning and generalization in autistic children. We compared how autistic and typical children performed overall, and on different levels of stimulus-outcome probability, when tested after these four different learning situations.

### **3.3 Methods**

#### **3.3.1 Participants**

School-aged autistic and typical children aged 6-14 years were recruited through the research database of the Autism Specialized Clinic at Rivière-des Prairies Hospital (HRDP; Montreal, Canada), and through four schools in a Montreal-area school

board. All included participants had WISC-IV perceptual reasoning index (PRI; Wechsler, 2003) scores of at least 80. The final total sample included 106 children, 54 in the autistic and 52 in the typical group, who were alternately assigned to either the feedback or information conditions. Autistic and typical children were matched on age, PRI score and visual working memory (spatial span backward of the WISC-IV integrated), but total and feedback condition samples were not sex-matched. See **Table 3.1** for demographic and matching information for the total sample of autistic and typical children, and for the samples for each condition. Soulières et al (2011) obtained an effect size of 1.11 with 16 participants per group using a similar categorization task. Therefore, it is reasonable to expect a large effect size of .80 in our study, which means that a minimum of 23 participants per group yields a power of at least 75% chance to detect an effect if present (Cohen, 1988).

Files for the autistic children were reviewed for diagnostic information. Children in this group had received an autism spectrum diagnosis according to DSM-5 (APA, 2013) or DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000) criteria; all children were diagnosed by experienced clinicians (child psychiatrist, developmental paediatrician, or psychologist). All diagnostic processes relied on expert interdisciplinary clinical judgment and most of the children were assessed with two gold standard autism diagnostic research instruments: Autism Diagnostic Interview - Revised (ADI-R; (Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994) and Autism Diagnostic Observation Schedule - General (ADOS-G; (Lord et al., 2000). Among the 54 autistic children, 40 were assessed with both ADI-R and ADOS, and 3 with ADOS only. For the remaining 11 children, either the information was missing from their file or the diagnosis relied on interdisciplinary clinical judgment. Seventeen percent (9/54) of autistic children also had a formal Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) diagnosis, 11% (6/54) had a language disorder (LD) diagnosis, and 6% (3/54) had both ADHD and LD diagnoses.

The typical children were screened for personal or family history of psychiatric, neurological, or developmental conditions, using a semi-structured interview conducted with their parents. Of the 56 children originally recruited in the typical group, 4 were found to be diagnosed with either ADHD or a learning disorder and were excluded from participating, resulting in a final sample of 52 typical children. All the typical children had a regular academic background and none took medication.

Written informed consent to participate was obtained from parents for all participants; assent was also provided by the children. The study was formally approved by the ethics committee of Rivière-des-Prairies Hospital (Montreal, Canada) and the participating school board (Commission scolaire des Patriotes, Montérégie, QC, Canada).

**Table 3.1** Participant demographics for the total sample and for each condition

| <b>Total sample</b>                                      |                              |                              |           |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
|                                                          | <b>Autistic (n=54)</b>       | <b>Typical (n=52)</b>        | <b>P</b>  |
| Sex                                                      | 47M: 7F                      | 36M: 16F                     | .03       |
| Age (years)                                              | 10.1 ( <i>SD</i> =2.0; 6-14) | 10.0 ( <i>SD</i> =1.8, 6-14) | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 104.34 ( <i>SD</i> =24.91)   | 111.31 ( <i>SD</i> =18.97)   | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 9.90 ( <i>SD</i> =4.16)      | 10.23 ( <i>SD</i> =5.52)     | <i>ns</i> |
| <b>Feedback condition (low vs. high feedback)</b>        |                              |                              |           |
|                                                          | <b>Autistic (n=26)</b>       | <b>Typical (n=28)</b>        |           |
| Sex                                                      | 23M: 3F                      | 18M: 10F                     | .04       |
| Age (years)                                              | 9.4 ( <i>SD</i> =1.9; 6-14)  | 9.9 ( <i>SD</i> =2.1, 6-14)  | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 103.25 ( <i>SD</i> =25.99)   | 110.21 ( <i>SD</i> =24.42)   | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 8.96 ( <i>SD</i> =4.60)      | 10.40 ( <i>SD</i> =6.09)     | <i>ns</i> |
| <b>Information condition (isolated vs. simultaneous)</b> |                              |                              |           |
|                                                          | <b>Autistic (n=28)</b>       | <b>Typical (n=24)</b>        |           |
| Sex                                                      | 24M: 4F                      | 18M: 6F                      | <i>ns</i> |
| Age (years)                                              | 10.1 ( <i>SD</i> =2.0; 6-14) | 10.1 ( <i>SD</i> =1.4; 7-12) | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 105.36 ( <i>SD</i> =24.30)   | 112.58 ( <i>SD</i> =9.70)    | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 10.81 ( <i>SD</i> =3.54)     | 10.04 ( <i>SD</i> =4.96)     | <i>ns</i> |

### 3.3.2 Procedure and conditions

#### 3.3.2.1 General procedure

All children were individually tested in a quiet office at the hospital clinic or at their school by one of four neuropsychology graduate students experienced in working with autistic children. Each child was tested across 3 to 4 sessions, depending on attentional capacities, fatigue, and pace in completing the tasks. To maximize child performance, the number of sessions and the schedule were adjusted to each child after consulting their teacher or parent. Most of the sessions, for both groups, lasted 40-50 minutes with the constraint that individual tasks were not spread across different sessions.

The first session always included the three WISC-IV PRI subtests (Block Design, Picture Concepts and Matrix Reasoning). The French-Canadian version of the WISC-IV was used along with Canadian norms. Following the PRI subtests, the spatial span subtest of the WISC-IV Integrated (Kaplan, Fein, Kramer, Delis & Morris, 2004) was administered. This subtest, similar to the Corsi-block tapping test, was used as a control measure for visuospatial short-term working memory (Spatial span backward, scaled scores with *mean*=10 and *SD*=3).

All the other tasks were administered in a counterbalanced order through the following sessions. Each child was alternately assigned to complete either the two feedback tasks (*high* vs. *low* feedback) or the two tasks assessing the role of information presentation (*isolated* vs. *simultaneous* information). Children completed the learning tasks during two different sessions. The assignment of stimuli set (either Mr. Potato Head or Ms. Pumpkin) to a task and the order of the tasks was counterbalanced across participants, such that half of the children saw Mr. Potato Head first and half saw Ms. Pumpkin first.

Two distinct category sets were created, one for each task completed by the child. The stimuli in each category set consisted of 14 artificial characters created using either a Mr. Potato Head or Ms. Pumpkin base, to which different features were added. All base characters had eyes, a nose, white arms, and blue feet. Then each of the 14 characters (defined as characters A through N) varied according to the presence (1) or absence (0) of one or more additional features specific to either Mr. Potato Head (hat, moustache, glasses and bowtie) or Ms. Pumpkin (handbag, hairclip, star pin, and belt). The 14 characters in each set were created following the scheme presented in **Table 3.2**, with combinations of features identical to those used in Shohamy et al. (2004). All stimuli were photographed with a digital camera and edited using Photoshop to ensure consistent light, contrast and image size (12 deg in height x 9 deg in width when viewed from 57 cm). *For stimuli examples, see **Figures 3.1 and 3.2**.*

There were two outcomes, presented as customer preference, and which were equally probable; vanilla or chocolate ice cream for Mr. Potato Head, and apple or grape juice for Ms. Pumpkin. Each feature was associated with an outcome following a fixed probability (note that none of the features predicted the outcome perfectly) and thus each of the 14 characters was probabilistically associated with an outcome. Stimulus-outcome probabilities varied across the stimuli according to six levels, from chance (50%) to high probability (92%), as shown in Table 3.2.

**Table 3.2. Character features and probability structure of the 4 learning tasks.** Each feature could be (1) present or (0) absent. As an example, stimulus A = 0001 means that only a bowtie was added to this Mr. Potato Head character, whereas stimulus N = 1110 indicates the presence of a moustache, a hat and glasses, but no bowtie. For each of the 14 stimuli, there was a specific probability (P). For example, stimuli A and G appear 19 times each on the 200 trials, 17 times associated with vanilla and 2 times associated with chocolate, with a vanilla-outcome probability of .89.

| Character | Feature 1<br>Moustache/<br>Hairclip | Feature 2<br>Hat/<br>Star pin | Feature 3<br>Glasses/<br>Handbag | Feature 4<br>Bowtie/<br>Belt | Frequency during learning<br>( /200 trials)<br>(Vanilla : Chocolate) | P<br>(Vanilla<br>outcome) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| A         | 0                                   | 0                             | 0                                | 1                            | 19 (17 : 2)                                                          | .89                       |
| B         | 0                                   | 0                             | 1                                | 0                            | 9 (7 : 2)                                                            | .78                       |
| C         | 0                                   | 0                             | 1                                | 1                            | 26 (24 : 2)                                                          | .92                       |
| D         | 0                                   | 1                             | 0                                | 0                            | 9 (2 : 7)                                                            | .22                       |
| E         | 0                                   | 1                             | 0                                | 1                            | 12 (10 : 2)                                                          | .83                       |
| F         | 0                                   | 1                             | 1                                | 0                            | 6 (3 : 3)                                                            | .50                       |
| G         | 0                                   | 1                             | 1                                | 1                            | 19 (17 : 2)                                                          | .89                       |
| H         | 1                                   | 0                             | 0                                | 0                            | 19 (2 : 17)                                                          | .11                       |
| I         | 1                                   | 0                             | 0                                | 1                            | 6 (3 : 3)                                                            | .50                       |
| J         | 1                                   | 0                             | 1                                | 0                            | 12 (2 : 10)                                                          | .17                       |
| K         | 1                                   | 0                             | 1                                | 1                            | 9 (5 : 4)                                                            | .56                       |
| L         | 1                                   | 1                             | 0                                | 0                            | 26 (2 : 24)                                                          | .08                       |
| M         | 1                                   | 1                             | 0                                | 1                            | 9 (4 : 5)                                                            | .44                       |
| N         | 1                                   | 1                             | 1                                | 0                            | 19 (2 : 17)                                                          | .11                       |

For each of the 14 characters (A to N), three sets of pictures were created; one illustrating only the character without the outcome (no ice cream cone or juice box), one with the presence of the outcome (the character is holding an ice cream cone or a juice box) and finally a generalization set was created for the test phase where each of the 14 stimuli was slightly modified from its original, either with a different color or shape of the 4 features (e.g. a different shape of moustache).

With exceptions noted below (see Information condition in section 3.3.2.1.3), the experiment was conducted with the VPixx<sup>TM</sup> software (VPixx Technologies; vpixx.com) on a 13-inch Apple MacBook Pro laptop computer. One key on the left side of the keyboard was identified for Vanilla (or apple) and one key on the right side of the keyboard was labelled for Chocolate (or grape). Since atypical language abilities are common in autism, the tasks were designed to require minimal verbal

information. Instructions were presented on the screen, combining simple written instruction and illustrated information.

### **3.3.2.2 Learning phase**

For clarity, the description of each task is done here using Mr. Potato Head (outcome: vanilla or chocolate ice cream) as an example throughout; all aspects were equivalent for Ms. Pumpkin (outcome: apple or grape juice). Participants performed two probabilistic categorization tasks adapted from the methodology of Shohamy et al. (2004) and Brown et al. (2010). Children were told that they were selling ice cream in an ice cream shop and that different customers would come to buy either vanilla or chocolate ice cream cones. Children were asked to learn which customers preferred vanilla or chocolate ice cream most of the time. Each task thus consisted of learning to categorize the customers, that is the 14 different characters, into their most likely outcome (characters preferring chocolate ice cream; characters preferring vanilla ice cream).

In the feedback condition (see section 3.3.2.1.1), tasks varied on feedback intensity, comparing basic informative vs basic informative plus elaborate but superfluous non-social feedback (*low* vs. *high* intensity of feedback). In the information condition (see section 3.3.2.1.3), tasks varied in the way information was presented, comparing *isolated* (one item at a time, in sequence) versus *simultaneous* (20 at a time, in arrays) presentation of stimuli. Each task was composed of three phases: a learning phase, which differed across the four learning situations; followed by two 70-trial test phases (*Test 1* and *Test 2*), similar for all 4 situations. These phases are detailed below.

#### **3.3.2.2.1 Feedback condition**

Children were asked to classify the stimuli into 2 categories by predicting whether the characters, or customers, preferred vanilla or chocolate ice cream. The general

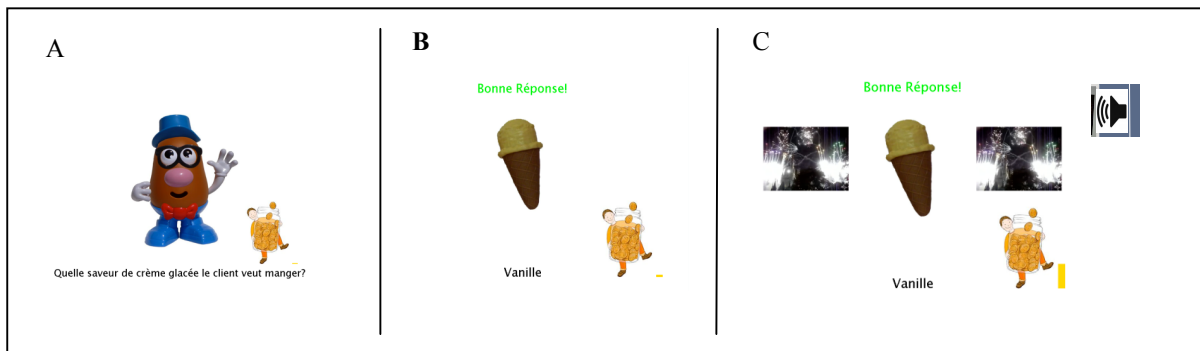
instruction consisted of the following sentences: “*Each time a customer comes, try to guess whether he prefers vanilla or chocolate ice cream. If you guess correctly, you will earn an extra tip!*” Participants were informed that during the first part of the game, they would receive feedback to help them learn the preference of their customers. They were told that they would have to guess at the beginning of the game, but that they might find it easier to guess as the game goes on. For each of the learning trials, a Mr. Potato Head character (without ice cream cone) was shown along with the prompt; “Which flavour do you think he wants?” Children responded by pressing either the vanilla or the chocolate button on the keyboard. There were 200 learning trials for each situation (*high* vs. *low* feedback). Each child thus completed 200 learning trials in the low feedback situation with one set of characters, and in a different session 200 learning trials in the *high* feedback situation with the other set of characters. The order of feedback situations and character sets was counterbalanced across children (**Figure 3.1 a**).

**Low feedback situation.** In the *low* feedback situation, feedback was restricted to basic, unimodal informative content with (a) the label for the correct answer - i.e., vanilla or chocolate - plus (b) written information in the form of “Good answer” in green or “Wrong answer” in red; and (c) a picture of the expected answer - a vanilla or chocolate ice cream cone. In addition, when the child answered correctly, the bar representing the tip jar on the right side of the screen increased a step. If the child answered incorrectly, there was no removal of previously gained tips. Therefore, all components in the *low* feedback situation were to some degree informative about either the categories or the performance of the child. See **Figure 3.1 b** for an example.

**High feedback situation.** In the *high* feedback situation, the same basic informative feedback was also provided for correct and incorrect answers (picture and written information about the correct/incorrect answer, tip jar representative of performance), but with additional, multimodal and symbolic feedback for correct answers. This

consisted of a celebratory visual pattern and sound in the form of animated grayscale visual fireworks, coupled with background (i.e., not loud or startling) sounds of fireworks. Note that the sound volume was adjusted to each child's preferences. See **Figure 3.1 c** for an example.

For both feedback situations, feedback remained on the screen during three seconds; 5 seconds maximum per item was allowed and a 500 ms interstimulus interval was used. If the child did not respond within the 5 seconds limit, it was counted as a missing value and the next trial began. Prior to the learning phase, participants completed 5 practice trials during which instructions were explained. The 200 trials were presented randomly for each child in each situation.



**Figure 3.1** Feedback condition stimuli. (A) Both *low* and *high* feedback situations: children see one character at a time and have to guess which flavor (vanilla or chocolate) is associated with each character. (B) *Low* feedback: correct answer in green text with coin added to tip jar, incorrect answer (not shown) in red text. (C) *High* feedback: same as B, but with added animated fireworks (visual and auditory) for correct answers.

### 3.3.2.2.2 *Information condition*

To assess the role played by information presentation, half the participants learned first by being presented one stimulus at a time (*isolated* situation) and the other half were presented several stimuli at once (*simultaneous* situation). Participants were instructed that they would see many different pictures of customers, along with their favourite flavour of ice cream cone (either vanilla or chocolate). Children were

instructed to observe the different patterns and to try to learn the customers' preferences: "*Look at each customer and try to learn what kind of customers prefer vanilla and which kind of customers prefer chocolate. Later on, you will see more customers without their cones, and be asked to guess which flavour they prefer.*"

***Isolated situation.*** In the *isolated* situation, participants were presented on the computer screen with 200 stimuli, one character at a time and each character with an outcome, i.e. holding an ice cream cone. Children pressed the space bar when ready to see the next character, with a maximum of 5 seconds allowed per character; however most children in both groups spent approximately 1 to 2 seconds on average looking at each character. There was a pause offered after the first 100 characters, but most of the children took no pause or only a few seconds' break to stretch then continued immediately with the second hundred characters. Children were presented the same 200 characters as in the feedback condition, but with the characters holding their preferred ice cream cones, in random order (see **Figure 3.2 a**).

***Simultaneous situation.*** In the *simultaneous* situation, stimuli were presented using a board (55 x 65 cm) with arrays of cards (each 7.7 cm X 7.7 cm). The 200 characters were divided in 10 sets of 20 cards such that each set presented 10 customers holding a vanilla cone and 10 customers holding a chocolate cone. After the instructions were given (same as in the *isolated* situation), a first set of 20 cards was presented and the child was asked to place each of the 20 items on each side of the board so all 20 cards could be visible at the same time (10 items associated with vanilla on the left side of the board and 10 items associated with chocolate on the right side of the board). After 60 seconds or when the child indicated they had observed enough, the stimuli were removed and another set of 20 cards was presented, until the child had observed all 200 stimuli. See **Figure 3.2 b**. Similar to the *isolated* situation, no child in either group took the full 60 seconds allowed. Most of the children observed each set between 15 and 20 seconds.



**Figure 3.2** Information condition stimuli. **(A)** *Isolated* situation: children see all 200 characters with their associated flavours (vanilla or chocolate) one at a time at their own pace, pressing the space bar when ready to see the next character. **(B)** *Simultaneous* situation: children arrange and see arrays of 20 character-flavour associations (10 vanilla, 10 chocolate) at their own pace, until they have seen all 200 stimuli.

### 3.3.2.3 Test phases (Test 1 and Test 2)

The learning phase in each of the 4 situations was followed by two computer-based test phases (the same for each learning situation) in which children classified the same or equivalent 14 stimuli, but this time without any feedback or outcomes. The test phases employed two types of stimuli. Test 1 used learning-phase stimuli (same 14 characters). Children were instructed that they would now see the same customers without their ice cream cone or without feedback and that they would have to predict the correct flavour of ice cream for each customer. Test 2 used equivalent but new stimuli (e.g. a different kind of hat, glasses, bowtie, and/or moustache) requiring generalization of learning. Children were told that they would now see “new” customers and they should try to guess what their preferences are. Both test phases consisted of each of the 14 stimuli (same or equivalent) presented 5 times, for a total of 70 trials. On each of the 70 trials, the children were seeing a character without their ice cream cone and with the prompt; “What flavour do you think he wants?” After children responded by pressing the vanilla or chocolate button on the keyboard, the next trial was presented. No feedback was provided in either test phase; children had to rely on the stimuli-outcome probabilities experienced during the learning phase. 5

seconds maximum per item was allowed, with a 500 ms interstimulus interval. If the child did not respond within the 5 seconds, it was counted as a missing value and the next trial began.

### 3.4 Results

#### 3.4.1 Data analysis

Data were analyzed with SPSS 24. For the two test phases following each of the 4 learning situations, both accuracy and response times (RTs) were recorded, though it is important to note that the children received no instructions with respect to response speed, i.e., they were not instructed to respond as quickly as possible (see above for the task instructions). We compared children's accuracy and RTs across the 5 non-chance levels of probability to assess the impact of the 4 different learning situations on categorization performance in the two test phases. Accuracy (% correct responses) was recorded based on the outcome most often associated with the pattern. As an example, pattern A is more often associated with vanilla so vanilla was the expected answer for that pattern. Two characters were equally associated with the 2 categories (F and I) and thus were excluded from the analyses. For RTs, items with no response were removed from the analyses. The first comparison was across both conditions: mixed linear models allowed comparing accuracy across all 4 learning situations within each group. Mixed linear models were used as each child completed two of the four situations. Then, for each condition (i.e. Feedback condition and Information condition), total accuracy and RTs were submitted to a 2 (Group) x 2 (Type of learning situation: *low* vs *high*; or *isolated* vs *simultaneous*) ANOVA. Planned within-group comparisons directly targeting our main objectives were conducted on low vs high feedback conditions, as well as isolated vs simultaneous conditions. To verify the effect of stimulus-outcome probability on the performance, another 2 (Group) x 2 (Type of learning situation: *low* vs *high*; or *isolated* vs *simultaneous*) x 5

levels of stimulus-outcome probabilities (.55, .78, .83, .89, .92) ANOVA was conducted. All statistical comparisons were two-tailed and used an alpha of .05. Finally, we conducted a post-hoc exploratory comparison of the proportion of children in each group who achieved at least 60% accuracy on Test 1 across the different learning situations.

### **3.4.2 Preliminary analysis**

#### Sex differences

As the total and feedback condition samples were not sex-matched (greater proportion of girls in the typical group; see Table 1), preliminary analyses were conducted with data from boys only, to verify whether the pattern of results differs from that of boys and girls considered together. A 2 x 5 x 2 mixed ANOVA was run for accuracy, with type of learning situation (either *low* vs *high*; or *isolated* vs *simultaneous*) and stimulus-outcome probability (.92, .89, .83, .78, .55) as within-subject factors and group (autistic vs typical) as the between-subject factor. The same analysis was run for RTs. In these two analyses, patterns of results with boys only were the same as with the entire sample (boys and girls together); thus, we present only analyses conducted on the entire sample.

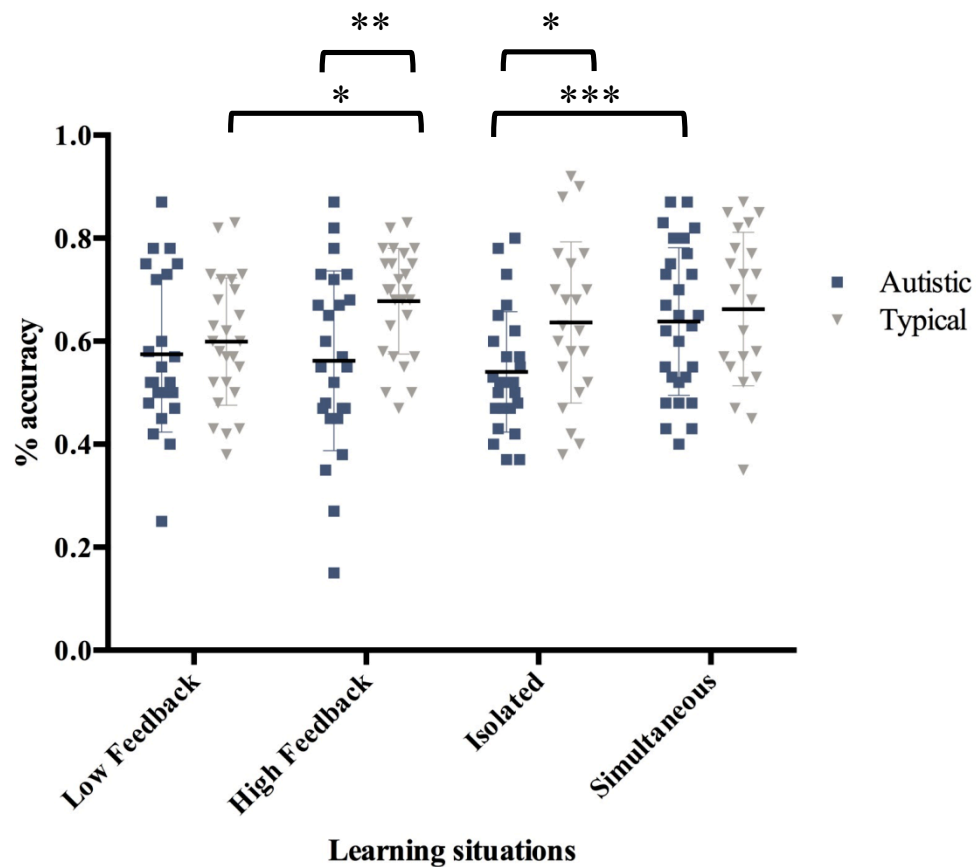
#### Category set (Mr. Potato Head vs Ms. Pumpkin)

As each child completed learning and test phases once with Mr. Potato Head and once with Ms. Pumpkin, preliminary analyses were conducted to verify whether the two sets of stimuli were equivalent with respect to performance. A series of *t* tests were completed for each group (autistic; typical) and each condition separately, finding no significant differences for performance (accuracy and RTs, all *ps* > .05) with Mr. Potato Head-based characters versus Ms. Pumpkin-based characters. The two category sets were thus collapsed for the remaining analyses.

### 3.4.3 Main analysis

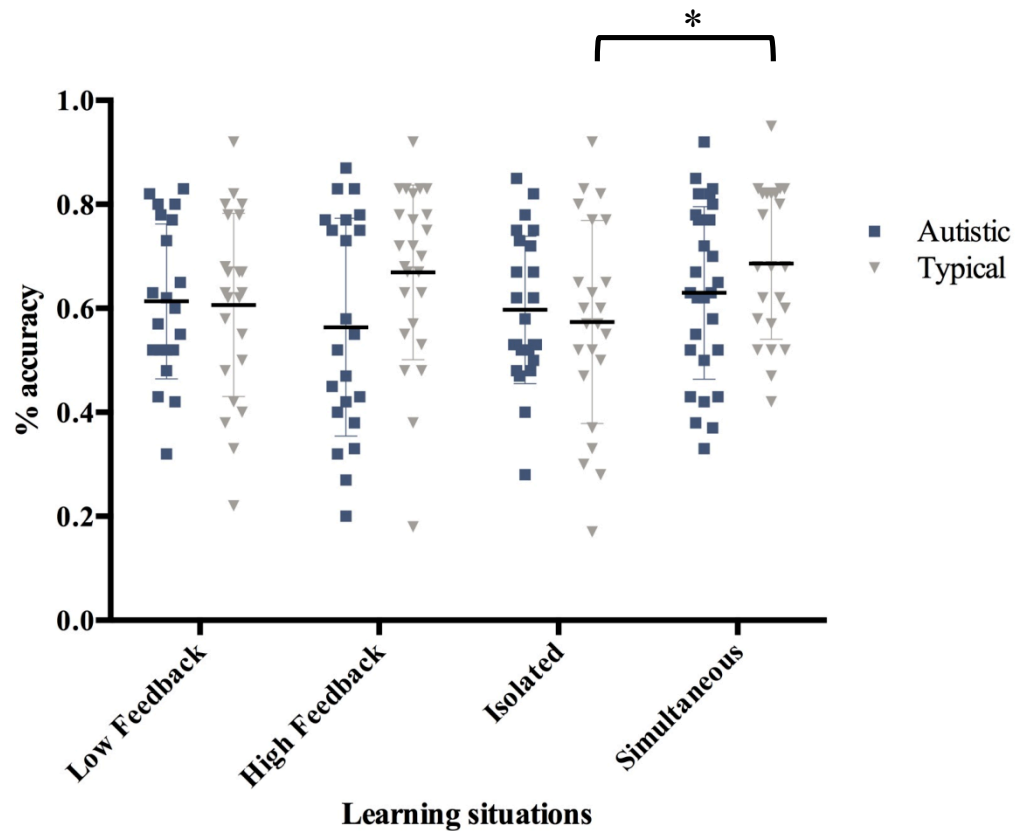
#### 3.4.3.1 Comparison among the four learning situations

For Test 1 (same stimuli as learning phase), the mixed model results (comparison of autistics and non-autistics across all 4 conditions) showed a significant discrepancy among the four situations for the autistic children,  $F_{(3, 35.2)} 5.491$ ,  $p = .003$ ,  $f^2 = .141$ . Pairwise comparisons indicated better performance in the *simultaneous* versus *isolated* information situation ( $p < .001$ ), as well as trend-level better performance in the *simultaneous* information vs *high* feedback situations ( $p = .080$ ). A different profile was found for typically-developing children. The mixed model showed a tendency towards difference in performance among the four situations,  $F_{(3, 28.3)} 2.372$ ,  $p = .0902$ ,  $f^2 = .051$ , driven by better performance on the *high* vs *low* feedback situation ( $p = .009$ ) for typically-developing children, with no other significant pairwise differences. See **Table 3.3 a** and **Figure 3.3**.



**Figure 3.3.** Test 1 (same stimuli) overall accuracy across all 4 learning situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

For Test 2 (generalization stimuli), autistic children's performance on the 4 situations was similar,  $F_{(3, 34.91)} = 1.079$ ,  $p = .371$ . Typical children showed a tendency for discrepancy among the 4 situations,  $F_{(3, 31.493)} = 2.597$ ,  $p = .070$ ; t-tests revealed a better performance on the *simultaneous* vs the *isolated* information situation ( $p = .02$ ). See Table 3.3 a and Figure 3.4.



**Figure 3.4.** Test 2 (Generalization stimuli) overall accuracy across all 4 learning situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

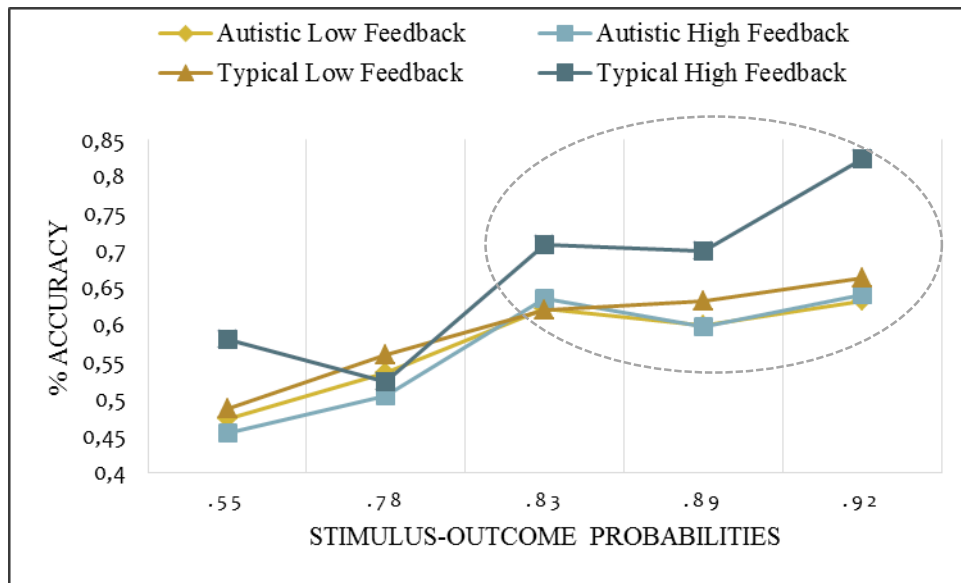
### 3.4.3.2 Feedback condition

#### Test 1 (same stimuli as during learning phase)

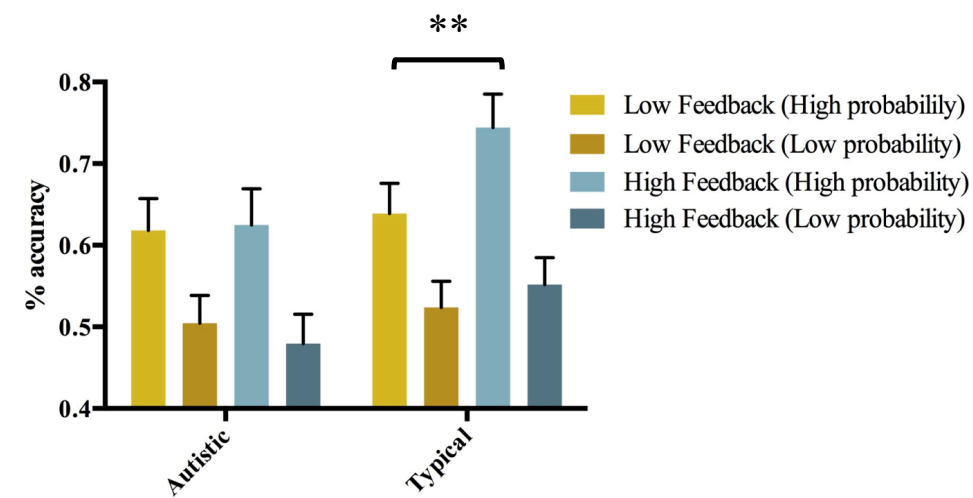
First, the Group by Feedback situation ANOVA revealed no main effect of Situation,  $F_{(1, 45)} 1.672$ ,  $p = .203$ ,  $\eta^2 = .036$ , but a trend for a main effect of Group,  $F_{(1, 45)} 3.696$ ,  $p = .06$ ,  $\eta^2 = .076$ , with autistic children having generally lower accuracy compared to typical children. Planned comparisons revealed that typical children's accuracy was

significantly greater in the *high* ( $M = .68$ ,  $SD = .10$ ) compared to the *low* ( $M = .60$ ,  $SD = .12$ ;  $t_{(24)} = 2.409$ ,  $p = .024$ ,  $d = .651$ ) feedback situation, whereas autistic children performed with similar accuracy in both feedback situations (*low*  $M = .57$ ,  $SD = .15$  vs *high*  $M = .56$ ,  $SD = .17$ ;  $t_{(21)} = .120$ ,  $p = .906$ ,  $d = .031$ ). Typical children were also significantly more accurate than autistic children in the *high* feedback situation ( $t_{(49)} = 2.925$ ,  $p = .005$ ,  $d = .845$ ), but accuracy did not differ between groups in the *low* feedback situation ( $t_{(46)} = .641$ ,  $p > .05$ ,  $d = .180$ ). See **Table 3.3 a** and **Figure 3.3**.

Then, the impact of feedback situation on accuracy and RTs according to items probability was assessed with a Group X Feedback situation X Stimulus-outcome probability ANOVA. Percentage of correct responses increased with increasing stimulus-outcome probability, as shown by a main effect of stimulus-outcome probability ( $F_{(1, 180)} = 15.469$ ,  $p < .001$ ,  $n^2 = .256$ ) and a significant linear contrast between percentage correct response and stimulus-outcome probability ( $F_{(1, 45)} = 37.675$ ,  $p < .001$ ,  $n^2 = .456$ ). Therefore, both groups performed more accurately on higher stimulus-outcome probabilities, and changes across level of probability were similar for both groups. There was no main effect of feedback situation (*high* vs *low*), but a trend for a main effect of group ( $F_{(1, 45)} = 3.909$ ,  $p = .054$ ,  $n^2 = .080$ ), without an interaction between feedback situation and group, with autistic children overall tending to have lower accuracy ( $M = .57$ ,  $SD = .23$ ) than typical children ( $M = .63$ ,  $SD = .20$ ) (**Figure 3.5**). To further understand this group difference, we collapsed the 5 levels of stimulus-outcome probability into 2 more general higher (.92, .89, .83) and lower (.78, .55) probability levels. The collapsing of probability levels was based on the data pattern on both conditions (**Figures 3.5** and **3.7**) where higher discrepancy among level of stimulus-outcome starts generally between items with probability of .78 versus .83. While autistic children performed similarly across these 2 probability levels in both feedback situations, performance of typical children on items with higher probabilities was greater in the *high* compared to the *low* feedback situation,  $t_{(24)} = 2.363$ ,  $p = .0027$ ,  $d = .628$  (**Figure 3.6**).

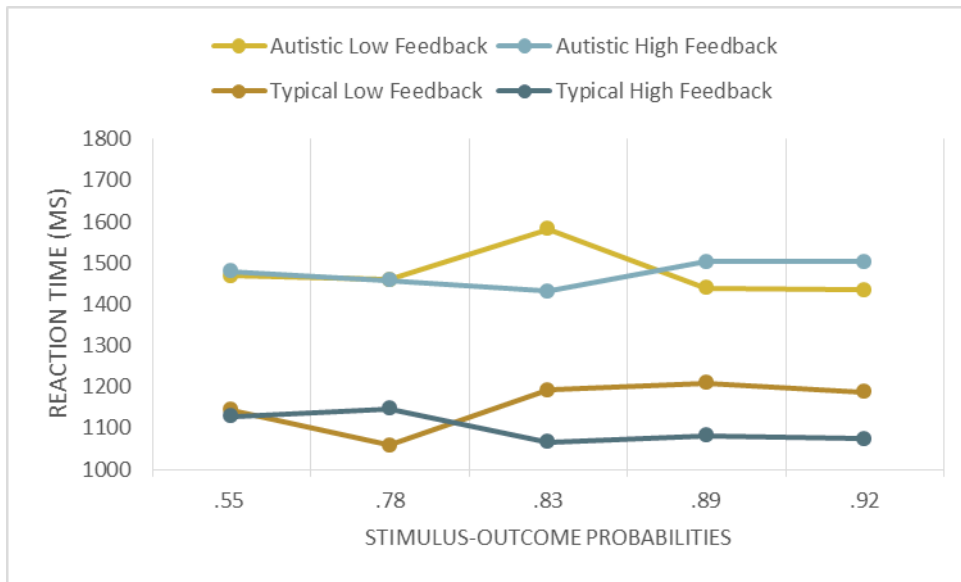


**Figure 3.5** Test 1 (same stimuli) mean accuracy on each stimulus-outcome probability for low and high feedback situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$



**Figure 3.6** Test 1 (same stimuli) mean accuracy for combined high stimulus-outcome probability (.92, .89, .83) versus low stimulus-outcome probability (.78, .55), for *low* and *high* feedback situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

For RTs, there was no main effect of feedback situation or probability level. However, there was a main effect of group,  $F_{(1, 44)} = 9.548$ ,  $p = .003$ ,  $\eta^2 = .178$ , with autistic children ( $M = 1.47s$   $SD = .57$ ) taking overall significantly more time to respond than typical children ( $M = 1.13s$   $SD = .38$ ), see **Figure 7, Table 3b**.



**Figure 3.7** Test 1 (same stimuli) mean reaction time (ms) on each stimulus-outcome probability for low and high feedback situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

### Test 2 (Generalization stimuli)

Autistic and typical children were able to transfer their learning to new stimuli, performing with similar accuracy on Test 2 compared to Test 1 in both *low* (autistic:  $t_{(20)} = .928$ ,  $p = .365$ ,  $d = .197$ ); typical:  $t_{(22)} = .195$ ,  $p = .848$ ,  $d = .033$ ) and *high* (autistic:  $t_{(21)} = .288$ ,  $p = .776$ ,  $d = .059$ ; typical:  $t_{(24)} = .542$ ,  $p = .593$ ,  $d = .111$ ) feedback situations. In Test 2, autistic children's performance was similar in the *low* vs *high* feedback situation, as was also the case for typical children ( $p$ 's  $> .05$ ). Comparing groups, there was a trend for a better accuracy in typical children than in autistic

children in the *high* feedback situation ( $t_{(45)} = 1.9, p = .06$ ), while both groups again showed similar performance in the *low* feedback situation,  $p = .9$  (**Table 3.3 a, Figure 3.4**).

The Group X Feedback situation X Stimulus-outcome probability ANOVA revealed a main effect of stimulus-outcome probability ( $F_{(1, 156)} = 6.155, p < .001, \eta^2 = .136$ ), with percentage of correct responses increasing with higher stimulus-outcome probability. The increase was similar in both groups.

As for **RTs**, no between-group difference was found in the *low* feedback situation, while autistic children showed significantly longer RTs compared to typical children in the *high* feedback situation ( $t_{(45)} = 2.209, p = .032, d = .636$ ), see **Table 3.3 b**.

**Table 3.3 A)** Overall accuracy for each learning situation in each test, means (M) and standard deviations (SD); **B)** Overall RTs (in seconds) for each situation in each test, means (M) and standard deviations (SD).

| <b>A) Accuracy</b>              | <b>Autistic<br/>M (SD)</b> | <b>Typical<br/>M (SD)</b> | <b>P</b>  |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|
| Test 1 (Same stimuli)           |                            |                           |           |
| Low Feedback                    | .57 (.15)                  | .60 (.12)                 | <i>ns</i> |
| High Feedback                   | .56 (.17)                  | .68 (.10)                 | .005      |
| Isolated                        | .54 (.12)                  | .64 (.15)                 | .02       |
| Simultaneous                    | .64 (.14)                  | .66 (.15)                 | Ns        |
| Test 2 (Generalization stimuli) |                            |                           |           |
| Low Feedback                    | .61 (.15)                  | .61 (.18)                 | <i>ns</i> |
| High Feedback                   | .57 (.21)                  | .67 (.17)                 | .06       |
| Isolated                        | .60 (.14)                  | .58 (.19)                 | Ns        |
| Simultaneous                    | .64 (.17)                  | .68 (.15)                 | <i>ns</i> |
| <b>B) Reaction time</b>         | <b>Autistic<br/>M (SD)</b> | <b>Typical<br/>M (SD)</b> |           |
| Test 1 (Same stimuli)           |                            |                           |           |
| Low Feedback                    | 1.4780 (.110)              | 1.1598 (.073)             | .02       |
| High Feedback                   | 1.5285 (.097)              | 1.1022 (.063)             | .001      |
| Isolated                        | 1.5685 (.104)              | 1.5828 (.121)             | <i>ns</i> |
| Simultaneous                    | 1.5086 (.097)              | 1.4516 (.093)             | <i>ns</i> |
| Test 2 (Generalization stimuli) |                            |                           |           |
| Low Feedback                    | 1.2997 (.085)              | 1.1225 (.069)             | <i>ns</i> |
| High Feedback                   | 1.3071 (.085)              | 1.0968 (.049)             | .03       |
| Isolated                        | 1.2223 (.066)              | 1.3780 (.092)             | Ns        |
| Simultaneous                    | 1.1876 (.065)              | 1.3040 (.075)             | Ns        |

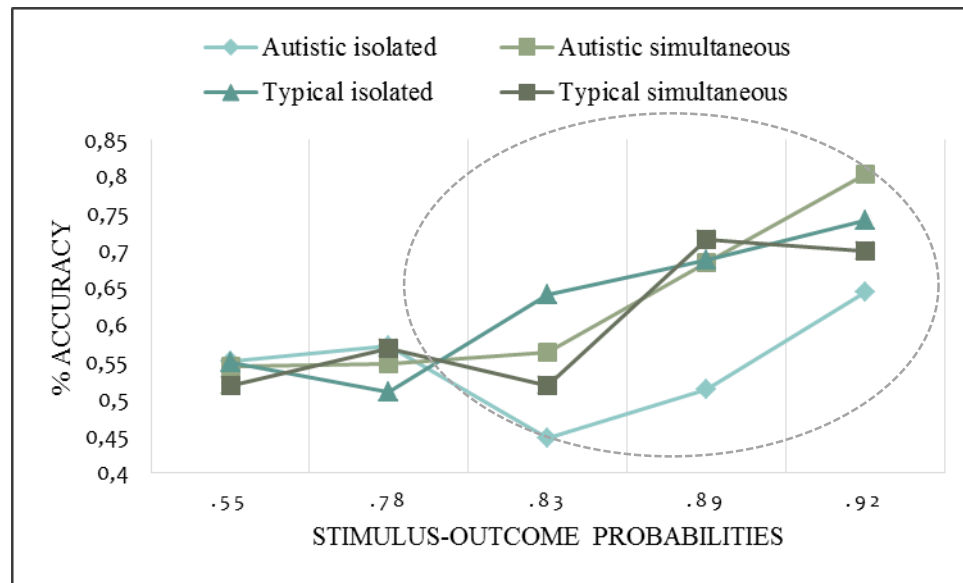
### 3.4.3.3 Information condition

#### Test 1 (same stimuli as during learning phase)

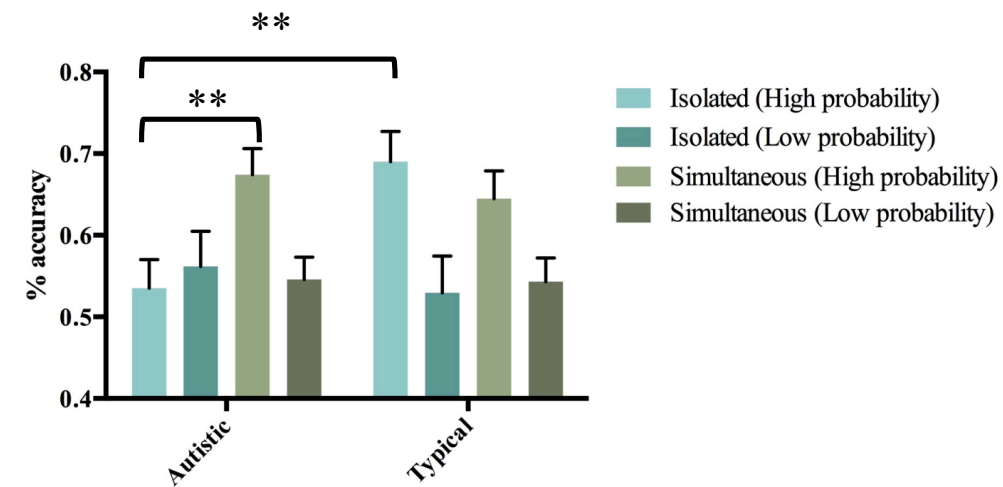
First, the Group by Information situation ANOVA on total accuracy revealed a main effect of Information situation ( $F_{(1, 46)} 10.349, p=.002, \eta^2=.184$ ), and a small interaction between Information situation and Group, ( $F_{(1, 46)} 4.151, p=.047, \eta^2=.083$ ), without a main effect of Group. Planned comparisons revealed that autistic children performed significantly better in the *simultaneous* ( $M=.64, SD=.14$ ) compared to the *isolated* ( $M=.54, SD=.12; t_{(24)} 4.202, p<.001, d=.830$ ) situation, whereas typical children showed similar performance in both situations (*isolated*  $M=.64, SD=.15$ ;

*simultaneous*  $M=.66$ ,  $SD=.15$ ;  $t_{(21)} .703$ ,  $p=.490$ ,  $d=.168$ ). Autistic children were less accurate than typical children in the *isolated* situation ( $t_{(45)} 2.367$ ,  $p= .022$ ,  $d= .686$ ) but performed with similar accuracy in the *simultaneous* situation ( $t_{(48)} .566$ ,  $p= .574$ ,  $d=.161$ ). Interestingly, 72% of autistic children showed an advantage in the *simultaneous* versus the *isolated* situation, compared to 45% of typical children (**Table 3.3 a, Figure 3.3**).

Then, the Group X Information situation X Stimulus-outcome probability ANOVA on accuracy revealed no main effect of Information situation ( $F_{(1, 45)} 2.044$ ,  $p= .160$ ) or group ( $F_{(1, 45)} .689$ ,  $p= .411$ ), but a significant interaction between Information situation and Group ( $F_{(1, 45)} 6.015$ ,  $p= .018$ ,  $n^2= .118$ ). Whereas typical children had similar accuracy in both situations, autistic children performed better in the *simultaneous* situation. There was also a main effect of stimulus-outcome probability ( $F_{(4, 180)} 17.497$ ,  $p< .001$ ,  $n^2= .280$ ), along with a significant linear contrast ( $F_{(1, 45)} 50.434$ ,  $p< .001$ ,  $n^2= .528$ ) revealing that children in both groups learned more easily the items with higher probabilities. There was also a trend for a significant group X probability interaction ( $F_{(4, 180)} 2.109$ ,  $p= .082$ ) (**Figure 3.8**). To further understand this interaction, we again collapsed the 5 levels of stimulus-outcome probability into 2 more general higher (.92, .89, .83) and lower (.78, .55) probability levels. At the higher probability level, autistic children performed less accurately than typical children in the *isolated* information situation (autistic,  $M= .54$   $SD .15$ ; typical,  $M= .69$  (.19),  $t_{(45)} 3.058$   $p= .004$ ,  $d= .888$ ), but performed similarly to typical children in the *simultaneous* information situation (autistic,  $M=.66$   $SD .16$ ; typical,  $M= .64$   $SD .16$ ,  $t_{(48)} .378$   $p= .707$ ) (**Figure 3.9**).

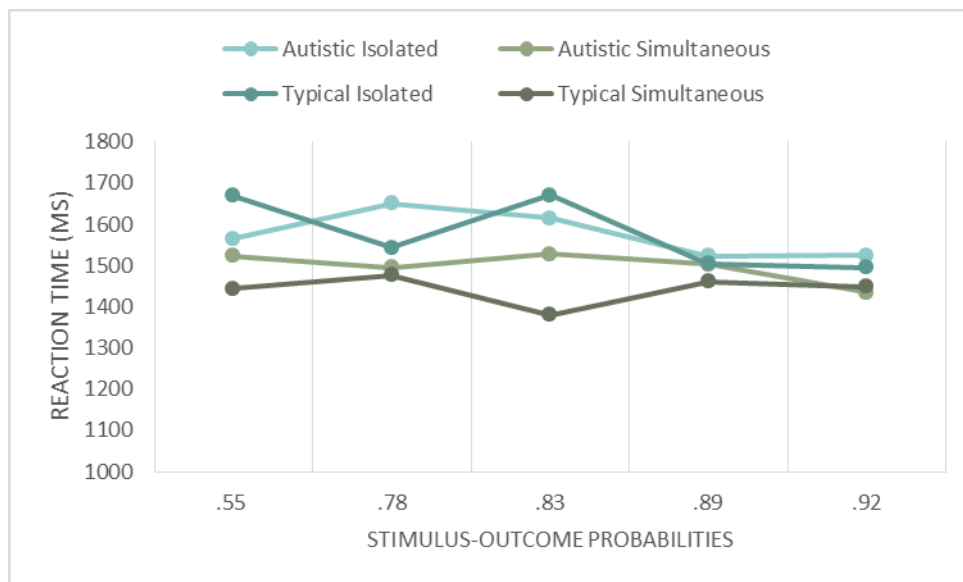


**Figure 3.8** Test 1 (same stimuli) mean accuracy on each stimulus-outcome probability for isolated and simultaneous situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$



**Figure 3.9** Test 1 (same stimuli) mean accuracy for combined high (.92, .89, .83) versus low (.78, .55) stimulus-outcome probability, for isolated and simultaneous situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

For **RTs**, there was no main effect of information situation, stimulus-outcome probability, or group, meaning that autistic (*isolated*  $M=1.57s$ ,  $SD=.52$ ; *simultaneous*  $M=1.50s$ ,  $SD=.52$ ) and typical (*isolated*  $M=1.59s$ ,  $SD=.56$ ; *simultaneous*  $M=1.45s$ ,  $SD=.44$ ) children had similar RTs, regardless of how information was presented (**Table 4b**) or the probabilistic strength of the stimuli, all  $p's > .05$  (**Figure 3.10**, **Table 3b**).



**Figure 3.10** Test 1 (same stimuli) mean reaction time on each stimulus-outcome probability for isolated and simultaneous situations. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$

### Test 2 (Generalization stimuli)

As in the feedback condition, autistic children were able to transfer their learning to new stimuli. This transfer was found for both information situations, with accuracy

improved (*isolated* situation,  $t_{(23)} = 2.650$ ,  $p = .014$ ,  $d = .439$ ) or unchanged (*simultaneous* situation,  $t_{(27)} = .111$ ,  $p = .913$ ,  $d = 0.015$ ) on Test 2 compared to Test 1. Typical children were also able to transfer their learning and this for both situations (*isolated* situation,  $t_{(20)} = 1.460$ ,  $p = .159$ ,  $d = .310$ ; *simultaneous* situation,  $t_{(21)} = .789$ ,  $p = .439$ ,  $d = 0.113$ ). Autistic children's Test 1 advantage in the *simultaneous* vs *isolated* situation was thus maintained only at a trend level in Test 2 (*simultaneous*  $M = .64$ ,  $SD = .17$ ; *isolated*  $M = .60$ ,  $SD = .14$ ;  $t_{(23)} = 1.810$ ,  $p = .083$ ,  $d = .364$ ). Typical children's Test 2 accuracy tended to be lower in the *isolated* ( $M = .57$ ,  $SD = .19$ ) vs the *simultaneous* ( $M = .69$ ,  $SD = .15$ ;  $t_{(21)} = 2.071$ ,  $p = .051$ ,  $d = .017$ ) situation. Comparing groups, performance was similar on both *isolated* ( $t_{(45)} = .515$ ,  $p = .609$ ) and *simultaneous* ( $t_{(49)} = 1.079$ ,  $p = .286$ ) situations, as were RTs (*isolated*  $t_{(45)} = 1.386$ ,  $p = .173$ ; *simultaneous*  $t_{(49)} = 1.185$ ,  $p = .242$ ); see **Tables 3a** and **3b**, and **Figure 3.4**.

The Group X Information situation X Stimulus-outcome probability ANOVA on accuracy revealed a main effect of Situation, ( $F_{(1, 45)} = 9.117$ ,  $p = .004$ ,  $n^2 = .168$ ), where both groups performed better in *simultaneous* than *isolated* presentation, with no main effect of Group or interaction between two on accuracy of Test 2. There was also a main effect of Stimulus-outcome probability ( $F_{(1, 180)} = 6.152$ ,  $p < .001$ ,  $n^2 = .120$ ) with percentage of correct responses increasing with higher stimulus-outcome probability. Therefore, as expected, both groups performed more accurately with higher stimulus-outcome probabilities, and changes across level of probability were similar for both groups.

The same ANOVA on RTs revealed no main effect of information situation, stimulus-outcome probability, or group, meaning that autistic (*isolated*  $M = 1.22s$ ,  $SD = .32$ ; *simultaneous*  $M = 1.20s$ ,  $SD = .34$ ) and typical (*isolated*  $M = 1.37s$ ,  $SD = .44$ ; *simultaneous*  $M = 1.32s$ ,  $SD = .38$ ) children had similar RTs, regardless of how information was presented (**Table 3.4 b**) or the probability of the stimuli, all  $p$ 's  $> .05$ .

#### 3.4.3.4 Exploratory post-hoc comparison

First, there was no significant association between verbal IQ (VCI) or non-verbal IQ (PRI) and accuracy on either situation, and this for both groups (all  $r$ 's:  $p > .05$ ). There was also no association between visual working memory (spatial span backward) and accuracy on either 4 situations (all  $r$ 's:  $p > .05$ ), except for autistic children in the isolated presentation ( $r = .456$ ,  $p = .025$ ).

Second, in the feedback condition, the proportion of children who achieved 60% accuracy or higher on Test 1 was 52% in the *low feedback* situation vs 69% in the *high feedback* situation in the typical children group, and 39% vs 44% respectively in the autistic children group. In the information condition, the proportion of children who achieved 60% accuracy or higher on Test 1 was 57% in the *isolated* situation vs 61% in the *simultaneous* situation in the typical group, and 27% vs 62% respectively in the autistic group. As this comparison was post-hoc and exploratory, we did not use statistical analyses within or across groups.

### 3.5 Discussion

On a probabilistic classification task, both autistic and typical children were able to learn novel categories in four different learning situations. This adds to the growing literature (Zwart, Vissers, Kessels, & Maes, 2018a, b, for recent studies) showing that autistics can and do learn implicitly from complex probabilistic information, given the opportunity. We also found that learning situations affected performance within both groups, but not in the same manner. Across all four learning situations, typical children were most accurate after learning with high-intensity feedback, whereas autistic children were most accurate after learning with simultaneously-presented

information. Across the two situations in each condition, only typical children performed better with high (vs low) intensity feedback, but only autistic children performed better with simultaneous (vs isolated) information. Learning situations were also important when comparing performance between groups. With either high intensity feedback or information presented in isolation, autistic children performed less accurately than typical children. In contrast, with either low intensity feedback or information presented simultaneously, groups did not differ in accuracy. Groups were similar in how their accuracy was affected by the full range of stimulus-outcome probabilities but differed at the highest probability levels, with typical children advantaged by high-intensity feedback and autistic children by simultaneously-presented information.

Both autistic and typical groups were able to generalize their learning to new stimuli, with little difference in accuracy within groups across learning situations or between groups in each situation. These results do not support the influential view that autistics are impaired in generalizing what they learn (Davis & Plaisted-Grant, 2015). For response times, there was no instruction for participants to perform rapidly, but we found that autistic children were slower than typical children in both feedback learning situations, and this slower performance carried over into generalization in the high intensity feedback situation. However, there were no group differences in response times in the two information presentation situations, neither of which used feedback.

Overall, we found no evidence that school-aged autistic children are unmotivated to learn or require frequent, elaborate, and/or potent feedback (rewards or reinforcers) to do so. This confirms the observation in the savant and hyperlexia literatures (e.g. Atkin & Lorch, 2006; Happe & Frith, 2009) that learning itself can be motivating for autistic children, sometimes extraordinarily so, at least in some situations. Our results converged on the best situation for learning in autism, among the four offered, being

one in which autistics have free access to simultaneously-presented arrays of complex information. This situation allowed autistic children to arrange the information as they wished and to combine information across levels and scales, from single features and characters to patterns across and between entire arrays (Motttron et al., 2009).

Our findings are nuanced but suggest clear emerging directions despite the narrow confines of our task, its short timespan, limited and specific stimuli, and relatively minor manipulations. For example, the *simultaneous* situation falls well short in quantity and complexity when compared to the arrays of information autistic children may use when spontaneously learning in exceptional ways (e.g. Ostrolenk et al., 2017; Kissine et al., 2018). Conversely, the *isolated* stimuli were not as simplified, nor the intense feedback as elaborate, as in some autism interventions. Situations featuring simplified information and/or frequent or extraneous feedback (Broadbent & Stokes, 2013; Crawley et al., 2019; Pellicchia et al., 2019) may lead to the undermining and thus underestimation of autistic learning. For example, in Scott-Van Zeeland et al. (2010a), a simplified probabilistic task was combined with elaborate social and non-social feedback, resulting in at-chance autistic performance. Autistic learning may also be underestimated if any evidence of learning is wrongly interpreted as evidence for an effective and/or optimal intervention. In our study, autistic children could indeed learn in all situations. Yet, comparisons of performance found some situations hampered their learning when compared to typical children's and/or when compared to better situations for autistic learning. These kinds of comparisons are not features of the autism intervention literature, and nor are assessments which would capture the plausibly greater effort required of the autistic children in our study, reflected in their slower performance, after learning with (vs. without) feedback.

There are conflicting views of learning in autism which lead to different portrayals of and predictions about the same population. On the one hand, learning in autism would be impeded by numerous proposed autistic deficits (poor motivation, stimulus

over-selectivity, executive dysfunction, failure to generalize, sensory dysfunction, etc.). In this view, autistics may learn but only via highly effortful, gradual, explicit, simplified, and intensified forms of instruction (e.g., Smith, 2001; Mandell et al., 2013; Lovaas, 2003; Leaf & McEachin, 1999; Odom et al., 2010; Cannon et al., 2011; Kenworthy et al., 2014; Wong et al., 2015). On the other hand, learning in autism would be atypical and potentially exceptional, or outstanding, in some situations. Given the opportunity, autistics may spontaneously extract regularities from large arrays of complex information (Dawson et al., 2008; Mottron, Dawson, & Soulieres, 2009; Mottron et al., 2013). These disparate views generate contrasting predictions about situations which may benefit or hinder autistic learning. We found that autistic children were hindered by situations representing common practices under the dominant view: that is, the use of high intensity feedback, and the use of simplified information presented in small increments one at a time. At the same time, and as predicted by an emerging view, we found that autistic children benefited from a feedback-free situation where they have access to large quantities of simultaneously-presented complex information.

### **3.6 Acknowledgements**

We gratefully thank the participants, their families, school administrators, and staff for their time and commitment for this research. We also thank Eliane Danis and Alexandra Tremblay for assistance. This study was presented as part of Ph.D. dissertation of the first author. Thanks also to our funding sources. This work is supported by a career award to IS from Fonds de recherche du Québec – Santé (Quebec's Health Research Fund). These founding sources had no involvement in the study design, the collection, analysis and interpretation of data and in manuscript writing.

### 3.7 References

American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV-TR* (4th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.

Association, A. P. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*: American Psychiatric Pub.

Atkin, K., & Lorch, M. P. (2006). Hyperlexia in a 4-year-old boy with autistic spectrum disorder. *Journal of Neurolinguistics*, 19(4), 253-269.

Broadbent, J., & Stokes, M. A. (2013). Removal of negative feedback enhances WCST performance for individuals with ASD. *Res Autism Spectr Disord*, 7(6), 785-792. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.03.002>

Brown, J., Aczel, B., Jiménez, L., Kaufman, S. B., & Grant, K. P. (2010). Intact implicit learning in autism spectrum conditions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(9), 1789-1812. doi:10.1080/17470210903536910

Cannon, L., Kenworthy, L., Alexander, C., Werner, M. A., & Anthony, L. G. (2011). Unstuck and on target. *An executive function curriculum to improve flexibility for children with autism spectrum disorders*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes.

Charman, T., Pickles, A., Simonoff, E., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2011). IQ in children with autism spectrum disorders: data from the Special Needs and Autism Project (SNAP). *Psychological medicine*, 41(3), 619-627.

Church, B., Krauss, M., Lopata, C., Toomey, J., Thomeer, M., Coutinho, M., . . . Mercado, E. (2010). Atypical categorization in children with high-functioning autism spectrum disorder. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 862-868. doi:10.3758/pbr.17.6.862

Cooper, J.O. , Heron, T.E. , & Heward, W.L. (2007). *Applied behavior analysis* (2nd ed). Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.

Courchesne, V., Meilleur, A. A. S., Poulin-Lord, M. P., Dawson, M., & Soulières, I. (2015). Autistic children at risk of being underestimated: school-based pilot study of a strength-informed assessment. *Molecular autism*, 6(1), 12.

Cowen, T. (2011). An economic and rational choice approach to the autism spectrum and human neurodiversity.

Davis, G., & Plaisted-Grant, K. (2015). Low endogenous neural noise in autism. *Autism, 19*(3), 351-362.

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

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

Eigsti, I. M., & Mayo, J. (2011). Implicit learning in ASD. *The neuropsychology of autism, 267-279*.

Foti, F., De Crescenzo, F., Vivanti, G., Menghini, D., & Vicari, S. (2015). Implicit learning in individuals with autism spectrum disorders: a meta-analysis. *Psychological medicine, 45*(05), 897-910.

Haebig, E., Saffran, J. R., & Ellis Weismer, S. (2017). Statistical word learning in children with autism spectrum disorder and specific language impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 58*(11), 1251-1263. doi:doi:10.1111/jcpp.12734

Happe, F., & Frith, U. (2009). The beautiful otherness of the autistic mind. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences 364*: 1345–1350.

Heaton, P., & Wallace, G. L. (2004). Annotation: The savant syndrome. *Journal of child psychology and psychiatry, 45*(5), 899-911.

Hermelin, B., & O'connor, N. (1967). Remembering of words by psychotic and subnormal children. *British Journal of Psychology, 58*(3-4), 213-218.

Kenworthy, L., Anthony, L. G., Naiman, D. Q., Cannon, L., Wills, M. C., Luong-Tran, C., . . . Wallace, G. L. (2014). Randomized controlled effectiveness trial of executive function intervention for children on the autism spectrum. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 55*(4), 374-383. doi:doi:10.1111/jcpp.12161

Kissine, M., & Geelhand, P. (2019). Brief Report: Acoustic Evidence for Increased Articulatory Stability in the Speech of Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of autism and developmental disorders, 49*(6), 2572-2580.

Koegel, R. L., Koegel, L. K., & McNerney, E. K. (2001). Pivotal Areas in Intervention for Autism. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 30(1), 19-32. doi:10.1207/S15374424JCCP3001\_4

Leaf, R. B., & McEachin, J. (1999). *A work in progress: Behavior management strategies and a curriculum for intensive behavioral treatment of autism*: Drl Books New York.

Lord, C., Risi, S., Lambrecht, L., Cook, E. H., Jr., Leventhal, B. L., DiLavore, P. C., . . . Rutter, M. (2000). The autism diagnostic observation schedule-generic: a standard measure of social and communication deficits associated with the spectrum of autism. *J Autism Dev Disord*, 30(3), 205-223.

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.

Lovaas, O. I. (2003). *Teaching individuals with developmental delays: Basic intervention techniques*. Pro-ed.

Mandell, D. S., Stahmer, A. C., Shin, S., Xie, M., Reisinger, E., & Marcus, S. C. (2013). The role of treatment fidelity on outcomes during a randomized field trial of an autism intervention. *Autism*, 17(3), 281-295. doi:10.1177/1362361312473666

Maurice, C. E., Green, G. E., & Luce, S. C. (1996). *Behavioral intervention for young children with autism: A manual for parents and professionals*. Pro-ed.

Mayo, J., & Eigsti, I. M. (2012). Brief report: A comparison of statistical learning in school-aged children with high functioning autism and typically developing peers. *Journal of autism and developmental disorders*, 42(11), 2476-2485.

Mercado, E., Church, B. A., Coutinho, M. V. C., Dovgopoly, A., Lopata, C. J., Toomey, J. A., & Thomeer, M. L. (2015). Heterogeneity in perceptual category learning by high functioning children with autism spectrum disorder. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9(42). doi:10.3389/fnint.2015.00042

Molesworth, C. J., Bowler, D. M., & Hampton, J. A. (2005). The prototype effect in recognition memory: Intact in autism? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(6), 661-672.

Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of autism and developmental disorders*, 36(1), 27-43.

Mottron, L., Dawson, M., & Soulières, I. (2009). Enhanced perception in savant syndrome: patterns, structure and creativity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 364(1522), 1385-1391. doi:364/1522/1385 [pii] 10.1098/rstb.2008.0333

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. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(2), 209-228.

Obeid, R., Brooks, P. J., Powers, K. L., Gillespie-Lynch, K., & Lum, J. A. G. (2016). Statistical Learning in Specific Language Impairment and Autism Spectrum Disorder: A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 7(1245). doi:10.3389/fpsyg.2016.01245

Odom, S. L., Boyd, B. A., Hall, L. J., & Hume, K. (2010). Evaluation of comprehensive treatment models for individuals with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 40(4), 425-436.

Ostrolenk, A., Forgeot d'Arc, B., Jelenic, P., Samson, F., & Mottron, L. (2017). Hyperlexia: Systematic review, neurocognitive modelling, and outcome. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 79, 134-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.029>

Pellecchia, M., Marcus, S. C., Spaulding, C., Seidman, M., Xie, M., Rump, K., ... & Mandell, D. S. (2019). Randomized Trial of a Computer-Assisted Intervention for Children With Autism in Schools. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*.

Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes 'too real': a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(10), 504-510.

Ploog, B. O. (2010). Stimulus Overselectivity Four Decades Later: A Review of the Literature and Its Implications for Current Research in Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(11), 1332-1349. doi:10.1007/s10803-010-0990-2

Qian, N., & Lipkin, R. M. (2011). A learning-style theory for understanding autistic behaviors. *Front Hum Neurosci*, 5, 77.

- Remington, A. M., Swettenham, J. G., & Lavie, N. (2012). Lightening the load: perceptual load impairs visual detection in typical adults but not in autism. *Journal of abnormal psychology, 121*(2), 544.
- Remington, A., & Fairnie, J. (2017). A sound advantage: Increased auditory capacity in autism. *Cognition, 166*, 459-465.
- Remington, A., Hanley, M., O'Brien, S., Riby, D. M., & Swettenham, J. (2019). Implications of capacity in the classroom: Simplifying tasks for autistic children may not be the answer. *Research in developmental disabilities, 85*, 197-204.
- Roser, M. E., Aslin, R. N., McKenzie, R., Zahra, D., & Fiser, J. (2015). Enhanced visual statistical learning in adults with autism. *Neuropsychology, 29*(2), 163.
- Saffran, J. R. (2018). Statistical learning as a window into developmental disabilities. *Journal of neurodevelopmental disorders, 10*(1), 35.
- Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. A. (2012). Enhanced visual functioning in autism: An ALE meta-analysis. *Human brain mapping, 33*(7), 1553-1581.
- Schreibman, L., Dawson, G., Stahmer, A. C., Landa, R., Rogers, S. J., McGee, G. G., . . . Halladay, A. (2015). Naturalistic Developmental Behavioral Interventions: Empirically Validated Treatments for Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 45*(8), 2411-2428. doi:10.1007/s10803-015-2407-8
- Scott-Van Zeeland, A. A., Dapretto, M., Ghahremani, D. G., Poldrack, R. A., & Bookheimer, S. Y. (2010a). Reward processing in autism. *Autism Research, 3*(2), 53-67. doi:doi:10.1002/aur.122
- Scott-Van Zeeland, A. A., McNealy, K., Wang, A. T., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2010b). No Neural Evidence of Statistical Learning During Exposure to Artificial Languages in Children with Autism Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry, 68*(4), 345-351.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.01.011>
- Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain, 127*(4), 851-859. doi:10.1093/brain/awh100

Smith, T. (2001). Discrete Trial Training in the Treatment of Autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 16(2), 86-92. doi:10.1177/108835760101600204

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. *Human brain mapping*, 30(12), 4082-4107.

Soulières, I., Mottron, L., Giguère, G., & Larochelle, S. (2011). Category induction in autism: slower, perhaps different, but certainly possible. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 64(2), 311-327. doi:924061189 [pii]10.1080/17470218.2010.492994

Tager-Flusberg, H. (1985). Basic level and superordinate level categorization by autistic, mentally retarded, and normal children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40 (3).

Ungerer, J. A., & Sigman, M. (1987). Categorization skills and receptive language development in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 17(1), 3-16.

Williams, D. L., Minshew, N. J., & Goldstein, G. (2015). Further understanding of complex information processing in verbal adolescents and adults with autism spectrum disorders. *Autism*, 19(7), 859-867.

Wong, C., Odom, S. L., Hume, K. A., Cox, A. W., Fettig, A., Kucharczyk, S., ... & Schultz, T. R. (2015). Evidence-based practices for children, youth, and young adults with autism spectrum disorder: A comprehensive review. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(7), 1951-1966.

Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2017). Procedural learning across the lifespan: A systematic review with implications for atypical development. *Journal of neuropsychology*.

Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2018). Implicit learning seems to come naturally for children with autism, but not for children with specific language impairment: Evidence from behavioral and ERP data. *Autism Research*, 11(7), 1050-1061.

Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., & Maes, J. H. (2018). The association between sequence learning on the serial reaction time task and social impairments in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 48(8), 2692-2700.

## **CHAPITRE IV**

### **ARTICLE 2**

---

# **VISUAL ATTENTION AND IMPLICIT CATEGORY KNOWLEDGE IN AUTISTIC CHILDREN:**

## **AN EYE-TRACKING STUDY**

Nader, A.M., Tullo, D., Dawson, M., Bertone, A., Soulières, I.

## 4.1 Abstract

Autism researchers have shown great interest in how autistic individuals distribute their attention and in how they organize information into categories. Despite large literatures in both areas, studies using eye-tracking to link visual attention with category learning in autism remain rare. Previously we found that school-aged autistic children are able to implicitly learn complex probabilistic categories, but learning in different situations (with high vs low feedback; or with isolated vs simultaneous information presentation) has different effects on autistic vs typical patterns of performance. In this study, we obtained eye-tracking data from the same children while they categorized the same complex probabilistic stimuli presented on a computer screen. Fixation length, fixation count, and time to first fixation data for 36 autistic and 43 typical children aged 8-14 were analyzed. Autistic children showed generally shorter fixation length to the entire screen, but groups did not differ in how quickly they fixated at least once on all key features for determining probabilistic category membership. Both groups also spent more time attending to key features than elsewhere, and mean number of fixations was similar between groups. However, for both fixation length and count, our data suggest that after learning with isolated information, autistic children's attention to key features was diminished, which in turn maps onto their task performance. In summary, we did not find evidence to support prominent proposed deficits in attention (selectivity, shifting, disengagement, control), executive functioning, and/or cognitive flexibility in autism. Our results do support the usefulness of eye-tracking to study the intersection of visual attention and implicit learning in autism.

**Keywords:** Eye tracking, learning, visual attention, categorization, autism

## 4.2 Introduction

Learning and visual attention are intrinsically linked. What captures our attention determines what we are likely to learn (Amso & Johnson, 2006), and on the other hand, learning leads to changes in visual attention as we become more efficient at orienting towards relevant information. Individuals are influenced by their past experiences, knowledge, emotions, and motivations in orienting their attention toward what they find relevant in a specific context. Hence, visual attention is driven by bottom-up processes where feature saliency elicits attention, and by top-down influences of what has been judged important in previous learning. Novel category learning entails learning to selectively pay greater attention to category-defining aspects or features of a stimulus (Jiang, Swallow, & Rosenbaum, 2013; Rehder & Hoffman, 2005). Individuals may learn which combinations of specific features are informative about category membership in different ways. They may use social or non-social feedback about the accuracy of their categorization decisions, or alternatively, they may use their observations of different associations among stimulus features. Learning-dependent influences on visual attention also support generalization of category structure knowledge to new stimuli.

Autism is characterized by atypical social interactions and communication, alongside behaviors considered to be restricted and repetitive (Association, 2013). However, from the outset, observers (Kanner, 1973) and experimenters (Hermelin & O'Connor, 1970) have documented additional atypical patterns in how autistic individuals attend to, learn, and organize information. A seminal early account (Scheerer et al., 1945) described an autistic individual with exceptional (“savant”) abilities who nevertheless failed to learn in typical expected ways, attended to meaningless or extraneous stimuli, and failed to form abstract representations. The ensuing literature has proposed several impairments in the overlapping and interrelated areas of learning, attention, and categorization in autism. These include, e.g., stimulus overselectivity, that is

attending to few, minor, and/or irrelevant aspects of the environment (Ploog, 2010), as well as executive functioning deficits in attention shifting, disengagement, and control, and in cognitive flexibility (Pennington & Ozonoff, 1996). Proposed deficits in categorization and in complex information processing would limit autistics to the rigid use of simple singular rules, rather than crucial complex processes involving prototypes and probabilities (Klinger & Dawson, 1995; Williams, Minshew, & Goldstein, 2015). Further influential views in research and practice state that autistics do not learn spontaneously, are unmotivated and/or unable to learn from their environment, are characterized by impaired implicit and statistical learning, and cannot generalize their learning (Davis & Plaisted-Grant, 2015; Eigsti & Mayo, 2011; Klinger, Klinger, & Pohlig, 2007; Scott-Van Zeeland, Dapretto, Ghahremani, Poldrack, & Bookheimer, 2010; Scott-Van Zeeland, McNealy, et al., 2010; Smith, 2001).

These proposed impairments have, however, been challenged by accumulating and/or contradictory findings. For example, in a review, Geurts, Corbett, and Solomon (2009) report the “paradox” that the predicted (if not presumed) cognitive flexibility deficits in autism are not well-supported by evidence from task performance. In a meta-analysis of 122 eye-tracking studies, Frazier et al. (2017) found differences in gaze at social and non-social information in autistics compared to controls, but no evidence of autistic difficulties with more complex, dynamic, or multi-sensory stimuli (see also Guillon, Hadjikhani, Baduel, and Rogé (2014), re social stimuli). There is evidence for (Sacrey, Armstrong, Bryson, & Zwaigenbaum, 2014) for a review) but also against (Fischer, Koldewyn, Jiang, & Kanwisher, 2014; Fischer et al., 2016; Wilson & Saldaña, 2019) impaired visual disengagement in autism, as well as findings of shorter fixations (i.e. faster shifts of attention) in the context of enhanced performance on visual tasks (Joseph, Keehn, Connolly, Wolfe, & Horowitz, 2009; Keehn, Brenner, Palmer, Lincoln, & Muller, 2008). Autistics have shown an ability to learn complex probabilistic categories (Brown, Aczel, Jiménez, Kaufman, & Grant,

2010) and to form prototypes (Molesworth, Bowler, & Hampton, 2005, 2008). They may also display atypical categorization strategies, longer learning periods (Bott, Brock, Brockdorff, Boucher, & Lamberts, 2006; Pellicano et al., 2011; Soulieres, Mottron, Giguere, & Laroche, 2011) and/or unusual within- and across-individual patterns of performance in learning and generalization (Mercado et al., 2015). Finally, three recent systematic reviews (Foti, De Crescenzo, Vivanti, Menghini, & Vicari, 2015; Obeid, Brooks, Powers, Gillespie-Lynch, & Lum, 2016; Zwart, Vissers, Kessels, & Maes, 2018) have concluded that autistic individuals are not impaired in implicit, procedural, or statistical learning, and more evidence in this direction has since been published (Zwart, Vissers, Kessels, et al., 2018; Zwart, Vissers, & Maes, 2018). In sum, there is increasing evidence that in most situations, autistics *can* and *do* spontaneously learn from regularities in their environment. However, there may be specific situations in which autistics have difficulty learning (Crawley et al., 2019; Scott-Van Zeeland, McNealy, et al., 2010).

In Nader et al. (submitted), we used a probabilistic category-learning task (Brown et al., 2010; Shohamy et al., 2004) to investigate whether some situations are more favourable than others for learning in autism. We created four learning situations to assess the differential role of feedback (*high* vs. *low* intensity non-social feedback) and how information is presented (*isolated* vs. *simultaneously-presented* arrays of stimuli) on learning in school-aged autistic children. Our results demonstrated that autistic children are able to learn and generalize complex probabilistic categories and that their task performance was differentially affected by the learning situations when compared to typically-developing children (see summary of categorization performance, below).

Despite evident research interest in visual attention and category and/or implicit learning in autism, few studies have used eye-tracking to explore this interaction. Using a contextual cueing task, Kourkoulou, Kuhn, Findlay, and Leekam (2013)

found that autistic adults showed typical implicit learning, but longer fixations resulting in overall slower responses during task completion. Gastgeb et al. (2011; 2012) investigated the association between learning and visual attention in autistic versus typically-developing adults, in prototype learning and category formation with either face images or dot-patterns. Autistic participants had difficulty forming prototypes/categories compared with typically-developing participants, but these difficulties were not associated with differences in their general pattern of visual attention. Groups did not differ in the time spent looking at faces or dot patterns versus backgrounds, and both groups showed similar attention to relevant features. Thus, the limited body of work from small-sampled adult studies presents a mixed picture with respect to the relationship between implicit learning (though not of categories) and visual attention in autism.

In the current study, our aim is to determine whether and how patterns of visual attention during categorization differ in autistic versus typically-developing children, and whether these patterns vary across learning situations and stimulus-outcome probabilities. To do so, we build on our previous behavioural findings (Nader et al., submitted) to assess eye-tracking behaviours (fixation length, fixation count, and time to first fixation) during the categorization task completion.

### **4.3 Methods**

#### **Participants**

Autistic and typically-developing children were recruited through the research database of the Autism Specialized Clinic at Rivière-des-Prairies hospital (HRDP, Montreal, Canada), and through four schools in a Montreal-area school board. Children included in the study were aged 6-14 and had WISC-IV Perceptual

Reasoning Index (PRI; Wechsler, 2003) scores of at least 80. Among the 106 children (54 autistic, 52 typically-developing) who completed the learning and testing phases of our probabilistic category learning task (Nader et al., submitted), valid eye tracking data was available for 81 children (36 autistic, 43 typically-developing). Eighteen autistic and 9 typically-developing children were excluded from the eye tracking study due to either school schedule constraints that prevented them from further testing (13 autistics, 7 typical), or poor-quality eye tracking data (e.g., poor calibration, task interruptions, not enough valid trials) (5 autistics, 2 typical). **Table 4.1** includes demographic and matching information for the final sample of autistic and typically-developing children included in the eye-tracking analyses, as well as for the subgroups of each condition.

**Table 4.1** Participant demographics for the total sample and for each condition

| Total sample                                             |                       |                             |           |
|----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|
|                                                          | Autistic (n=36)       | Typically-developing (n=43) | <i>p</i>  |
| Sex                                                      | 31M: 5F               | 27M: 16F                    | .03       |
| Age (years)                                              | 10.1 (SD=1.9; 6-14)   | 9.4 (SD=1.4, 6-14)          | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 102.78 (SD=23.15)     | 111.6 (SD=20.9)             | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 10.69 (SD=2.99)       | 9.56 (SD=5.88)              | <i>ns</i> |
| <b>Feedback condition (low vs. high feedback)</b>        |                       |                             |           |
|                                                          | Autistic (n=17)       | Typically-developing (n=24) |           |
| Sex                                                      | 14M: 3F               | 14M: 10F                    | .04       |
| Age (years)                                              | 9.48 (SD=1.55; 6-14)  | 9.23 (SD=1.55, 6-14)        | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 96.28 (SD=29.03)      | 109.13 (SD=26.48)           | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 9.94 (SD=3.13)        | 9.48 (SD=6.28)              | <i>ns</i> |
| <b>Information condition (isolated vs. simultaneous)</b> |                       |                             |           |
|                                                          | Autistic (n=19)       | Typically-developing (n=19) |           |
| Sex                                                      | 17M: 2F               | 13M: 6F                     | <i>ns</i> |
| Age (years)                                              | 10.64 (SD=2.14; 6-14) | 9.72 (SD=1.13; 7-12)        | <i>ns</i> |
| WISC-IV PRI                                              | 108.58 (SD=14.76)     | 114.74 (SD=10.08)           | <i>ns</i> |
| Spatial span backward (scaled score)                     | 11.39 (SD=2.74)       | 9.67 (SD=5.57)              | <i>ns</i> |

Diagnostic information available in the files of the autistic children indicated that they had received an autism spectrum diagnosis according to DSM-5 (APA, 2013) or DSM-IV-TR (APA, 2000) criteria. Diagnosis was given by experienced clinicians (child psychiatrist, developmental pediatrician, or psychologist) and based on expert interdisciplinary clinical judgment. Most children were assessed using two major autism diagnostic research instruments: the Autism Diagnostic Interview – Revised (ADI-R; Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994) and the Autism Diagnostic Observation Schedule-General (ADOS-G; Lord, Rutter, DiLavore, & Risi, 1999). Among the 36 autistic children, 25 were assessed with both instruments, 1 with ADOS-G only, and 10 by interdisciplinary clinical judgment only with none of the two diagnostic instruments.

Typically-developing children were screened through a semi-structured interview conducted with their parents and were excluded if a personal or family history of neurologic, psychiatric, or developmental conditions was present. All typically developing children in the final sample had a regular academic background and none took medication.

Written informed consent to participate was obtained from the parents of all participants; assent was also provided by all children. The study was formally approved by the ethics committee of the Rivière-des-Prairies Hospital (Montréal, Canada) and the participating school board (Commission scolaire des Patriotes, Montérégie, QC, Canada). Participants received a small gift (\$5 value) for their participation after each session.

## **Stimuli**

Since each child completed two learning situations (*high* versus *low* feedback, or *isolated* vs *simultaneous* information), two distinct category sets were created, based

on Mr. Potato Head and Ms. Pumpkin (see Nader et al., submitted). Each category set consisted of 14 artificial stimuli or characters (A through N) to which different features could be added. Each character had the same eyes, nose, white arms and blue feet, and varied according to the presence (1) or absence (0) of 4 features: a hat, a moustache, glasses, and a bowtie for Mr. Potato Head, or a handbag, a hairclip, a star pin, and a belt for Ms. Pumpkin.

Participants were required to learn which of the varying features predicted one of two equally-likely outcomes (customer's preference: vanilla or chocolate ice cream for Mr. Potato Head; apple or grape juice for Ms. Pumpkin). Each of the 14 stimuli was probabilistically associated with an outcome with six levels of stimulus-outcome probability, from chance (50%) to high probability (92%), following the scheme used by Shohamy et al. (2004) and Brown et al. (2010), see **Table 4.2**.

For each of the 14 Mr. Potato Head and 14 Ms. Pumpkin characters, two types of pictures were created: one with the outcome (character holding an ice cream cone or juice box) and one without the outcome (character with no ice cream cone or juice box). Stimuli were photographed with a digital camera and edited using Photoshop to ensure consistent image size (approximately 12 deg in height x 9 deg in width when viewed from 60 cm); See **Figure 4.1**.

**Table 4.2 Character features and probability structure of the 4 learning tasks.** Each feature could be (1) present or (0) absent. As an example, stimulus A = 0001 means that only a bowtie was added to this Mr Potato Head character, whereas stimulus N = 1110 indicates the presence of a moustache, hat and glasses, but no bowtie. For each of the 14 stimuli, there was a specific probability (P). For example, stimuli A and G appear 19 times each on the 200 trials: 17 times associated with vanilla and 2 times associated with chocolate, with a vanilla-outcome probability of .89.

*\*Stimuli F and I were excluded from this study.*

| Character | Feature 1<br>Moustache/<br>Hairclip | Feature 2<br>Hat/<br>Star pin | Feature 3<br>Glasses/<br>Handbag | Feature 4<br>Bowtie/<br>Belt | Frequency during<br>learning<br>( /200 trials)<br>(Vanilla : Chocolate) | P<br>(Vanilla<br>outcome) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| A         | 0                                   | 0                             | 0                                | 1                            | 19 (17 : 2)                                                             | .89                       |
| B         | 0                                   | 0                             | 1                                | 0                            | 9 (7 : 2)                                                               | .78                       |
| C         | 0                                   | 0                             | 1                                | 1                            | 26 (24 : 2)                                                             | .92                       |
| D         | 0                                   | 1                             | 0                                | 0                            | 9 (2 : 7)                                                               | .22                       |
| E         | 0                                   | 1                             | 0                                | 1                            | 12 (10 : 2)                                                             | .83                       |
| F *       | 0                                   | 1                             | 1                                | 0                            | 6 (3 : 3)                                                               | .50                       |
| G         | 0                                   | 1                             | 1                                | 1                            | 19 (17 : 2)                                                             | .89                       |
| H         | 1                                   | 0                             | 0                                | 0                            | 19 (2 : 17)                                                             | .11                       |
| I *       | 1                                   | 0                             | 0                                | 1                            | 6 (3 : 3)                                                               | .50                       |
| J         | 1                                   | 0                             | 1                                | 0                            | 12 (2 : 10)                                                             | .17                       |
| K         | 1                                   | 0                             | 1                                | 1                            | 9 (5 : 4)                                                               | .56                       |
| L         | 1                                   | 1                             | 0                                | 0                            | 26 (2 : 24)                                                             | .08                       |
| M         | 1                                   | 1                             | 0                                | 1                            | 9 (4 : 5)                                                               | .44                       |
| N         | 1                                   | 1                             | 1                                | 0                            | 19 (2 : 17)                                                             | .11                       |

### Learning and test phases

In the learning phase, all children saw 200 characters. In the feedback condition, characters (“customers”) were presented one by one without the outcome (no ice cream cone or juice box) and the child was asked to guess each customer’s preference. Either *low* or *high* intensity feedback was provided after each answer. In the information condition, no feedback was given during learning, and either *isolated* (one at a time) or *simultaneous* (20 at a time) characters were presented along with their outcomes (e.g. Mr. Potato Head holding a chocolate or vanilla ice cream cone; Ms. Pumpkin holding an apple or grape juice box). After the learning phase, children were tested on 70 stimuli (without outcomes) identical to those in the learning phase, as well as on 70 generalization stimuli with the same category structure but different

features. The test phase was the same across all children and for all 4 situations (see Nader et al., submitted, for further details).

### **General procedure**

Each child was individually tested during 3 or 4 sessions in a quiet office either at our research lab at Rivière-des-Prairies hospital or at their school by one of four examiners (all graduate students in clinical neuropsychology, experienced with autistic children). The number and duration of sessions depended on each child's attentional capacities, fatigue, and pace. Most sessions lasted 40-50 minutes; individual tasks were not broken up across sessions.

In the first session, children were administered WISC-IV (French-Canadian version - Canadian norms) PRI subtests (Block Design, Picture Concepts, Matrix Reasoning), as well as the WISC-IV Integrated spatial span subtest, which is similar to the Corsi-block tapping test and served as a control measure for visuospatial short-term working memory (spatial span backward scaled scores, mean = 10 and  $SD = 3$ ). The two learning tasks were administered in separate sessions. Assignment of stimuli set (Mr. Potato Head or Ms. Pumpkin) to a task and order of tasks was counterbalanced across participants in the learning phase, such that half of the children saw Mr. Potato Head first and half saw Ms. Pumpkin first.

After completing the learning and test phases (Nader et al., submitted), children were invited to sit comfortably aligned with the center and approximately 60 cm away from the screen of the eye tracker. Children were told that they would now see a new set of the same customers they just previously saw and that they would have to indicate, as they did before, what the customer prefers (vanilla or chocolate ice cream; apple or grape juice). Each child completed two eye-tracking phases, one for each

feedback condition (*low* or *high* feedback) or information presentation condition (*isolated* or *simultaneous*).

For the eye tracking phases, stimulus F and I were removed as both have a 50% chance of belonging to a given category. Thus, 2 blocks of 12 stimuli were presented to the child on an eye tracker apparatus. Each block started with 4 familiarization trials and lasted approximately 2 minutes. Test trials were presented in a random order. Blocks were separated by a short break (a few seconds for stretching, etc.). A fixation cross appeared before each stimulus. As in the test phases, characters appeared on screen for 5 seconds, with a 500 ms interstimulus interval. Children were asked to give their answer verbally to the examiner in order to reduce head movement associated with selecting and pressing an answer key, while still ensuring that children were maintaining focus on classifying the stimuli. Obtaining formal task performance data was the purpose of the test phase, not the eye-tracking phase, where the priority was obtaining good quality visual fixation data. Accordingly, we include in our results a summary of performance on the test phase (reported in full in Nader et al., submitted).

### **Eye tracking data collection**

Eye-tracking data was collected with a Tobii T120 eye-tracker (Tobii, Stockholm, Sweden; [www.tobii.com](http://www.tobii.com)). Stimuli were displayed on a 17" display monitor with a screen resolution of 1280 x 1024 pixels. The Tobii T120 eye-tracker collected data using the pupil center corneal reflection method from both eyes with a sampling rate of 120 Hz. This eye tracker was positioned on a table in front of the child, with no device placed on the child's head or face, which could have been uncomfortable and disrupting for the task. Participants' eyes were positioned at a distance of approximately 60 cm from the screen.

A five-point calibration procedure was first performed with Tobii Studio software. The participant was asked to track with his eyes a circle that moved between five positions on the computer screen. If calibration failed for one of the 5 points, the procedure was repeated until good calibration was obtained. Calibration was repeated before each block. Eye tracking data was collected only if the calibration results fell within the parameters reported by the manufacturer to yield an accuracy of  $0.5^\circ$  of visual angle.

The stimuli were partitioned into 4 areas of interest (AOIs) corresponding to the 4 main features which could be either present or absent on a given stimulus (e.g. bowtie, hat, moustache, glasses). Each of these 4 AOIs were defined as a rectangle encompassing the physical location of a feature. Each AOI was created manually using Tobii's eye-tracking software to capture the entire feature on the computer screen (a rectangle approximately 3 by 1.5 cm) (see **Figure 4.1** for an example).



**Figure 4.1.** The 4 AOIs for eye tracking: 4 rectangles encompassing the 4 category-defining features (glasses, moustache, bowtie, hat) shown for Mr. Potato Head.

### Eye tracking data preparation and metrics

Eye tracking data was exported from Tobii studio to IBM SPSS Statistics 22 for preprocessing and statistical analyses. Participants with 50% or fewer valid trials were excluded from analyses, leading to the exclusion of 5 autistic and 2 typically-developing participants (as mentioned in the participants section), resulting in final samples of 36 autistic and 43 typically-developing children. Non-valid data was often due to movement (e.g. eye blinks, movement on the chair) and off-screen gaze time. The average proportion of missing data (31% and 22% for autistic and typically-developing children, respectively) did not differ significantly across groups ( $p = .xx$ ).

Three metrics were extracted from the eye tracking data for use as indicators of which feature(s) children found important for categorization: time to first fixation, fixation length, and fixation count. **Time to first fixation (TFF)** represents the amount of time between the stimulus onset and the first fixation on an AOI. **Fixation length (FL)** represents the time spent looking at a specific AOI (e.g., Glasses, Moustache, Bowtie, or Hat for Mr. Potato Head). **Fixation count (FC)** represents the total number of fixations to a specific AOI.

Metrics were calculated individually for each of the 24 stimuli (see **Table 4.2**). The data was then averaged to obtain one score for each stimulus (e.g. mean fixation count for bowtie region of character A). Mr. Potato Head and Ms. Pumpkin data were collapsed together by mapping the equivalent AOI on each item into a single variable (e.g. Mr. Potato Head's Bowtie corresponds to Ms. Pumpkin's Star pin). Preliminary analysis revealed no differences in the pattern of results across all three eye-tracking metrics when Mr. Potato Head or Ms. Pumpkin were analysed separately,  $p$ 's > .05 (*refer to results section*).

## Analysis strategies

We used three analysis strategies to address the two main questions of the current project, i.e. 1) whether groups differed in patterns of visual attention to AOIs, and 2) whether visual attention patterns differed across the 4 learning situations.

**Comparing attention on AOIs vs non-AOIs.** We verified whether the groups were similar in total fixations on the screen (AOIs plus non-AOIs) and whether they prioritized AOIs to categorize the stimuli (e.g., preferentially attended to the four main features (Moustache, Glasses, Bowtie and Hat), compared to other stimulus features or background. To do so, for each given stimulus, we combined the fixation length on all 4 AOIs, from which a mean was calculated by averaging fixation length on AOIs across the 12 stimuli. This was compared to the length of fixations elsewhere on the character and background, again averaging the duration across the 12 stimuli. The same procedure followed for fixation count, comparing the number of fixations on AOIs versus elsewhere on the character and background.

**Time to first fixation on all AOIs.** Second, we compared the time taken by a child to fixate at least once on all 4 AOIs. Given the category structure, it is necessary to verify the presence or absence of the four main features to classify the stimuli. For example, while stimulus A is characterized by the presence of only one feature (Bowtie), children need to check if the three other features (Moustache, Glasses, Hat) are present or absent to determine if stimulus A belongs to the Vanilla or Chocolate category. Using time to first fixation on each AOI, we derived for each stimulus how long it took the child to attend to all 4 AOIs at least once. Then, a mean was calculated by averaging results on all 12 stimuli. This in turn was used to compare the efficiency of optimal categorization strategy of the two groups, that is, how rapidly the two groups first attended to all the main features determining category membership of the stimuli.

**Comparing visual attention among the 4 AOIs.** Finally, to better understand the distribution of visual attention among the 4 AOIs, we compared *fixation length* and *fixation count* among the different features of the stimuli. For each AOI on a given stimulus, a ratio was obtained by dividing the fixation length on a specific AOI by the sum of fixation lengths on all 4 AOIs. Using proportions in this way allows for correction for missing data. The same ratio was computed for *fixation count*.

To explore differences in processing strategies between the autistic and typical groups, we performed separate ANOVAs on eye-movement measures (time to first fixate all 4 AOIs, total fixation length on AOIs, total fixation count on AOIs), with group (autistic vs. typical) as a between-subject factor and learning situation (*low* or *high* feedback; *isolated* or *simultaneous* information) as a within-subject factor. After that, another series of ANOVAs was performed to specifically compare the distribution of visual attention between the 4 features, this time using the ratio of *fixation length* and *fixation count* among AOIs (Bowtie, Moustache, Glasses or Hat). For each learning situation, ANOVAs were conducted to assess the impact of outcome-probability on visual attention. To do so, we collapsed the 5 levels of stimulus-outcome probability into 2 higher (.92, .89, .83) and lower (.78, .55) probability levels, allowing us to assess if results differ according to the level of outcome probability. The collapsing of probability levels was based on data pattern on both conditions (refer to Study 1, Nader et al., submitted).

All analyses were conducted with SPSS 22. Significant main effects were followed by planned contrasts. A Bonferroni correction was applied for post hoc pairwise comparisons. Prior to selecting these analysis strategies, homogeneity of variance was confirmed with Levene's test.

## 4.4 Results

### Preliminary analyses

#### Sex differences

As the total sample and feedback condition sample were not sex-matched between groups (greater proportion of girls in the typically-developing group; see Table 1), preliminary analyses were conducted with data from boys only, to verify whether the pattern of results differed from that of boys and girls considered together. A 2 x 2 x 4 mixed ANOVA was run for each of the fixation parameters (fixation length and fixation count) with the type of learning situation (either *low* vs. *high* feedback; or *isolated* vs. *simultaneous* information) and AOIs (e.g., Moustache, Glasses, Bowtie, Hat) as within-subject factors, and group (autistic vs. typical) as the between-subject factor. In these two analyses, patterns of results with boys only were the same as with the entire sample (boys and girls together); thus, we present only analyses conducted on the entire sample.

#### Category set (Mr. Potato Head vs Ms. Pumpkin)

As each child completed the learning and test phases once with Mr. Potato Head and once with Ms. Pumpkin, preliminary analyses were conducted to verify whether the two sets of stimuli were equivalent with respect to performance. A series of *t*-tests were completed for each group (autistic; typical) and each condition separately, finding no significant differences on fixation patterns (all *p*'s > .05) with Mr. Potato Head-based characters versus Ms. Pumpkin-based characters. The two category sets were thus collapsed for the remaining analyses.

### **Primary analyses**

**Summary of categorization performance.** As reported in Nader et al. (submitted), The accuracy of typically-developing children greater in the *high* feedback situation, whereas autistic children performed with similar accuracy in both feedback situations. Typically-developing children were also significantly more accurate than autistic children in the *high* feedback situation, but accuracy did not differ between groups in the *low* feedback situation. Also, autistic children were significantly more accurate in the *simultaneous* presentation, whereas typically-developing children showed similar performance in both situations. Autistic children were less accurate than typically-developing children in the *isolated* situation but performed with similar accuracy in the *simultaneous* situation. Finally, autistic children had slower response times than typically-developing children in the feedback condition, but both groups had similar response times in the presentation condition.

#### **a) Attention on AOIs vs. non-AOIs**

**Feedback condition.** First, both groups had greater fixation lengths ( $F_{(1, 32)} = 85.737$ ,  $p < .001$ ,  $n^2 = .728$ ) on AOIs vs. non-AOIs. There was no main effect of Situation (*high* vs. *low*), meaning that this pattern was observed in both situations. There was a main effect of Group with autistic children having a shorter total fixation length on screen (including both AOIs and non-AOIs) ( $M = 1780$  ms,  $SD = 511$  ms), compared to typically-developing children ( $M = 1934$  ms,  $SD = 636$  ms),  $F_{(1, 32)} = 5.536$ ,  $p = .025$ ,  $n^2 = .147$ ) (**Figure 4.2a, Table 4.3**). There was also a trend for an interaction between Group and Feedback Situation,  $F_{(1, 32)} = 3.393$ ,  $p = .075$ ,  $n^2 = .096$ . Independent  $t$ -tests revealed that fixation length on AOIs tends to be shorter for autistic compared to typical children in the *low* ( $p = .07$ ) but not the *high* feedback situation. There was no difference in fixation length for higher

(combined .92, .89, .83) vs. lower (combined .78, .55) stimulus-outcome probabilities (**Figure 4.3a**).

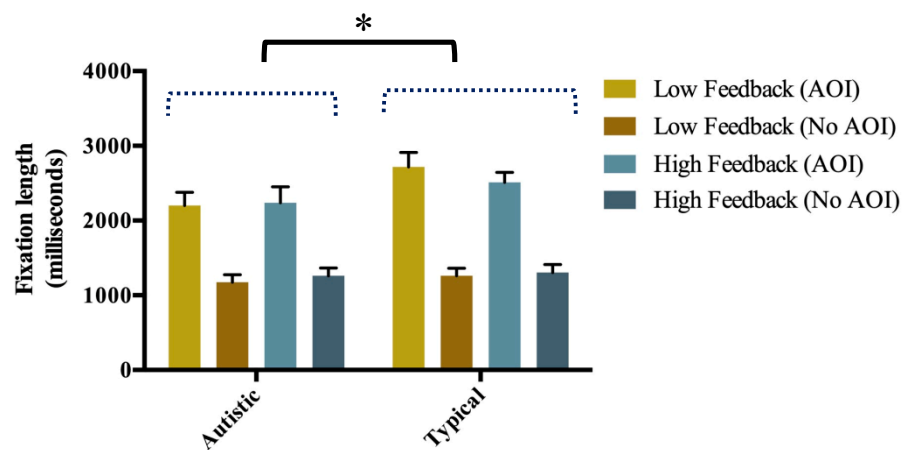
Second, both groups had higher fixation counts on the 4 AOIs than elsewhere on the stimuli or the background ( $F_{(1, 32)} = 44.173, p < .001, n^2 = .580$ ), with no main effect of Situation (*low* vs. *high*) or Group, meaning that both groups showed similar numbers of fixations on the screen (**Figure 4.4a, Table 4.4**). For this metric, there was a main effect of Probability levels ( $F_{(1, 32)} = 28.394, p < .001, n^2 = .470$ ), with both groups having higher fixation counts for stimuli with higher, compared to lower, stimulus-outcome probabilities.

**Information condition.** Again, both groups had greater fixation lengths on AOIs vs. non-AOIs ( $F_{(1, 35)} = 37.151, p < .001, n^2 = .515$ ). There was an effect of Group, with shorter fixation length on the screen for autistic ( $M = 1809$  ms,  $SD = 547$  ms) compared to typically-developing ( $M = 1924$  ms,  $SD = 650$  ms) children ( $F_{(1, 35)} = 4.241, p = .047, n^2 = .108$ ) (**Figure 4.2b, Table 4.3**), and an interaction between Group and AOIs ( $F_{(1, 35)} = 5.087, p = .03, n^2 = .127$ ). Two separate ANOVAs revealed shorter fixation lengths on AOIs for autistics compared to typically-developing children ( $F_{(1, 35)} = 7.501, p = .01, n^2 = .176$ ), with no significant difference in fixation lengths on non-AOIs ( $p > .05$ ). *T*-tests showed that autistic children displayed shorter fixation lengths on AOIs than typically developing children in the *isolated* presentation condition ( $t_{(36)} = 2.578, p = .04$ ), while fixations on AOIs were similar in autistic vs. typically developing children in the *simultaneous* presentation condition ( $p > .05$ ). This fixation length pattern in the two groups was also found across lower and higher stimulus-outcome probabilities (all  $p > .05$ ) (**Figure 4.3b**).

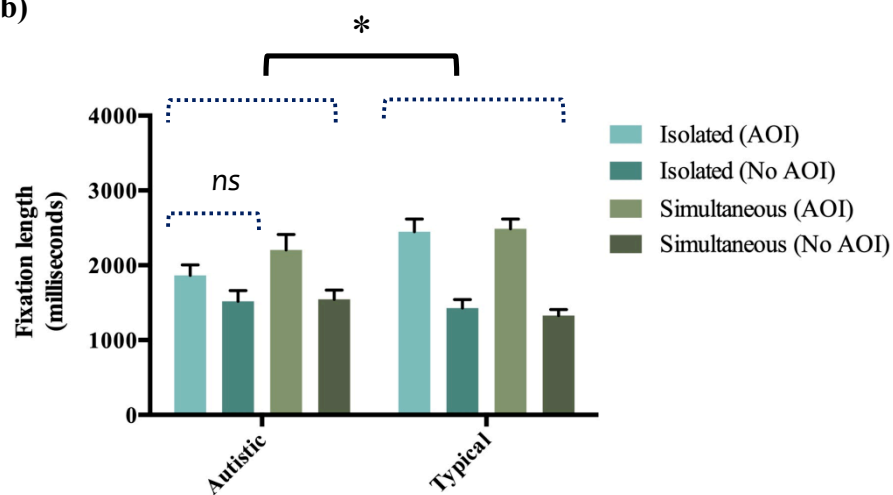
Additionally, for fixation counts, there was no main effect of AOI or Group (both  $p > .05$ ), meaning that both groups showed similar total fixation counts whatever the region of the screen (combining AOIs and non-AOIs). There was a significant

interaction between Group and AOIs ( $F_{(1, 35)} = 7.283, p = .011, n^2 = .172$ ), and a series of separate pairwise  $t$ -tests (corrected for family wise error) showed that typically developing children had higher fixation counts, but autistic children had similar fixation counts, on AOIs vs. non-AOIs, for both the *isolated* and *simultaneous* situations (**Figure 4.4b, Table 4.4**). There was a significant interaction between Probability and Group, with higher fixation counts on AOIs in autistic vs. typically-developing children for lower stimulus-outcome probabilities, but higher fixation count on AOIs in typically-developing vs. autistic children for higher stimulus-outcome probabilities ( $F_{(1, 35)} = 5.056, p = .031, n^2 = .126$ ).

a)

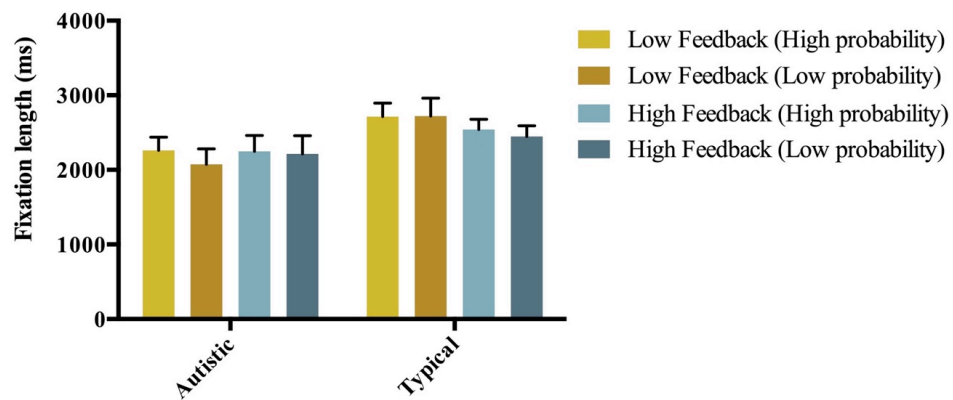


b)

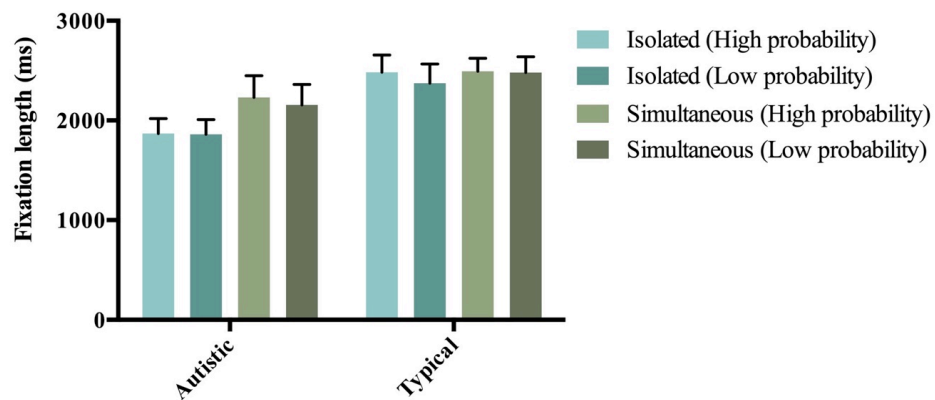


**Figure 4.2** Mean fixation length on AOIs vs. non-AOIs for *low* vs. *high* feedback (a) and *isolated* vs. *simultaneous* presentation (b).

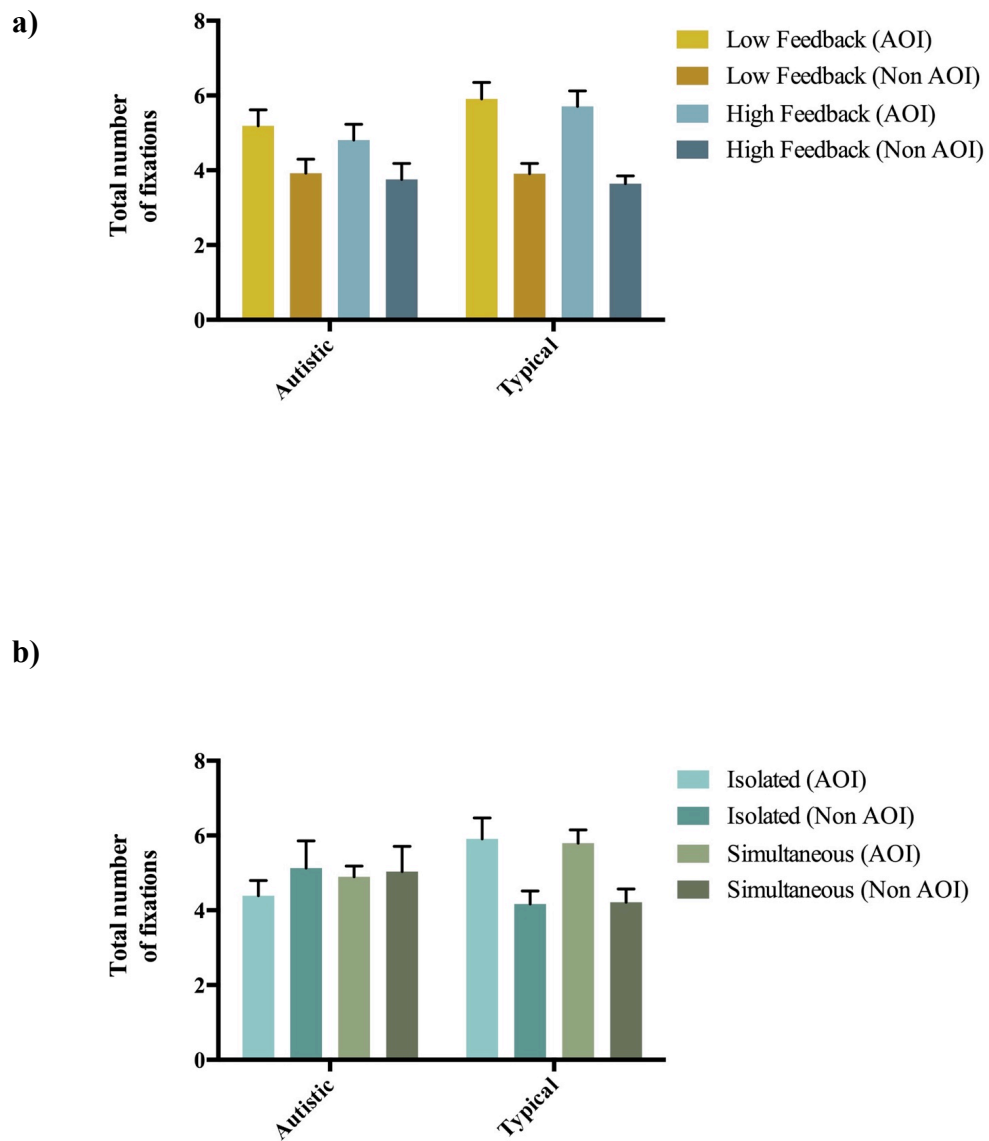
a)



b)



**Figure 4.3** Mean fixation length on AOIs according to high (.92, .89, .83) and low (.78, .55) stimulus-outcome probability for *low* and *high* feedback situations (a) and *isolated* and *simultaneous* situations (b).



**Figure 4.4** Mean fixation count on AOIs vs. non-AOIs for *low* vs. *high* feedback (a) and *isolated* vs. *simultaneous* presentation (b).

|                            | Low feedback         |            | High feedback            |            |
|----------------------------|----------------------|------------|--------------------------|------------|
|                            | Autistic             | Typical    | Autistic                 | Typical    |
| FL AOIs (ms) – $M(SD)$     | 2199 (666)           | 2718 (883) | 2238 (853)               | 2511 (660) |
| FL Non-AOIs (ms) – $M(SD)$ | 1175 (370)           | 1263 (452) | 1262 (421)               | 1305 (531) |
|                            | Isolated information |            | Simultaneous information |            |
| FL AOIs (ms) – $M(SD)$     | 1866 (590)           | 2447 (770) | 2206 (907)               | 2489 (563) |
| FL Non-AOIs (ms) – $M(SD)$ | 1519 (598)           | 1428 (510) | 1545 (533)               | 1329 (345) |

**Table 4.3** Mean (SD) fixation length (FL) in ms, on AOIs and non-AOIs for the *low* vs. *high* and *isolated* vs. *simultaneous* situations

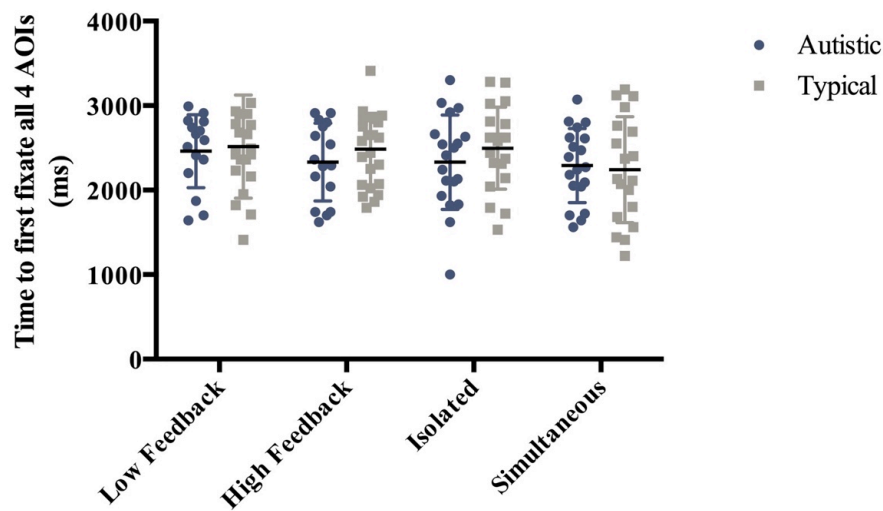
|                      | Low feedback         |               | High feedback            |                |
|----------------------|----------------------|---------------|--------------------------|----------------|
|                      | Autistic             | Typical       | Autistic                 | Typical        |
| FC AOIs – $M(SD)$    | 5.187 (1.611)        | 5.911 (2.030) | 4.807 (1.690)            | 5.7101 (2.017) |
| FC No AOIs – $M(SD)$ | 3.923 (1.454)        | 3.908 (1.262) | 3.762 (1.729)            | 3.644 (1.086)  |
|                      | Isolated information |               | Simultaneous information |                |
| FC AOIs – $M(SD)$    | 4.393 (1.699)        | 5.973 (2.547) | 4.931 (1.289)            | 5.794 (1.563)  |
| FC No AOIs – $M(SD)$ | 5.131 (3.076)        | 4.116 (1.579) | 5.097 (3.004)            | 4.215 (1.544)  |

**Table 4.4** Mean (SD) fixation count (FC) on AOIs and non-AOIs for *low* vs. *high* and *isolated* vs. *simultaneous* situations

## b) Time to first fixate all AOIs

**Feedback condition.** It took both groups a similar amount of time to fixate on all 4 AOIs at least once (all  $p$ 's > .05) (mean latency, autistic  $M = 2446$  ms,  $SD = 449$  ms; typical  $M = 2485$  ms,  $SD = 527$  ms) (**Figure 4.5**), with similar results for *low* vs. *high* feedback situations. Furthermore, orientation towards the 4 AOIs did not depend on the level of probability of the stimuli, meaning that for lower or higher outcome probabilities, it took both autistic and typically-developing children a similar amount of time to first fixate on all 4 main features (all  $p$ 's > .05).

**Information condition.** Again, it took both groups a similar amount of time to fixate on all 4 AOIs at least once (all  $p$ 's  $> .05$ ) (mean latency, autistic  $M = 2341$  ms,  $SD = 558$  ms; typical:  $M = 2355$  ms,  $SD = 487$  ms), with similar results for *isolated* vs. *simultaneous* situations (**Figure 4.5**). Furthermore, orientation towards the 4 AOIs did not depend on the level of probability of the stimuli, meaning that for lower or higher outcome probabilities, it took both autistic and typically-developing children a similar amount of time to first fixate on all 4 main features (all  $p$ 's  $> .05$ ).



**Figure 4.5** Time to first fixate on all 4 AOIs, in milliseconds. The horizontal bars represent the mean for each condition

### c) Comparing visual attention among the 4 AOIs

**Feedback condition.** First, a main effect of Feature was found for fixation length ( $F_{(3, 96)} = 43.416$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .576$ ), and no main effect of Group or Situation. Autistic and typically-developing children show the same pattern in proportion of fixation length, i.e. they attend proportionately longer to Glasses and Moustache than

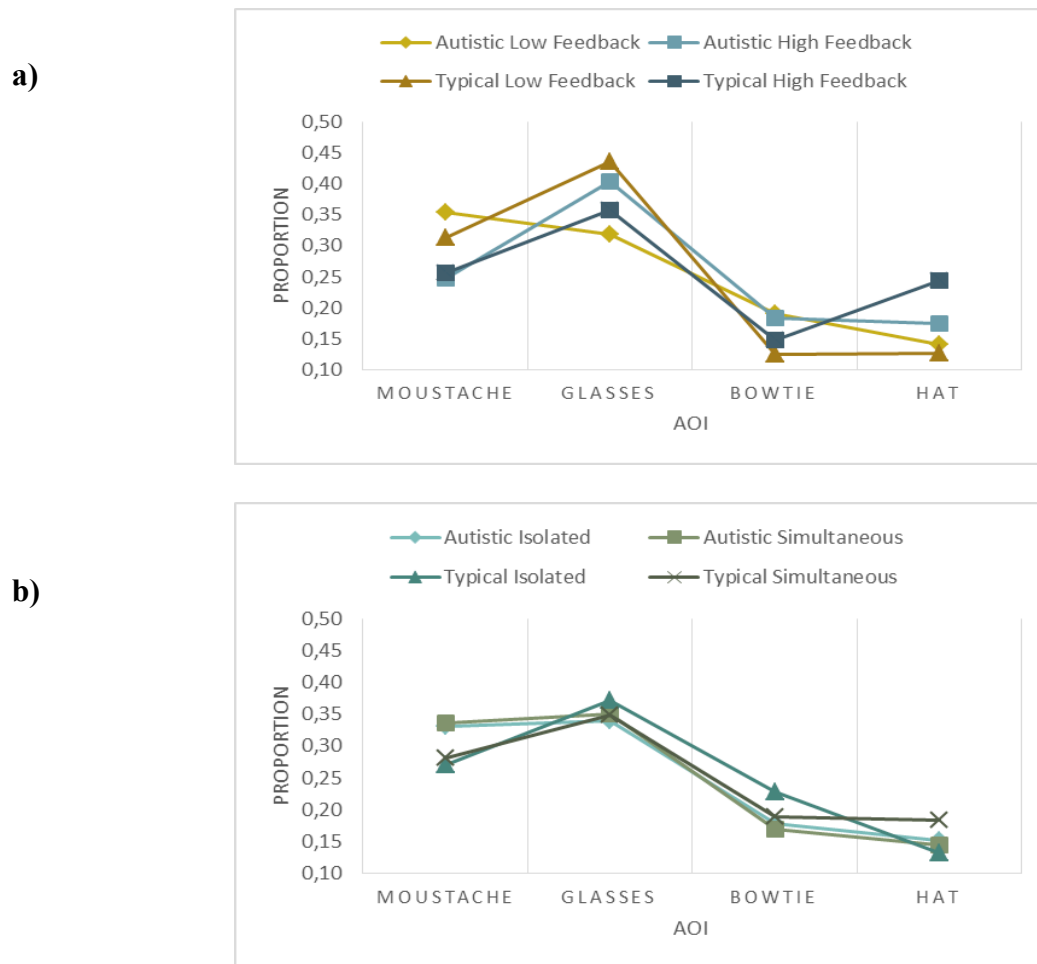
to Hat and Bowtie (**Figure 4.6a, Table 4.5**). The proportion of visual attention across the 4 features did not change according to the level of probability of the stimuli, meaning that for lower or higher stimulus-outcome probabilities, autistic and typically-developing children showed the same pattern of preferences (all  $p$ 's > .05).

Second, a similar profile was found for fixation count with a main effect of Feature ( $F_{(3, 96)} = 42.298, p < .001, n^2 = .569$ ), and no main effect of Group or Situation. Autistic and typically-developing children had a higher proportion of fixations on Moustaches and Glasses than on Hat and Bowtie (**Figure 4.7a, Table 4.6**). Distribution of fixations among the 4 features did not differ for higher vs. lower stimulus-outcome probabilities in the *low* feedback situation (all  $p$ 's > .05). In the *high* feedback situation, the pattern of fixation on features differed for lower (Glasses, Moustache > Bowtie and Hat) vs. higher (Glasses, Bowtie > Moustache, Hat) stimulus-outcome probabilities for both groups, with a significant interaction between Probability and Features ( $F_{(3, 108)} = 4.401, p = .005, n^2 = .111$ ).

**Information condition.** First, a main effect of Feature was found again ( $F_{(3, 105)} = 32.534, p < .001, n^2 = .482$ ), and no main effect of Group or Situation. Autistic and typically-developing children tend to show the same pattern in proportion of fixation length, i.e. they attend proportionately longer to Glasses and Moustache than to Bowtie and Hat (**Figure 4.6b, Table 4.5**). The proportion of visual attention given to the 4 features did not change according to the level of probability of the stimuli, meaning that for lower or higher stimulus-outcome probabilities, autistic and typically-developing children show the same pattern of attention among the 4 main features (all  $p$ 's > .05).

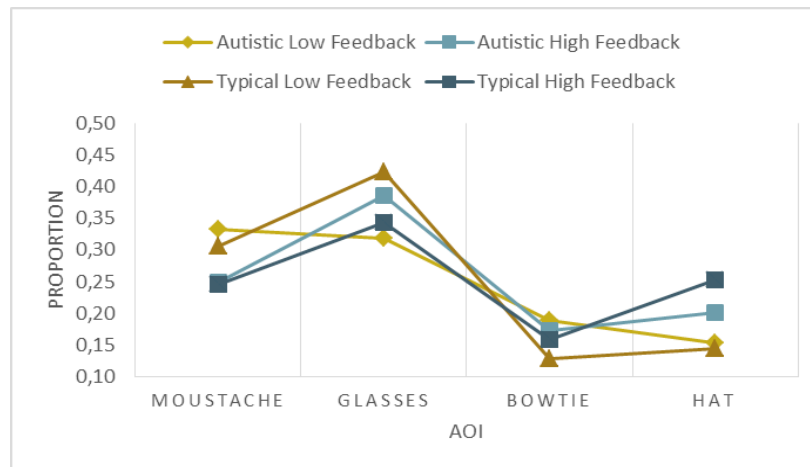
Second, a similar profile was found for fixation count with a main effect of Feature ( $F_{(3, 105)} = 26.065, p < .001, n^2 = .427$ ), no main effect of Group or Situation, and both groups had a higher proportion of fixations on Glasses and Moustache than on

Bowtie and Hat (**Figure 4.7b, Table 4.6**). The same pattern of attention among the 4 main features was found for both lower and higher stimulus-outcome probabilities in both groups (all  $p$ 's > .05) in the *isolated* situation. The pattern of fixations on features differed in the *simultaneous* situation for lower (Glasses, Moustache > Hat and Bowtie) vs. higher (Glasses, Moustache > Bowtie, Hat) stimulus-outcome probabilities for both groups, with a significant interaction between Probability and Features ( $F_{(3, 108)} = 4.401, p = .005, n^2 = .111$ ).

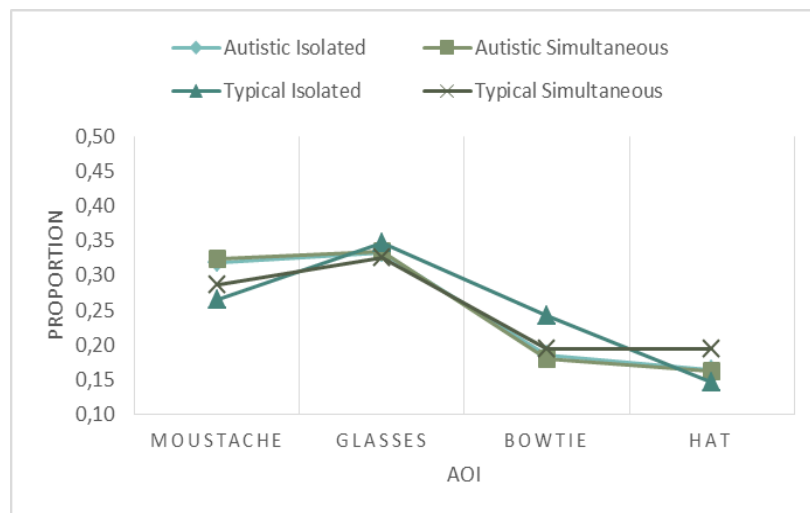


**Figure 4.6.** Proportion of fixation length to the 4 AOIs for *low* vs. *high* feedback (**a**) and *isolated* vs. *simultaneous* (**b**) situations.

a)



b)



**Figure 4.7.** Proportion of fixation count on the 4 AOIs for *low* vs. *high* feedback (a) and *isolated* vs. *simultaneous* information (b) situations.

**Table 4.5.** Mean proportion (*SD*) of fixation length on the 4 AOIs.

|                                            | <b>Low feedback</b>         |             | <b>High feedback</b>            |             |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
|                                            | Autistic                    | Typical     | Autistic                        | Typical     |
| Moustache (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> ) | .352 (.159)                 | .312 (.299) | .247 (.123)                     | .257 (.150) |
| Glasses (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )   | .318 (.240)                 | .435 (.299) | .404 (.299)                     | .357 (.230) |
| Bowtie (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )    | .190 (.099)                 | .125 (.099) | .184 (.134)                     | .147 (.084) |
| Hat (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )       | .139 (.138)                 | .126 (.124) | .174 (.202)                     | .244 (.234) |
|                                            | <b>Isolated information</b> |             | <b>Simultaneous information</b> |             |
| Moustache (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> ) | .331 (.173)                 | .269 (.149) | .336 (.187)                     | .281 (.142) |
| Glasses (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )   | .340 (.231)                 | .371 (.307) | .351 (.262)                     | .347 (.278) |
| Bowtie (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )    | .175 (.127)                 | .227 (.161) | .168 (.095)                     | .188 (.103) |
| Hat (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )       | .151 (.178)                 | .132 (.141) | .142 (.152)                     | .182 (.220) |

**Table 4.6** Mean proportion (*SD*) of fixation count on the 4 AOIS.

|                                            | <b>Low feedback</b>         |             | <b>High feedback</b>            |             |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|
|                                            | Autistic                    | Typical     | Autistic                        | Typical     |
| Moustache (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> ) | .352 (.159)                 | .312 (.299) | .247 (.123)                     | .257 (.150) |
| Glasses (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )   | .318 (.240)                 | .435 (.299) | .404 (.299)                     | .357 (.230) |
| Bowtie (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )    | .190 (.099)                 | .125 (.099) | .184 (.134)                     | .147 (.084) |
| Hat (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )       | .139 (.138)                 | .126 (.124) | .174 (.202)                     | .244 (.234) |
|                                            | <b>Isolated information</b> |             | <b>Simultaneous information</b> |             |
| Moustache (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> ) | .318 (.159)                 | .272 (.127) | .321 (.171)                     | .286 (.131) |
| Glasses (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )   | .332 (.226)                 | .361 (.269) | .340 (.249)                     | .326 (.249) |
| Bowtie (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )    | .186 (.114)                 | .228 (.139) | .176 (.084)                     | .193 (.088) |
| Hat (ratio) - <i>M</i> ( <i>SD</i> )       | .163 (.179)                 | .138 (.155) | .161 (.170)                     | .194 (.221) |

## 4.5 Discussion

We used complex probabilistic stimuli, four different learning situations, and eye-tracking to assess patterns of visual attention during categorization of learned stimuli in school-aged autistic and typically-developing children. Groups did not differ in how rapidly they attended to the four key features (AOIs) which probabilistically defined category membership, or in distribution of attention among these features.

Both groups also spent more time fixating on key stimulus features compared to non-AOIs. However, autistic children showed generally shorter fixation lengths on the whole screen than did typically developing children. Fixation length on AOIs (but not non-AOIs) was also shorter in autistic vs. typically developing children after they learned to use isolated, but not simultaneous-presented information. While the mean numbers of fixations were similar between groups, the fixation count on AOIs was higher in typical children after learning with isolated versus simultaneous information, but did not differ across these two situations in autistic children. These patterns of visual fixation were largely similar across stimulus-outcome probabilities, but fixation count on AOIs was higher in autistic than typically-developing children for lower probability stimuli, and higher in typically-developing than autistic children for higher probability stimuli.

While the performance of the autistic children was not typical in all respects, we found no evidence to support proposed deficits in visual attention in autism during the completion of a learning task. First, autistic children's attention was not overly selective or overly captured by minor, peripheral and/or irrelevant aspects of the stimuli. Indeed, they were as efficient as typical children in fixating all key features at least once, a finding also calling into question suggestions that autistics attend to fewer dimensions when forming categories (Bott et al., 2006; Soulieres et al., 2011). Second, we did not observe reduced cognitive flexibility in autistic children. A lack of flexibility in autism is often suggested by executive tasks (see meta analysis of (Lai et al., 2017); (Maes, Eling, Wezenberg, Vissers, & Kan, 2011; Winsler, Abar, Feder, Schunn, & Rubio, 2007). Fixation frequency can be considered to be a metric of shifting attention, and as such a reduced number of fixations is commonly considered to represent a difficulty to disengage and orient attention to other parts of a visual object. A lack of flexibility in visual attention was found in various autism studies (Landry & Bryson, 2004; Sabatos-DeVito, Schipul, Bulluck, Belger, & Baranek, 2016), but absent in others (Fischer et al., 2014; Jiang et al., 2013),

suggesting that autistic children can demonstrate flexibility and adjustment of visual attention in at least certain circumstances. In the current study, autistics showed globally shorter lengths of fixation, but similar number of fixations on AOIs, for all 4 tasks. It suggests that autistic children may not need to spend as much time as typical children analyzing the features of the stimuli in order to give an accurate answer or that, once their decision is made, they will not continue to fixate the stimuli. Therefore, we did not find evidence for difficulties with attentional disengagement, shifting, or control in autism during learning. We did find support for the “paradox” of cognitive flexibility in autism, as outlined by Geurts et al. (2009), wherein autistic individuals are perceived as rigid and inflexible by typical observers, but do not consistently show inflexibility on objective measures of their abilities.

The eye-tracking data in this study was collected separately from performance data. In both contexts, autistic atypicality rather than impairment, with varying effects of learning situations across groups, were found. In Nader et al. (submitted), the findings suggested that learning with simultaneously-presented information was the best situation for autistic children, whereas the most advantageous situation for typically developing children was learning with high feedback. In addition, feedback of any kind (both high intensity and low intensity), led to slower response time for autistic children compared to no feedback during learning. Our eye-tracking findings are consistent with reduced allotted attention to AOIs in autistic children after learning with isolated information, a situation in which performance was less accurate when compared to typically-developing children’s, and autistic children’s own performance after learning with simultaneous information. This result suggests that with an isolated presentation, autistic children either did not fully capture the relevant information to categorize stimuli or did not maintain attentional focus on it. In contrast, they tended to focus on relevant category information (relative to non-informative features or background) in the *simultaneous* learning situation. In sum, giving access to a greater amount of information during learning (e.g., simultaneous

presentation) seems to favour extraction of and/or focus on relevant, discriminant features of stimuli in autistic children. While any interpretation must be tentative, this at least showcases the usefulness of eye-tracking in implicit learning and categorization studies in autism, an area where little eye-tracking studies have been done.

The category structure in this study results in two key features (here, moustache and bowtie) being on their own more predictive of category membership than the two others (hat and glasses; Shohamy et al., 2004). Our results, however, show that both typically developing and autistic children generally attended more to moustache and glasses than to bowtie and hat. Using a single-cue strategy, the moustache alone allows generating 90% correct responses, while the glasses are less reliably associated with one of the two outcomes and generate only 67% correct responses. Thus, one of the two most salient features for children is not among the most relevant for categorization. This finding is interesting from both a developmental and a social perspective. Developmental changes in performance have been shown in a variety of cognitive tasks, along with developmental trajectories in the capacity to adopt efficient strategies. For example, in word list memory tasks, adolescents are more efficient than younger children to cluster their responses using semantic cues (Levin et al., 1991). Changes through age were also shown in categorization tasks, mostly in the capacity of older children to include more atypical items (Bjorklund & Buchanan, 1989). Therefore, our 6 to 13-year-old participants (both autistic and typical) might not yet use the more optimal strategy in this probabilistic categorization task, giving more attention to a salient -but less predictive- cue. As for the social aspect, the same Mr. Potato Head stimuli were used by Brown et al. (2010), who point out that they are social—they are characters (customers) with faces, mouths, and eyes. In autism research there has been a strong emphasis on visual attention to social versus non-social stimuli and to different aspects of social stimuli, such as eyes versus mouth (Guillon et al., 2014, for a review). While assessing attention to social versus non-

social information was not the purpose of this study, it is interesting that both groups attended more to the eye (glasses) and mouth (moustache) areas of the characters than to areas above (hat) and below (bowtie) their faces, as can be seen in Figures 6 and 7. The presence of social information within a complex categorization task did not disproportionately affect the autistic children in this study.

In summary, autistic children's visual attention, as well as their task performance, show that they may cope well with complex stimuli and tasks, given the opportunity. The present eye tracking results suggest that autistic children are able to use implicitly learned cues to orient their attention, in a similar manner as non-autistic children. Much remains to be addressed regarding learning in autism, including implicit and category learning, and the role of attention in both. There is a clear need to explore different learning situations, involving how and how much information is presented, which may underly heterogeneity in autistic performance and attention.

#### 4.6 References

- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV-TR* (4th ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Amso, D., & Johnson, S. P. (2006). Learning by selection: Visual search and object perception in young infants. *Developmental psychology*, 42(6), 1236.
- American Psychiatric Association, (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*: American Psychiatric Pub.
- Bjorklund, D. F., & Buchanan, J. J. (1989). Developmental and knowledge base differences in the acquisition and extension of a memory strategy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48(3), 451-471.
- Bott, L., Brock, J., Brockdorff, N., Boucher, J., & Lamberts, K. (2006). Perceptual similarity in autism. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1237-1254. doi:10.1080/02724980543000196
- Brown, J., Aczel, B., Jiménez, L., Kaufman, S. B., & Grant, K. P. (2010). Intact implicit learning in autism spectrum conditions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(9), 1789-1812. doi:10.1080/17470210903536910
- Crawley, D., Zhang, L., Jones, E. J., Ahmad, J., Caceres, A. S. J., Oakley, B., . . . Chatham, C. (2019). Modeling cognitive flexibility in autism spectrum disorder and typical development reveals comparable developmental shifts in learning mechanisms.
- Davis, G., & Plaisted-Grant, K. (2015). Low endogenous neural noise in autism. *Autism*, 19(3), 351-362.
- Eigsti, I.-M., & Mayo, J. (2011). Implicit learning in ASD. *The neuropsychology of autism*, 267-279.
- Fischer, J., Koldewyn, K., Jiang, Y. V., & Kanwisher, N. (2014). Unimpaired attentional disengagement and social orienting in children with autism. *Clinical Psychological Science*, 2(2), 214-223.
- Fischer, J., Smith, H., Martinez-Pedraza, F., Carter, A. S., Kanwisher, N., & Kaldy, Z. (2016). Unimpaired attentional disengagement in toddlers with autism spectrum disorder. *Developmental Science*, 19(6), 1095-1103.

- Foti, F., De Crescenzo, F., Vivanti, G., Menghini, D., & Vicari, S. (2015). Implicit learning in individuals with autism spectrum disorders: a meta-analysis. *Psychological medicine*, 45(05), 897-910.
- Frazier, T. W., Strauss, M., Klingemier, E. W., Zetzer, E. E., Hardan, A. Y., Eng, C., & Youngstrom, E. A. (2017). A Meta-Analysis of Gaze Differences to Social and Nonsocial Information Between Individuals With and Without Autism. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 56(7), 546-555. doi:10.1016/j.jaac.2017.05.005
- Gastgeb, H., Wilkinson, D., Minshew, N., & Strauss, M. (2011). Can Individuals with Autism Abstract Prototypes of Natural Faces? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(12), 1609-1618. doi:10.1007/s10803-011-1190-4
- Gastgeb, H. Z., Dundas, E. M., Minshew, N. J., & Strauss, M. S. (2012). Category formation in autism: can individuals with autism form categories and prototypes of dot patterns? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(8), 1694-1704.
- Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 74-82.
- Guillon, Q., Hadjikhani, N., Baduel, S., & Rogé, B. (2014). Visual social attention in autism spectrum disorder: Insights from eye tracking studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 42, 279-297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.013>
- Hermelin, B., & O'connor, N. (1970). Psychological experiments with autistic children.
- Jiang, Y. V., Swallow, K. M., & Rosenbaum, G. M. (2013). Guidance of spatial attention by incidental learning and endogenous cuing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(1), 285.
- Joseph, R. M., Keehn, B., Connolly, C., Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2009). Why is visual search superior in autism spectrum disorder? *Dev Sci*, 12(6), 1083-1096. doi:DESC855 [pii]10.1111/j.1467-7687.2009.00855.x
- Kanner, L. (1973). *Childhood psychosis: Initial studies and new insights*. VH Winston & Sons.

- Kawakubo, Y., Kasai, K., Okazaki, S., Hosokawa-Kakurai, M., Watanabe, K.-i., Kuwabara, H., . . . Kato, N. (2007). Electrophysiological abnormalities of spatial attention in adults with autism during the gap overlap task. *Clinical neurophysiology*, 118(7), 1464-1471.
- 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. doi:S1355617708081356 [pii]10.1017/S1355617708081356
- Klinger, L. G., & Dawson, G. (1995). A fresh look at categorization abilities in persons with autism *Learning and cognition in autism* (pp. 119-136): Springer.
- Klinger, L. G., Klinger, M. R., & Pohlig, R. L. (2007). Implicit learning impairments in autism spectrum disorders. *New developments in autism: The future is today*, 76, 103.
- Kourkoulou, A., Kuhn, G., Findlay, J. M., & Leekam, S. R. (2013). Eye movement difficulties in autism spectrum disorder: implications for implicit contextual learning. *Autism Research*, 6(3), 177-189.
- Lai, C. L. E., Lau, Z., Lui, S. S. Y., Lok, E., Tam, V., Chan, Q., . . . Cheung, E. F. C. (2017). Meta-analysis of neuropsychological measures of executive functioning in children and adolescents with high-functioning autism spectrum disorder. *Autism Research*, 10(5), 911-939. doi:10.1002/aur.1723
- Landry, R., & Bryson, S. E. (2004). Impaired disengagement of attention in young children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(6), 1115-1122. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00304.x
- Levin, H. S., Culhane, K. A., Hartmann, J., Evankovich, K., Mattson, A. J., Harward, H., . . . Fletcher, J. M. (1991). Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Developmental neuropsychology*, 7(3), 377-395.
- Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P., & Risi, S. (1999). Autism diagnostic observation schedule-generic (ADOS-G). *Los Angeles: WPS*.
- 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.

- Maes, J. H., Eling, P. A., Wezenberg, E., Vissers, C. T. W., & Kan, C. C. (2011). Attentional set shifting in autism spectrum disorder: differentiating between the role of perseveration, learned irrelevance, and novelty processing. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(2), 210-217.
- Mercado, E., Church, B. A., Coutinho, M. V. C., Dovgopoly, A., Lopata, C. J., Toomey, J. A., & Thomeer, M. L. (2015). Heterogeneity in perceptual category learning by high functioning children with autism spectrum disorder. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9(42). doi:10.3389/fnint.2015.00042
- Molesworth, C. J., Bowler, D. M., & Hampton, J. A. (2005). The prototype effect in recognition memory: Intact in autism? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(6), 661-672.
- Molesworth, C. J., Bowler, D. M., & Hampton, J. A. (2008). When prototypes are not best: Judgments made by children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(9), 1721-1730.
- Obeid, R., Brooks, P. J., Powers, K. L., Gillespie-Lynch, K., & Lum, J. A. (2016). Statistical learning in specific language impairment and autism spectrum disorder: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 7, 1245.
- Pellicano, E., Smith, A. D., Cristino, F., Hood, B. M., Briscoe, J., & Gilchrist, I. D. (2011). Children with autism are neither systematic nor optimal foragers. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(1), 421-426. doi:10.1073/pnas.1014076108 [pii]10.1073/pnas.1014076108
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *J Child Psychol Psychiatry*, 37(1), 51-87.
- Ploog, B. O. (2010). Stimulus Overselectivity Four Decades Later: A Review of the Literature and Its Implications for Current Research in Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(11), 1332-1349. doi:10.1007/s10803-010-0990-2
- Rehder, B., & Hoffman, A. B. (2005). Eyetracking and selective attention in category learning. *Cognitive Psychology*, 51(1), 1-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.11.001>
- Sabatos-DeVito, M., Schipul, S. E., Bulluck, J. C., Belger, A., & Baranek, G. T. (2016). Eye tracking reveals impaired attentional disengagement associated

with sensory response patterns in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(4), 1319-1333.

Sacrey, L.-A. R., Armstrong, V. L., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2014). Impairments to visual disengagement in autism spectrum disorder: a review of experimental studies from infancy to adulthood. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 47, 559-577.

Scheerer, M., Rothmann, E., & Goldstein, K. (1945). A case of "idiot savant": An experimental study of personality organization. *Psychological Monographs*, 58(4), i.

Scott-Van Zeeland, A. A., Dapretto, M., Ghahremani, D. G., Poldrack, R. A., & Bookheimer, S. Y. (2010). Reward processing in autism. *Autism Research*, 3(2), 53-67. doi:doi:10.1002/aur.122

Scott-Van Zeeland, A. A., McNealy, K., Wang, A. T., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2010). No Neural Evidence of Statistical Learning During Exposure to Artificial Languages in Children with Autism Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry*, 68(4), 345-351. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.01.011>

Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain*, 127(4), 851-859. doi:10.1093/brain/awh100

Smith, T. (2001). Discrete Trial Training in the Treatment of Autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 16(2), 86-92. doi:10.1177/108835760101600204

Soulieres, I., Mottron, L., Giguere, G., & Larochelle, S. (2011). Category induction in autism: slower, perhaps different, but certainly possible. *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 64(2), 311-327. doi:924061189 [pii]10.1080/17470218.2010.492994

Williams, D. L., Minshew, N. J., & Goldstein, G. (2015). Further understanding of complex information processing in verbal adolescents and adults with autism spectrum disorders. *Autism*, 19(7), 859-867.

- Wilson, C. E., & Saldaña, D. (2019). No evidence of atypical attentional disengagement in autism: A study across the spectrum. *Autism*, 23(3), 677-688.
- Winsler, A., Abar, B., Feder, M. A., Schunn, C. D., & Rubio, D. A. (2007). Private speech and executive functioning among high-functioning children with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(9), 1617-1635.
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2018). Implicit learning seems to come naturally for children with autism, but not for children with specific language impairment: Evidence from behavioral and ERP data. *Autism Research*.
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., & Maes, J. H. (2018). The Association Between Sequence Learning on the Serial Reaction Time Task and Social Impairments in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 1-9.

## **CHAPITRE V**

### **DISCUSSION**

#### **5.1 Résumé des objectifs et des hypothèses de la thèse**

L'objectif principal de cette thèse était d'étudier les stratégies et les conditions favorables à l'apprentissage de nouvelles catégories perceptives chez les enfants autistes. Ce projet de recherche visait à documenter la nature et les facteurs influençant l'apprentissage (catégorisation et généralisation) chez les enfants autistes en étudiant l'impact de deux des principales conditions de la situation d'apprentissage, en l'occurrence (1) l'intensité de la rétroaction donnée en cours d'apprentissage et (2) la manière de présenter le matériel à apprendre. Considérant les forces perceptives et l'utilisation plus grande de stratégies visuospatiales chez les personnes autistes pour résoudre une variété de tâches cognitives, l'accès et la manipulation d'un plus large éventail d'informations de même qu'une rétroaction minimale semblaient deux avenues pertinentes pour permettre aux enfants autistes de dégager plus facilement les patrons de régularité dans le matériel à apprendre et, en conséquence, optimiser l'apprentissage de nouvelles catégories chez cette population. Dans un second temps, des données en oculométrie (*eye tracking*) ont été colligées lors des tâches de catégorisation, permettant une meilleure compréhension de l'impact des situations d'apprentissage sur les patrons d'exploration visuelle et sur les stratégies d'apprentissage des enfants autistes et non-autistes.

**Étude 1.** Pour ce faire, une adaptation de la tâche de catégorisation perceptive probabiliste a été élaborée à partir de celle utilisée par Brown et al. (2010) et Shohamy et al. (2004) en employant comme stimuli des personnages (Mr Patate et Mme Courge) avec comme variables la présence ou l'absence de 4 dimensions (p.ex. pour le personnage de Mr Patate : Lunettes, Moustache, Boucle, Chapeau). Quatre conditions d'apprentissage ont été élaborées pour la présente thèse en modifiant le paradigme de base de l'apprentissage de catégories perceptives, soit l'apprentissage avec une présentation isolée des exemplaires et la rétroaction à chaque essai de classement. D'abord, deux tâches évaluant le rôle de l'intensité de la rétroaction ont été créés avec une situation comportant une plus faible intensité de rétroaction (faible rétroaction; nommé *low feedback* dans les publications) et une seconde comportant une plus forte rétroaction (forte rétroaction ou *high feedback*; ajout d'un effet visuel et sonore lorsque l'enfant obtient la bonne réponse). Une deuxième série de tâches a également été élaborée pour documenter l'impact de la manière de présenter le matériel avec une situation utilisant une présentation isolée (appelé *isolated* dans les publications; un item à la fois) et une seconde tâche dite simultanée (appelée *simultaneous*) puisque plusieurs exemplaires de la catégorie sont présentés en même temps. Pour chaque condition, une phase d'apprentissage était d'abord proposée aux enfants, suivie de deux phases tests. La première phase test (*test phase 1- same stimuli*) évaluait l'apprentissage en reprenant les mêmes personnages que ceux vus dans la phase d'apprentissage, mais cette fois sans rétroaction. La seconde phase test (*test phase 2 – new stimuli*) évaluait la généralisation de l'apprentissage lorsque des personnages légèrement différents de ceux vus au préalable étaient présentés aux enfants.

**Étude 2.** Puisque la performance aux tâches (taux de bonnes réponses et temps de réaction) ne permet pas nécessairement de préciser la stratégie de classement utilisée par les enfants, la seconde étude a permis d'investiguer les patrons d'exploration visuelle à l'aide d'une technique d'oculométrie (*eye tracking*). Les poursuites

oculaires ont été colligées durant la phase test 1 (même stimuli) de l'étude 1 avec pour objectif de comparer les similitudes et les différences sur trois paramètres des poursuites oculaires, en l'occurrence le temps mis pour s'attarder aux différentes régions d'intérêt, la durée et la fréquence des fixations portée aux 4 régions d'intérêts (définies par les 4 dimensions des stimuli).

## 5.2 Résumé des principaux résultats

Cinq principaux résultats se dégagent de la présente thèse.

D'abord, l'étude du rôle de l'intensité de la rétroaction donnée en cours d'apprentissage montre que les enfants autistes n'ont pas bénéficié d'une hausse de la rétroaction, alors que celle-ci semble profiter aux enfants neurotypiques (**Figure 5.1**). En effet, il n'y a pas d'amélioration significative de la performance des enfants autistes dans la condition *high feedback* (comparativement à la condition *low feedback*), leur performance étant sensiblement la même dans les deux situations. En revanche, les enfants non-autistes ont vu leur performance s'améliorer de manière significative en présence d'une plus forte rétroaction, et ce, particulièrement pour les items plus probants de la catégorie.

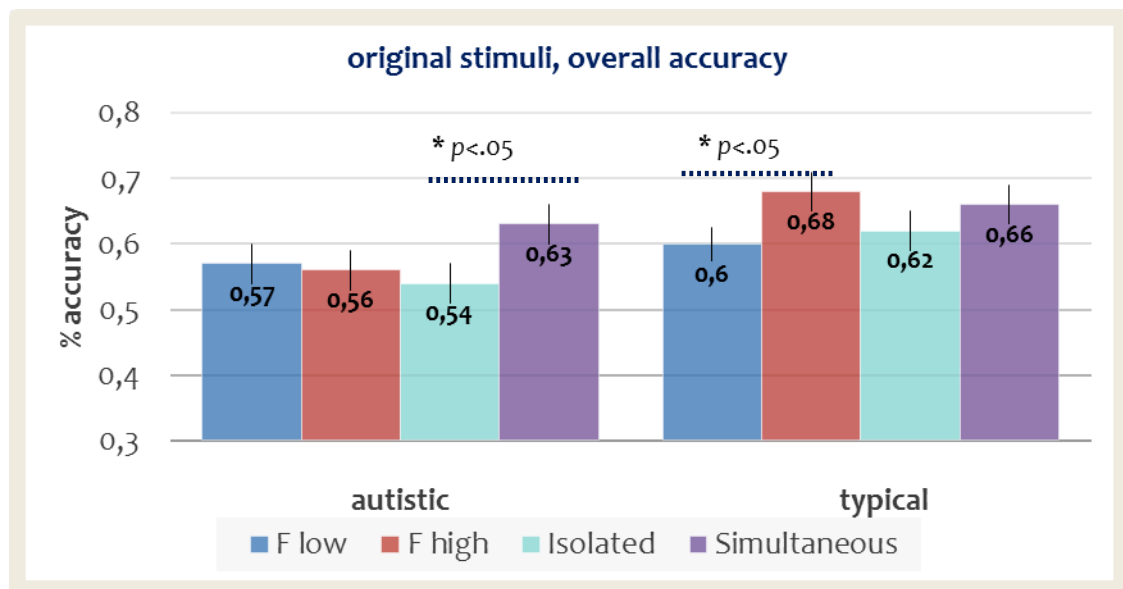
Dans un deuxième temps, les résultats indiquent que les enfants autistes sont sensibles à la manière dont le matériel est présenté durant la phase d'apprentissage. En effet, les enfants autistes ont montré un meilleur apprentissage de nouvelles catégories lorsqu'ils ont eu accès en cours d'apprentissage à un plus large éventail d'exemplaires de la catégorie (condition simultanée) par rapport à un apprentissage où le matériel est présenté de manière séquentiel / isolé (un item à la fois) (**Figure 5.1**). La présentation du matériel (simultanée vs isolée) n'a pas eu d'impact sur la performance des enfants non-autistes.

Par la suite, il est intéressant de constater que les enfants autistes ont été en mesure de généraliser leur apprentissage dans les 4 conditions présentées (faible ou forte rétroaction; isolée ou simultanée). En effet, il n'y a pas eu de baisse significative de performance entre la phase test utilisant les anciens items (*test phase – same stimuli*) et la phase test impliquant les items de généralisation (*test phase – new stimuli*). Dans les 4 conditions, les enfants autistes ont pu transférer les associations apprises lors de la phase d'apprentissage à de nouveaux items qui différaient de ceux présentés à la phase initiale. Cette absence de différence significative entre les deux phases tests suggère que les enfants autistes ont été en mesure de comprendre la structure de la catégorie et d'appliquer les associations apprises à de nouveaux items jamais rencontrés antérieurement.

Par ailleurs, les résultats colligés à partir des mesures de poursuite oculaire montrent que les enfants autistes et non-autistes prennent le même temps pour orienter leur attention aux 4 régions d'intérêt; il s'agit ici du temps de latence mis pour observer une première fois chacun des 4 attributs des items. Il ressort aussi que les enfants autistes ont généralement des temps de fixation de l'écran plus courts que ceux des enfants non-autistes, et ce, peu importe la situation d'apprentissage. Par la suite, il est intéressant de constater que les patrons de fixation, surtout la durée des fixations sur les 4 régions d'intérêt, diffèrent selon le type d'apprentissage. Les enfants autistes montrent des durées de fixation aux régions d'intérêt similaires entre les deux tâches de rétroaction, alors que les non-autistes s'attardent plus longtemps aux régions d'intérêt lorsque l'apprentissage se fait avec une plus forte rétroaction. En revanche, les enfants autistes s'attardent moins longtemps aux 4 régions d'intérêt, soit les 4 caractéristiques distinctives, lors d'un apprentissage isolé alors qu'ils sont en mesure de prioriser cette information lorsque le matériel est présenté d'une manière simultanée (temps mis à observer les régions d'intérêt > temps à observer ailleurs sur l'écran). Enfin, les enfants autistes affichent les mêmes patrons de préférence que ceux des enfants du groupe contrôle. En effet, les enfants autistes et non-autistes

s'attardent de la même manière aux différents paramètres des stimuli, portant plus longtemps et plus fréquemment leur attention aux régions de la Moustache et des Lunettes et, dans un second temps, à celles de la Boucle et du Chapeau. De plus, les enfants autistes maintiennent le même patron de préférence pour les 4 situations d'apprentissage, alors que les non-autistes présentent un patron légèrement moins distinctif lors d'un apprentissage simultané.

Pour terminer, l'apprentissage implicite de nouvelles catégories est peu prédit par les capacités cognitives verbales ou non verbales, ni par la mémoire de travail visuospatiale ou l'intensité de la symptomatologie autistique.



**Figure 5.1.** Performance des enfants autistes et neurotypiques aux situations d'apprentissage avec faible (*low feedback*) vs forte (*high feedback*), de même qu'avec une présentation isolée (*isolated*) vs simultanée (*simultaneous*) du matériel.

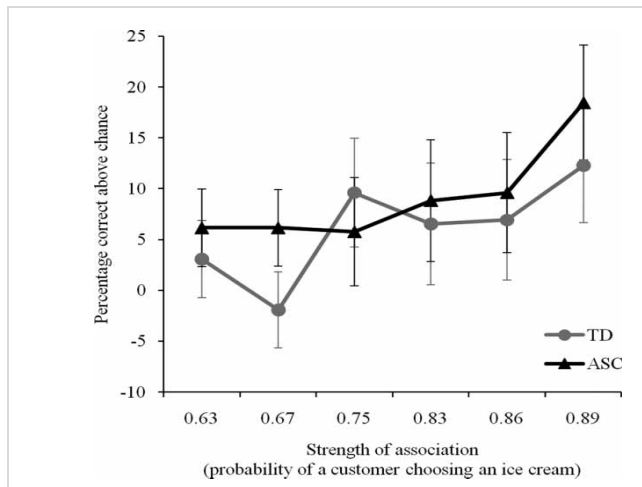
### **5.3 Contribution théorique**

#### **5.3.1 Apprentissage implicite : un levier en autisme? (étude 1 a et b)**

Avec l'essor des études cognitives dans les années 1980-90, l'hypothèse d'un déficit des processus de catégorisation en autisme a été avancée. Cette hypothèse permettait d'expliquer plusieurs symptômes de l'autisme, notamment la question des rigidités (p.ex. réactions négatives face aux changements) et la difficulté à transférer les apprentissages d'un contexte à un autre. Ceci était appuyé par des études montrant que les personnes autistes pouvaient difficilement catégoriser une nouvelle information sans avoir recours à des règles simples et explicites (Klinger & G. Dawson, 2001; Mostofsky et al., 2000). Or, ces premières études en catégorisation comportaient certaines lacunes au plan de l'appariement des sujets, particulièrement au plan cognitif, ce qui fait en sorte que les difficultés de catégorisation étaient parfois plus tributaire d'un QI plus faible que de réelles difficultés à regrouper l'information. Par la suite, d'autres études ont été réalisées avec des enfants et des adultes autistes sans déficience intellectuelle; montrant cette fois une grande variabilité dans les résultats. En effet, certaines études ont obtenu des performances inférieures chez les personnes autistes (p.ex. difficulté à développer le prototype d'une catégorie, Gastgeb et al., 2011; apprentissage plus faible de catégories, Church et al., 2010; Scott-Van Zeeland, McNealy, et al., 2010; Gastgeb et al., 2012), alors que d'autres ont montré des habiletés tout à fait comparables aux non-autistes (Brown et al., 2010; Gordon & Stark, 2007; Nemeth et al., 2010). En revanche, une attention plus fine à la méthodologie de chacune des études a permis de constater que les choix méthodologiques pouvaient contribuer à la divergence des résultats; en particulier, l'appariement des groupes (p.ex. outil utilisé pour appairer les participants au plan cognitif) et les caractéristiques de la tâche utilisée (p.ex. apprentissage implicite vs explicite; manière de donner les consignes; façon de donner la rétroaction en cours d'apprentissage, degré de complexité du matériel à apprendre). Il pourrait aussi y

avoir une trajectoire développementale différente puisque certaines études trouvent des performances entre autistes et non autistes semblables en bas âge, avec un écart qui s'installe à l'âge adulte (Roser et al., 2015); alors que d'autres trouvent des difficultés plus franches chez les jeunes enfants autistes, mais s'atténuant lors du développement (Gastgeb et al., 2006). En l'occurrence, l'apprentissage de catégories semble tout à fait possible en autisme, mais celui-ci serait davantage tributaire des conditions de la situation d'apprentissage.

Avant de discuter l'effet spécifique de l'intensité de la rétroaction et de la présentation du matériel, il est intéressant de relever au terme de cette thèse que les enfants autistes ont été en mesure de réaliser une tâche de catégorisation perceptive au même titre que les enfants non-autistes. Bien que la performance des deux groupes ait varié selon le contexte d'apprentissage (p.ex. amélioration de la performance de enfants autistes lors d'un apprentissage simultané; meilleure performance des enfants non-autistes avec une hausse de la rétroaction), les participants autistes et non-autistes ont montré une performance similaire à la tâche de catégorisation « standard » dans laquelle un item est présenté de manière isolée avec une faible rétroaction (Situation 1 : un item à la fois, faible rétroaction). De plus, les deux groupes ont montré des courbes d'apprentissage similaires avec une amélioration de leur performance pour les items les plus probants de la catégorie. Ces résultats sont concordants avec ceux de Brown et al. (2010), qui ont été les premiers à utiliser ce paradigme de catégorisation avec les enfants autistes (**Figure 5.2**), ainsi qu'avec d'autres études en catégorisation (Barnes et al., 2008; Bott et al., 2006; Molesworth et al., 2005; Travers et al., 2013).



**Figure 5.2.** Performance des enfants autistes et neurotypiques dans une tâche de catégorisation perceptive probabiliste dans l'étude de Brown et al. (2010). Pourcentage de bonnes réponses (% au-dessus de 50%) chez les enfants autistes (ASC) et neurotypiques (TD) dans une tâche d'apprentissage de catégorisation probabiliste. Les résultats montrent une courbe d'apprentissage similaire entre les deux groupes et pour les différentes associations items-catégories (.63, .67, .75, .83, .86, .89).

Les résultats de la présente thèse sont cohérents avec une littérature grandissante proposant que l'apprentissage implicite est relativement intact en autisme (Brown et al., 2010; Nemeth et al., 2010; Obeid, Brooks, Powers, Gillespie-Lynch, & Lum, 2016; Roser et al., 2015; Zwart, Vissers, Kessels, & Maes, 2018). L'apprentissage implicite permet d'apprendre de manière automatique les régularités et les structures complexes qui existent entre des objets / événements, et ce, sans qu'il y ait une intention particulière de le faire et / ou sans être en mesure d'expliquer la connaissance acquise. L'apprentissage implicite est présent dès la première année de vie, mais son importance varierait en fonction de l'âge. Certains auteurs proposent une grande place de l'apprentissage implicite en bas âge et une diminution de son rôle en vieillissant alors que d'autres proposent plutôt un pic de développement à l'adolescence lors de la maturation des lobes frontaux. La parution récente de deux méta-analyses qui emploient chacune des indicateurs différents de l'apprentissage

implicite (utilisation de la diminution des temps de réponse dans l'étude de Foti et al., 2016; comparaison des essais aléatoires vs séquentiels dans l'étude de Obeid et al., 2016) relate que malgré l'utilisation de paradigmes de recherche différents (p.ex. temps de réaction séquentiel, grammaires artificielles, catégories perceptives), l'apprentissage implicite chez les personnes autistes semble comparable à celui présent dans le développement typique. De manière intéressante, les enfants qui présentent un trouble de langage aurait un profil contraire; ces derniers afficheraient de plus grandes difficultés pour l'apprentissage implicite et une meilleure performance dans des tâches d'apprentissage explicite (Obeid et al., 2016).

La présente thèse propose une tâche d'apprentissage implicite de type « catégorisation probabiliste » dans laquelle les participants ne reçoivent aucune instruction explicite sur la manière d'organiser les items. Ils doivent dégager par eux-mêmes les régularités visuelles à partir de plusieurs exemplaires présentés. De plus, les relations à apprendre sont trop complexes pour être perçues consciemment (Fletcher, Maybery, & Bennett, 2000). Bien que les enfants soient au fait qu'ils sont en train d'apprendre une nouvelle catégorie, en l'occurrence « la préférence de leur client », ils ne sont pas en mesure d'expliquer ce qui fait en sorte qu'un personnage appartienne à l'une ou l'autre des catégories. D'ailleurs, les verbalisations recueillies de manière informelle auprès des enfants lors de la passation des tâches ne concordent pas avec les données fournies par les mesures de poursuite oculaire. Plusieurs sujets indiquent se fier à la présence de la Boucle pour catégoriser les exemplaires, alors que les résultats montrent plutôt que les enfants utilisent davantage les régions de la Moustache et des Lunettes pour prendre leur décision. Ces résultats soulignent la capacité des enfants autistes à apprendre de façon plus ou moins consciente des situations qui, parfois, ne sont pas si éloignées de celles de la vie quotidienne, et ce, dans un temps relativement court. Les principes de l'apprentissage implicite utilisés dans ce contexte expérimental pourraient donc servir pour aborder certains défis de la vie quotidienne.

Différentes hypothèses sont proposées pour comprendre les mécanismes de l'apprentissage implicite. Certains auteurs parlent d'un apprentissage basé sur des règles, dans lequel les individus développent des règles inconscientes sur les caractéristiques structurales des objets (Reber, 1989). D'autres auteurs proposent plutôt un apprentissage basé sur la perception des similarités, où les sujets mémorisent des exemplaires entiers et, face à un nouvel item, cherchent la correspondance avec un item de ressemblance mémorisé précédemment (Medin & Schaffer, 1978; Nosofsky & Johansen, 2000; Smith & Minda, 2000). Par ailleurs, Plaisted et al. (1998) ajoutent que la supériorité des personnes autistes au plan perceptif rend plus difficile la reconnaissance des similarités entre les différents exemplaires, limitant ainsi leur capacité à reconnaître qu'un exemplaire puisse s'apparenter à une situation rencontrée précédemment. Enfin, d'autres auteurs proposent que l'apprentissage passe plutôt par la mémorisation de certaines séquences ou portions de l'objet et que ce soient donc les cooccurrences de certains éléments de l'objet qui serviraient à classer les nouveaux exemplaires (Perruchet & Pacteau, 1991).

Par ailleurs, bien que l'apprentissage implicite soit de plus en plus reconnu comme une avenue d'apprentissage intéressante pour les enfants autistes, l'idée que l'apprentissage chez les personnes autistes ne puisse se limiter qu'à du matériel simple est encore très présente. Par exemple, le modèle proposé par Minschew et al. (1997) stipule que les personnes autistes présentent des déficits dans les tâches cognitives complexes impliquant des habiletés cognitives d'ordre supérieur, mais performant normalement dans des tâches nécessitant des habiletés plus simples. D'autres auteurs comme Qian et Lipkin (2011) proposent que les personnes autistes ont tendance à mémoriser chacune des situations d'apprentissage précisément, en dégageant difficilement les régularités qui relient chacune de ces expériences entre elles. Lorsqu'elles sont confrontées à un nouvel élément, les personnes autistes jugeraient de son appartenance sur la base de sa ressemblance avec l'un des items ou

une partie de l'item préalablement mémorisé. Plus le nouvel item présenté ressemble à l'un des exemplaires mémorisés, plus il serait facile de le catégoriser. Du point de vue de ces auteurs, les personnes autistes pourraient difficilement abstraire des structures et des patterns complexes, alors que les neurotypiques cherchent rapidement les régularités à partir du matériel d'apprentissage en vue de les généraliser à de nouvelles situations. Les personnes autistes auraient plus de facilité lors de l'exécution de tâches simples et précises (p.ex. mémoriser une liste de numéros de téléphone).

Pourtant, plusieurs résultats contrastent avec ce point de vue. D'abord, dans la présente thèse, les enfants autistes ont été en mesure de généraliser les associations apprises à de nouveaux items qui ne partagent pas les mêmes caractéristiques que ceux de la phase d'apprentissage (formes et couleurs différentes des caractéristiques des premiers stimuli). De plus, d'autres études ont montré qu'il ne semble pas y avoir une meilleure mémorisation des exemplaires par les personnes autistes lorsque celle-ci est évaluée à la fin de la période d'apprentissage (Bott et al., 2006; Soulieres, Mottron, et al., 2011). Notamment, la réalisation d'une tâche de catégorisation en imagerie fonctionnelle n'a pas donné lieu à une hausse de l'activation de l'hippocampe, région pourtant impliquée dans la mémorisation (Schipul et al., 2011). Quant à la complexité du matériel, les personnes autistes sont en mesure de réaliser des tâches abstraites complexes au plan verbal et numérique au même titre que les contrôles et se montrent même meilleurs dans des tâches de raisonnement visuospatial abstrait (Stevenson & Gernsbacher, 2013). Enfin, s'ajoutent plusieurs exemples de talents ou de forces relatives dans l'autisme qui dépendent de la capacité à saisir implicitement des régularités complexes: lecture, calendrier, gamme de musique, etc. L'ensemble de ces résultats semble indiquer que l'apprentissage autistique ne se limite pas qu'à du matériel simple; les personnes autistes seraient en mesure de dégager des régularités complexes de leur environnement.

### 5.3.2 Apprentissage implicite : stratégies implicites ou explicites ?

Les apprentissages implicite et explicite s'appuient sur des circuits cérébraux différents (Fletcher et al., 2004; Squire, 2004). D'une part, l'apprentissage implicite est plutôt tributaire de l'expérience et de l'observation, sollicitant un réseau neuronal plus diffus et dépendant de la tâche en question. Il met à contribution des régions spécifiques à la tâche (p.ex. aires occipitales s'il s'agit d'une tâche impliquant la recherche de régularités visuelles), mais aussi des régions non-spécifiques à la tâche, en l'occurrence le cortex frontal, les ganglions de la base et les interactions cortico-striatales (Packard & Knowlton, 2002). Quant à lui, l'apprentissage explicite implique le lobe temporal médian et les régions pariéto-temporales, avec des projections à l'hippocampe et au cortex préfrontal, notamment (Cohen, Eichenbaum, Deacedo, & Corkin, 1985; Eichenbaum, 1999). Habituellement, plus l'apprentissage progresse, plus la sollicitation du lobe temporal médian diminue. De plus, selon la structure de la situation ou du moment de l'apprentissage (p.ex. début vs fin de tâche), les réseaux neuronaux implicite et explicite peuvent être sollicités et interagir différemment.

Il n'est pas encore clair si les stratégies des personnes autistes et non-autistes évoluent de la même manière au cours de l'apprentissage. Des performances similaires entre autistes et non-autistes dans une tâche n'impliquent pas nécessairement l'utilisation de stratégies semblables par les deux groupes. Ceci a été constaté dans diverses tâches cognitives : dans la réalisation des Matrices progressives de Raven, les adultes autistes utilisent davantage une stratégie perceptive pour résoudre la tâche (Soulieres et al., 2009); alors que dans une tâche de catégorisation, autistes et non-autistes montrent un patron d'activation cérébral différent, malgré des performances comportementales similaires (Schipul et al., 2011; Schipul & Just, 2016).

Par ailleurs, bien que les 4 situations d'apprentissage de la présente thèse soient de type implicite, elles pourraient solliciter différemment les mécanismes

d'apprentissage. Les situations d'apprentissage évaluant l'effet de la rétroaction (condition faible et forte intensité de rétroaction) exigent de tenir compte d'une rétroaction extérieure à la tâche pour dégager la structure des catégories, ce qui peut favoriser l'utilisation de stratégies explicites pour dégager le patron d'appartenance des items à une catégorie. En effet, la présence d'une rétroaction externe à la tâche incite peut-être les enfants à rapidement émettre des hypothèses sur les critères de classement et « tester » les règles d'appartenance. En revanche, les deux situations portant sur la présentation du matériel (isolée et simultanée) reposent davantage sur un apprentissage par observation, possiblement plus favorable à l'utilisation de stratégies implicites.

Certains auteurs proposent que les enfants autistes pourraient s'appuyer plus largement sur des stratégies explicites lors de la réalisation d'une tâche d'apprentissage implicite (Brown et al., 2010; Ullman & Pullman, 2015) et qu'il ne s'agirait pas tant d'un déficit de l'apprentissage implicite que d'une sur-sollicitation de stratégies explicites par les personnes autistes (Zwart, Vissers, van der Meij, Kessels, & Maes, 2017). Pourtant, des études montrent que les personnes autistes cherchent moins rapidement que les personnes neurotypiques à se doter de règles de classement explicites et qu'au contraire, les personnes autistes tardent à employer des stratégies explicites pour catégoriser l'information. Par exemple, Soulieres, Mottron, et al. (2011) montrent dans une tâche de catégorisation perceptive qu'il a fallu plus de temps pour les personnes autistes à adopter un critère de classement similaire aux non-autistes. Dans une autre étude, les adultes autistes semblent montrer un patron d'activation à l'électroencéphalographie (EEG) beaucoup plus caractéristique de l'apprentissage implicite (détection automatique des régularités), comparativement à un groupe d'enfants avec trouble de langage, pour qui l'apprentissage semble reposer davantage sur l'utilisation de stratégies explicites (Zwart et al., 2018).

L'apprentissage explicite est associé aux aptitudes cognitives générales de l'enfant. Dans la population normative, les enfants qui ont une meilleure performance en apprentissage de catégories probabilistes ont souvent de meilleures capacités cognitives verbales (Smith et al., 2000). Cette association entre le QI verbal et les capacités de catégorisation n'est pas retrouvée en autisme; le QI non verbal serait un meilleur prédicteur de la capacité à catégoriser (Gastgeb et al., 2012; Molesworth et al., 2008). En revanche, l'apprentissage implicite dépend beaucoup moins des capacités intellectuelles de la personne et est par conséquent moins lié au QI (Gebauer & Mackintosh, 2007; Kaufman et al., 2010; Reber et al., 1991). Dans le cadre de la présente thèse, 48/54 (89%) des enfants autistes ont un Indice de raisonnement perceptif (IRP) > Indice de compréhension verbale (ICV). Une majorité claire de 39/54 (72%) enfants autistes présentent même une différence significative entre les deux, différence trouvée dans moins de 5% de la population. En revanche, seulement 6/54 (11%) enfants autistes ont ICV > IRP, contrairement à 19/52 pour les non-autistes, mais cette différence n'atteint pas le seuil de significativité chez aucun des enfants autistes. Pour les deux groupes d'enfants, il n'y a pas d'association entre leurs capacités cognitives verbales / non verbales et leur performance aux 4 situations d'apprentissage, ce qui est cohérent avec le faible lien entre les ressources intellectuelles et l'apprentissage implicite. Par ailleurs, il y a une association positive entre le résultat en mémoire de travail visuospatiale (mesuré à l'aide des Blocs de Corsi) et la performance des enfants autistes à la situation isolée; situation pour laquelle leur performance est plus faible, sans que cette association ne soit retrouvée chez les enfants du groupe contrôle. Ce résultat permet de supposer que les enfants autistes doivent solliciter plus largement les mécanismes exécutifs pour retenir les associations stimulus-réponse lorsqu'un seul item est présenté, ce qui semble moins nécessaire lors d'un apprentissage simultané ou pour les participants contrôles.

Par ailleurs, on peut également émettre l'hypothèse que la situation dite isolée sollicite davantage l'utilisation de stratégies explicites pour dégager le patron

d'appartenance aux catégories puisque les items sont présentés un à la suite de l'autre. Ce type d'apprentissage pourrait interpellier davantage la sphère verbale que ce soit le langage ou la mémoire de travail verbale. En revanche, l'apprentissage simultané repose probablement davantage sur l'observation et l'apprentissage implicite plutôt que sur le langage ou les mécanismes exécutifs.

### 5.3.3 Prédicteurs de l'apprentissage : Hétérogénéité de certains sous-groupes

Il est assez commun de retrouver dans les études en autisme une plus grande étendue de résultats à l'intérieur du groupe autiste, comparativement aux non-autistes, et l'écart des résultats est parfois plus grand entre les participants autistes que lorsqu'on compare la moyenne des deux groupes. Ce phénomène a été observé dans l'étude de plusieurs processus cognitifs, incluant dans les tâches d'apprentissage. Par exemple, Jeste et al. (2015) ont montré auprès de leur échantillon d'enfants autistes âgés de 2 à 6 ans que 61% des enfants affichaient une performance similaire au groupe contrôle lors d'une tâche d'apprentissage statistique visuel, alors qu'environ 40% du groupe ne semblait pas avoir appris de la situation. Ce phénomène se retrouve aussi dans la présente thèse où la performance des enfants autistes aux tâches de catégorisation est plus variable que celle des enfants du groupe contrôle (cf. **Figure 3.4** de l'article 1). Si l'on divise les deux groupes de la présente étude en fonction de ceux qui ont « appris les catégories » (*Apprenants*: performance au-dessus de 60%) de ceux chez qui l'apprentissage est moins manifeste (*Non-apprenants* : performance en-deçà de 60%) (cf. **tableau 5.1**), le profil est différent entre autistes et non-autistes, permettant d'apporter un certain éclairage sur la question de l'apprentissage en autisme. D'abord, il est intéressant de souligner que la proportion d'apprenants autistes est nettement plus grande dans la tâche simultanée par rapport aux trois autres conditions. Parallèlement, il y a plus d'enfants neurotypiques qui sont de bons apprenants lors d'un apprentissage avec forte rétroaction, comparativement à la situation avec faible rétroaction, et on retrouve un écart entre le QI verbal des *apprenants* et *non-*

*apprenants*. En revanche, le QI verbal ne diffère pas entre les enfants autistes qui apprennent de ceux qui n'apprennent pas, et ce pour les 4 conditions. Par ailleurs, il y a un écart plus important entre le QI verbal (ICV) et non-verbal (IRP) chez les enfants autistes « non-apprenants » dans les tâches de rétroaction; le QI non-verbal est plus élevé que chez les « apprenants ». En revanche, le QI non verbal est plus homogène entre les enfants autistes « apprenants » et « non-apprenants » dans les tâches de présentation de matériel. On peut supposer que les enfants autistes s'appuient davantage sur un apprentissage explicite dans les deux premières et favorisent plutôt un apprentissage implicite dans les deux dernières, puisque celui-ci est moins tributaire des capacités cognitives générales.

**Tableau 5.1** Proportion (nombre (N) et % du groupe) d'enfants qui affichent une performance au-dessus (apprenants) et en-dessous (non-apprenants) de 60% aux 4 situations d'apprentissage. ICV : Indice de compréhension verbale (*M*, *SD*) et IRP : Indice de raisonnement perceptif (*M*, *SD*) donnés pour chaque sous-groupe.

| Enfants autistes                         | Apprenants (learners) | Non-apprenants (non-learners) |
|------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| <b>Low feedback</b>                      |                       |                               |
| N (% de l'échantillon)                   | 10 (38%)              | 16 (62%)                      |
| ICV                                      | 79.25 (33.82)         | 78.56 (23.26)                 |
| IRP                                      | 88.38 (38.28)         | 107.81 (15.89)                |
| <b>High Feedback</b>                     |                       |                               |
| N (range)                                | 11 (44%)              | 15 (56%)                      |
| ICV                                      | 79.36 (27.58)         | 80.00 (27.89)                 |
| IRP                                      | 95.27 (32.91)         | 108.13 (17.99)                |
| <b>Isolated</b>                          |                       |                               |
| N (range)                                | 8 (27%)               | 20 (73%)                      |
| ICV                                      | 72.14 (52.31)         | 67.95 (43.68)                 |
| IRP                                      | 108.86 (12.60)        | 110.00 (13.39)                |
| <b>Simultaneous</b>                      |                       |                               |
| N (range)                                | 18 (64%)              | 10 (36%)                      |
| ICV                                      | 62.78 (47.99)         | 58.17 (46.24)                 |
| IRP                                      | 109.83 (11.99)        | 100.92 (34.76)                |
| Enfants typiques                         | Apprenants (learners) | Non-apprenants (non-learners) |
| <b>Low feedback</b>                      |                       |                               |
| N (% de l'échantillon)                   | 14 (50%)              | 14 (50%)                      |
| ICV (valeur de <i>r</i> et de <i>p</i> ) | 80.38 (48.25)         | 93.71 (41.41)                 |
| IRP                                      | 116.23 (11.51)        | 102.79 (31.46)                |
| <b>High Feedback</b>                     |                       |                               |
| N (% de l'échantillon)                   | 19 (68%)              | 9 (32%)                       |
| ICV                                      | 78.00 (49.83)         | 108.14 (11.83)                |
| IRP                                      | 108.53 (29.56)        | 111.14 (9.49)                 |
| <b>Isolated</b>                          |                       |                               |
| N (% de l'échantillon)                   | 14 (57%)              | 10 (43%)                      |
| ICV                                      | 106.92 (13.43)        | 111.30 (14.71)                |

|                        |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|
| IRP                    | 112.23 (9.13)  | 112.10 (10.99) |
| <b>Simultaneous</b>    |                |                |
| N (% de l'échantillon) | 13 (61%)       | 9 (39%)        |
| ICV                    | 110.92 (12.26) | 108.00 (15.64) |
| IRP                    | 113.00 (8.85)  | 110.56 (11.73) |

En bref, il est intéressant de retenir que l'apprentissage implicite est au cœur d'une grande variété d'acquisitions et que l'apprentissage probabiliste est central au développement de la communication et des interactions sociales. Il pourrait donc s'avérer pertinent de mettre en place des outils d'intervention qui permettent de s'appuyer sur l'apprentissage des régularités pour optimiser le fonctionnement des personnes autistes; d'autant plus que l'apprentissage implicite est moins dépendant du QI, qu'il apparaît tôt dans le développement et qu'il est aussi possible chez des enfants minimalement-verbaux, comme le suggère l'apprentissage de la lecture en l'absence de langage oral chez certains d'entre eux (Jeste et al., 2015).

#### **5.3.4 Généralisation de l'apprentissage : Transfert des principes de catégorisation**

La généralisation des apprentissages est un enjeu majeur dans tout programme d'intervention. En ce sens, on constate que le transfert de ce qui a été acquis dans une situation d'intervention vers un contexte différent est souvent difficile pour les personnes autistes (Brown & Bebko, 2012; Pellicano & Burr, 2012). D'ailleurs, les difficultés de généralisation font souvent partie du tableau clinique des personnes autistes et de nombreuses études, dont quelques récentes méta-analyses, placent les difficultés de flexibilité cognitive au premier plan des faiblesses exécutives des personnes autistes (Demetriou et al., 2018; Lai et al., 2017). En catégorisation, la plupart des études qui ont exploré cette question font le constat d'un manque de transfert des catégories apprises à de nouveaux items (Harris et al., 2015). Les personnes autistes auraient du mal à appliquer les règles apprises antérieurement de manière flexible et selon les conditions changeantes du contexte (Barbaro &

Dissanayake, 2007). Or, les résultats actuels proposent que la généralisation soit possible, du moins dans un contexte d'apprentissage probabiliste. En effet, il n'y a pas eu de baisse significative de la performance dans la seconde phase test, et ce, ni pour l'une, ni pour l'autre des 4 conditions. Le fait que la généralisation ait été possible suggère que les enfants autistes n'ont pas procédé à la mémorisation de chacun des items, ni aux caractéristiques perceptives des stimuli, mais qu'ils aient été en mesure d'extraire implicitement la structure même des catégories. En présence de nouveaux items comportant des attributs différents des précédents, les deux groupes ont pu appliquer les règles de classement aux nouveaux items et montrent une distribution similaire de leurs réponses. Ainsi, non seulement certaines conditions d'apprentissage sont plus favorables pour l'acquisition de nouvelles catégories, mais elles permettent également le transfert des acquisitions à un contexte changeant; ce qui ne va pas nécessairement dans le sens d'un déficit global de la généralisation tel que proposé par Plaisted (2001). Puisque la plupart des objets / situations de la vie quotidienne sont en fait des catégories complexes comportant plusieurs dimensions, l'apprentissage implicite pourrait s'avérer une voie intéressante pour l'apprentissage non seulement d'objets simples, mais aussi complexes; d'autant plus si la structure de la tâche s'apparente à la condition simultanée de la présente étude, puisque c'est dans ce contexte que les enfants autistes affichent leur meilleure performance.

### **5.3.5 La rétroaction : Un rôle différent en autisme?**

(Étude 1 a. Impact de l'intensité de la rétroaction sur l'apprentissage)

La première partie de l'étude 1 visait à apporter un éclairage sur le rôle joué par la rétroaction dans les apprentissages en autisme en étudiant l'effet de son intensité. Dans le développement typique, les enfants se montrent habituellement aidés par la rétroaction offerte en cours d'apprentissage. Ils se servent de cette rétroaction pour faire une « mise à jour » de leur apprentissage en fonction de l'information qu'ils reçoivent durant son parcours. Au fil des essais et grâce à des mécanismes de plasticité cérébrale, des changements ont lieu dans les synapses des neurones du

réseau cortico-striatal en fonction de la rétroaction reçue (Shohamy et al., 2004). L'étude de la rétroaction en autisme est particulièrement intéressante puisqu'elle est partie prenante des interventions comportementales actuellement proposées aux enfants autistes.

La présente étude visait à comparer l'effet d'une rétroaction dite de faible intensité dans laquelle seule une rétroaction informative est présentée, à une rétroaction dite de plus forte intensité où une information à la fois informative et non-informative (servant de renforcement) est proposée. La rétroaction non-informative utilisée dans la présente recherche est plutôt de type « non-sociale » et elle implique l'utilisation d'un stimulus visuel/sonore non-social animé (feux d'artifices). Par ailleurs, la rétroaction est non-prévisible, surtout en début de tâche, alors que l'enfant procède par essais et erreurs puisqu'il n'a pas encore acquis la structure des catégories.

Les enfants avec un développement typique ont effectivement bénéficié de l'augmentation de la rétroaction. Leur apprentissage de nouvelles catégories s'est montré significativement meilleur lorsque l'apprentissage se faisait en présence d'une plus grande rétroaction extérieure. À l'opposé, sans se voir désavantagés comme le proposait notre hypothèse de départ, les enfants autistes ne se sont pas vus aidés par l'augmentation de l'intensité de la rétroaction. La rétroaction supplémentaire fournie dans la seconde condition n'a pas donné lieu à une amélioration de la performance des enfants autistes. Leur performance dans les deux conditions ne diffère pas l'une de l'autre et ils affichent des résultats inférieurs aux enfants du groupe contrôle dans la condition avec plus forte rétroaction. Comment comprendre le rôle différent de la rétroaction en autisme? Son caractère non-prévisible et non-informatif, de même que son interférence avec le rythme de la tâche peuvent certes constituer certains éléments de réponse.

### 5.3.5.1 Sous-utilisation de la rétroaction sociale et non-sociale

La théorie de la « motivation sociale » est souvent proposée pour comprendre la difficulté des personnes autistes à utiliser la rétroaction pour apprendre. Ce modèle stipule que les personnes autistes affichent tôt dans leur développement une préférence pour explorer et apprendre à partir de leur environnement non-social, délaissant les composantes sociales et restreignant le déploiement d'expertise à l'égard du matériel social. Par conséquent, les personnes autistes apprennent moins facilement à partir de l'information sociale et elles utilisent moins la rétroaction, surtout si elle est de nature sociale, pour apprendre (Chevallier, Kohls, Troiani, Brodtkin, & Schultz, 2012; Chevallier, Molesworth, & Happe, 2012; Jones & Klin, 2013). L'intérêt moindre pour le matériel social est conforme avec les résultats de nombreuses études en poursuite oculaire qui montrent une diminution de l'attention portée aux objets sociaux (Chevallier, Kohls, et al., 2012; K. Pierce et al., 2011) et serait associé à une perturbation du circuit orbito-frontal-striatal-amygdale, cause d'une diminution de la valeur renforçatrice des stimuli sociaux.

Une série d'études réalisées dans les dernières années a cherché à préciser le rôle de la contingence, de la valence (rétroaction positive vs négative) et de la nature du renforcement (social vs non-social) donné en cours d'apprentissage. Certaines études montrent de plus faibles performances chez les personnes autistes lors de l'utilisation de renforçateurs sociaux (p.ex. visage, applaudissements, Cox et al., 2015; Delmonte et al., 2012; Kohls et al., 2012; Scott-Van Zeeland, Dapretto, et al., 2010), alors que d'autres trouvent une sous-utilisation globale de la rétroaction, que celle-ci soit sociale ou non-sociale (Kohls et al., 2011; Kohls et al., 2012).

Pourtant, même s'il persiste des divergences quant à l'impact du type de renforçateur utilisé sur la réponse comportementale, la vaste majorité des études montrent qu'il y a une sous-activation chez les personnes autistes du « circuit de la récompense », et ce, peu importe la nature du renforçateur. Le circuit dopaminergique de « la

récompense » implique des interactions entre l'aire tegmentaire ventrale, le striatum, le cortex orbito-frontal, le cortex préfrontal ventro médian et le cortex cingulaire antérieur, formant ensemble le circuit mésolimbique de la récompense (Haber & Knutson, 2010; O'Doherty, 2004). Le striatum ventral, comprenant le noyau accumbens, serait plutôt impliqué dans les aspects motivationnels de la récompense, alors que la partie dorsale, incluant le noyau caudé et le putamen, serait plutôt importante pour le monitoring des conséquences de la rétroaction (Balleine, Delgado, & Hikosaka, 2007). Des études ont montré une moins grande réponse du circuit lié à la récompense lors d'un apprentissage avec renforcement, avec notamment une diminution de l'activité du noyau accumbens, tant chez les enfants que chez les adultes autistes (Delmonte et al., 2012; Dichter et al., 2012; Kohls et al., 2012; Scott-Van Zeeland, Dapretto, et al., 2010). Il y aurait également une diminution de la connectivité cortico-striatale et de la connectivité locale des régions du système entre elles (p.ex. diminution de la connectivité entre le noyau accumbens et l'aire tegmentaire ventrale) (Supekar et al., 2018). Par ailleurs, une méta-analyse de Clements et al. (2018) relevait à partir de 13 études en IRMf une diminution d'activation du circuit de la récompense tant en présence de renforçateurs sociaux que non-sociaux. La diminution de l'activité cérébrale du circuit de la récompense a été associée à de plus grandes faiblesses au plan de la réciprocité relationnelle (Supekar et al., 2018). En revanche, l'utilisation des intérêts des personnes autistes (objets, images, vidéos) comme renforçateurs active différemment leur réseau neuronal et sollicite une activité cérébrale plus près de celle des neurotypiques (Dichter et al., 2010; Kohls, Antezana, Mosner, Schultz, & Yerys, 2018; Schuetze et al., 2019). Par conséquent, les objets d'intérêt pourraient détenir un rôle distinct dans l'apprentissage.

En somme, la rétroaction comme composante de la situation d'apprentissage semble agir différemment en autisme. Les enfants autistes et non-autistes se distinguent quant à la valeur renforçatrice qu'ils accordent à certains objets. Par ailleurs, il est peu probable que l'effet différent de la rétroaction en autisme soit causé par un déficit à

même le réseau neuronal puisque celui-ci est activé en présence de certains objets d'intérêt.

### **5.3.5.2 Aspect imprévisible de la rétroaction et bris du rythme de la tâche**

La présente thèse permet de mettre en lumière un temps de réponse plus lent chez les enfants autistes, comparativement aux non-autistes, lorsque l'apprentissage dépend de la rétroaction extérieure (temps de réponse plus lent dans les conditions avec faible et forte rétroaction), alors que les enfants autistes parviennent à répondre aussi rapidement que les non-autistes lorsque l'apprentissage est basé sur l'observation des associations items-catégorie (conditions isolée et simultanée). Se pourrait-il que la rétroaction puisse interférer avec l'apprentissage dans certains contextes?

L'intervalle entre la présentation de chacun des items est plus long dans les tâches de rétroaction que dans les tâches d'observation. Dans les faits, l'insertion de la rétroaction entre chacun des items de la tâche occasionne un plus long décalage avant l'arrivée du prochain stimulus. Ce plus grand décalage entre la présentation des différents items pourrait faire en sorte qu'il soit plus difficile pour les enfants autistes de percevoir ce qu'il y a de commun entre les différents exemplaires d'une même catégorie. La rétroaction pourrait interférer avec le rythme de la tâche puisque celle-ci vient interrompre le cours de l'apprentissage en présentant des informations qui ne sont pas toutes nécessaires à l'apprentissage des catégories (p.ex. présentation écrite des consignes/réponses, rétroaction à la fois informative et renforçatrice). Bien que l'hypothèse de départ n'ait pas été confirmée dans la présente thèse, il n'est pas exclu qu'un délai encore plus long entre la présentation des différents items pourrait être nuisible pour les enfants autistes. Une rétroaction de plus longue durée ou qui serait plus soutenue pourrait entraver la détection des régularités dans le matériel présenté, du moins dans certaines situations (se référer également section 5.3.6.2 *Accès à l'information : importance des régularités et des patterns*).

### **5.3.5.3 La rétroaction favoriserait-elle l'utilisation de stratégies explicites?**

Des auteurs proposent que, dans certains contextes, la rétroaction extérieure puisse nuire à l'apprentissage de catégories perceptuelles en encourageant un apprentissage explicite basé sur l'utilisation de règles plutôt que de favoriser un apprentissage implicite (Maddox, Love, Glass, & Filoteo, 2008). Par exemple, dans un apprentissage moteur, Izadi-Najafabadi, Mirzakhani-Araghi, Miri-Lavasani, Nejati, et Pashazadeh-Azari (2015) ont montré que l'utilisation de consignes extérieures ralentissait davantage l'apprentissage des personnes autistes, comparativement aux non-autistes. Dans le cadre de la présente étude, l'insertion de la rétroaction crée un certain intervalle entre la présentation de chacun des items de la catégorie. Cette interruption dans le rythme de la tâche pourrait faire en sorte que les enfants autistes et non-autistes mobilisent davantage des stratégies explicites qu'implicites pour résoudre la tâche (Brown et al., 2010). De plus, il est intéressant de noter que les enfants autistes rencontrés dans le cadre de la présente recherche se montraient plus souvent dérangés dans les deux tâches de rétroaction (condition avec faible et forte rétroaction), comparativement à celles où ils observaient les associations. Dans les situations avec rétroaction, les enfants des deux groupes démontraient parfois un inconfort lorsque le critère de classification qu'ils tentaient d'utiliser ne fonctionnait pas à chaque essai (p.ex. association de la Boucle à la catégorie Vanille), soulevant l'hypothèse que les enfants essayaient d'appliquer une règle pour catégoriser les items plus rapidement que dans les tâches d'observation.

### **5.3.5.4 Plus de rétroaction est-il nécessairement mieux pour les enfants autistes?**

De manière générale, la rétroaction peut être de deux ordres. Elle peut soit être de nature informative, c'est-à-dire que la rétroaction apporte une information supplémentaire pour la résolution de la tâche, ou non-informative lorsque celle-ci est plutôt renforçatrice, sans nécessairement apporter une information additionnelle. Dans le développement typique, les enfants profitent habituellement d'une

augmentation de la quantité d'information disponible pour résoudre un problème et se montrent sensibles au renforcement en cours d'apprentissage.

Les présents résultats ne concordent pas avec ceux de l'étude de Demurie et al. (2011) qui montrait que les enfants et adolescents autistes s'avèrent sensibles à l'intensité d'un renforçateur monétaire et social, avec une augmentation de leur performance parallèle à l'accroissement de la rétroaction. Dans le contexte de la présente thèse, l'information additionnelle présente dans la condition avec forte rétroaction (ajout d'une animation visuelle et auditive lorsque l'enfant obtient une bonne réponse) n'est pas une information essentielle ou nécessaire pour apprendre. L'enfant n'a pas besoin de l'animation visuelle et sonore fournie dans la seconde condition pour savoir s'il a bien classé l'item ou non. Cette information semble donc « peu utile » pour les enfants autistes, qui voient leur performance inchangée entre les deux conditions, alors qu'elle semble jouer un tout autre rôle pour les enfants typiques, qui voient leur performance améliorée. Par ailleurs, la performance des enfants autistes est meilleure dans la condition simultanée qui n'offre aucune rétroaction extérieure et dans laquelle la rétroaction est plutôt inhérente à la tâche (observation des associations items-catégorie).

La difficulté à utiliser la rétroaction a souvent été associée au manque de flexibilité cognitive observé dans l'autisme. Les tâches les plus communément utilisées pour évaluer la flexibilité cognitive s'apparentent au *Wisconsin Card Sorting Test - WCST* où les participants doivent modifier leur réponse à partir de la rétroaction qui leur est donnée. Il s'agit bien souvent de tâches d'apprentissage perceptuel où la règle d'association change en cours de route. Les personnes autistes ont plus largement montré des faiblesses dans ce genre de tâche (p.ex. mettent plus de temps avant de changer de patron de réponse; reviennent plus souvent à l'ancienne manière de classer; persévèrent à donner la même réponse) (D'Cruz et al., 2013). Par ailleurs, des études ont montré qu'une amplification de la rétroaction n'améliore pas

nécessairement la performance des personnes autistes et, qu’au contraire, la rétroaction semble non-nécessaire dans certains contextes d’apprentissage. Collignon et al. (2013) montraient que l’ajout d’une information qui se veut pourtant informative pour les non-autistes (ajout d’un indice sonore dans une tâche de recherche visuelle) n’améliore pas la performance des participants autistes. Une étude différente de Broadbent et Stokes (2013) montrait que le retrait de la réponse négative lors de la tâche du *WCST* (ne plus dire « non » lorsque le participant ne classe pas adéquatement les cartes), tout en maintenant la réponse positive lorsque le classement est juste, nuisait aux enfants du groupe contrôle; mais pas aux enfants autistes, qui affichaient une nette amélioration de leur performance au point de rejoindre celle du groupe contrôle à la tâche originale.

Enfin, on peut également soulever comme hypothèse que la rétroaction est plus difficile à intégrer dans l’apprentissage puisque les personnes autistes doivent s’ajuster à une composante extérieure à eux. La rétroaction extérieure, particulièrement si elle n’est pas liée à la résolution de la tâche, est peut-être plus difficile à comprendre pour certaines personnes autistes et, en l’occurrence, pourrait devenir une information gênante plutôt qu’aidante. Les études montrent que les fonctions exécutives que l’on qualifie comme « *hot executive function* », notamment celles associées à la régulation des émotions et au délai de gratification, sont parmi les fonctions exécutives les plus fragilisées en autisme (Zimmerman, Ownsworth, O'Donovan, Roberts, & Gullo, 2016). On peut donc se demander si dans certains contextes, la rétroaction extérieure ne pourrait pas exacerber les fragilités de régulation et, par conséquent, avoir un impact sur le reste de la cognition (interaction entre les fonctions exécutives « chaudes » et froides ». C’est peut-être le cas lorsqu’on répète « non » à maintes reprises lors de la passation du *WCST*.

### **5.3.6 Un accès à l'information comme support à l'apprentissage chez les enfants autistes (Étude 1 B – Impact de la présentation du matériel sur l'apprentissage)**

La seconde partie de l'étude 1 visait à comparer deux manières de présenter le matériel à apprendre : soit une présentation dite plus « isolée » (un item à la fois), rappelant un peu ce qui est fait en intervention, et une présentation dite « simultanée », où plusieurs exemplaires de la catégorie sont disponibles en même temps. Les présents résultats montrent que l'apprentissage des enfants autistes est facilité dans un contexte où toute l'information à apprendre est présente simultanément. En effet, leur performance dans une tâche de catégorisation s'est montrée meilleure lorsqu'ils ont pu observer et manipuler plusieurs items de la catégorie en même temps, comparativement à lorsqu'ils observaient une seule association item-catégorie à la fois. Pour sa part, la performance du groupe contrôle est équivalente, peu importe la façon de présenter le matériel. Comment comprendre ces écarts de performance entre la condition isolée et simultanée de la présente recherche, alors que les personnes autistes sont souvent connues comme étant sensibles à la surcharge sensorielle ? Trois avenues de réponse sont proposées dans la présente thèse, en l'occurrence : (1) la capacité des personnes autistes à traiter un plus grand nombre d'informations, (2) l'attrait des personnes autistes pour comprendre les structures / les régularités / les patterns de présentation et (3) la possibilité de manipuler / classer le matériel à apprendre.

#### **5.3.6.1 Accès à l'information et augmentation de la capacité perceptive**

Divers travaux ont porté sur l'efficacité des processus attentionnels dans l'autisme. L'attention est un concept multimodal qui fait référence à la capacité de (1) demeurer alerte à son environnement, (2) maintenir son attention sur une tâche en dépit des distractions internes ou externes et (3) partager son attention entre plusieurs tâches simultanément. Il est difficile d'établir une position claire sur l'efficacité des processus attentionnels en autisme puisqu'une même personne peut présenter une

difficulté à porter son attention sur l'information pertinente, mais être tout à fait capable de passer plusieurs heures sur une activité / sujet d'intérêt (p.ex. lego, dessin, recherche documentaire sur un sujet, etc.).

L'attention sélective chez les personnes autistes, ou la capacité à sélectionner une information en dépit de la présence de distracteurs, est similaire à celle des non-autistes, voire même supérieure pour certaines qui affichent une aisance pour discriminer l'information localement (p.ex. tâche de recherche visuelle). Cette habileté est d'ailleurs associée aux forces que montrent les personnes autistes dans les tâches qui demandent une attention aux détails (p.ex. figures enchevêtrées). L'attention visuelle est aussi dépendante de la capacité perceptive (*perceptual load*) de la personne, référant à la quantité d'information pouvant être traitée par ses systèmes perceptifs dans un temps donné. Lorsque la charge de la tâche est faible et en-deçà des capacités de traitement de la personne, celle-ci a davantage tendance à se laisser assaillir par les distracteurs. Au contraire, lorsque la charge perceptive augmente, mais sans dépasser les ressources individuelles, le risque de se laisser distraire diminuerait. En revanche, lorsque la charge d'information devient trop élevée, on observe le phénomène de « cécité attentionnelle » qui réfère à la difficulté de percevoir un stimulus lorsque la quantité d'informations dépasse les capacités perceptives de la personne. En conclusion, l'apprentissage est favorisé lorsqu'il y a un bon équilibre dans la charge de la tâche : un contexte trop épuré ou, au contraire, trop chargé ou complexe favorise le décrochage attentionnel (Barrett, Davies, Zhang, & Barrett, 2015; Forster & Lavie, 2009).

De récents travaux montrent que les personnes autistes présenteraient une capacité supérieure de traitement de l'information, c'est-à-dire qu'elles seraient en mesure de considérer une plus grande quantité d'informations dans un temps donné (Fletcher-Watson et al., 2012). On observe dans ces études une hausse du seuil de « cécité attentionnelle » chez les autistes dans des tâches de recherche visuelle

complexe, suggérant qu'elles sont moins rapidement surchargées par la quantité de distracteurs. Ces résultats ont donné lieu à la *Perceptual Load Theory* qui propose que les personnes autistes seraient en mesure de traiter un plus grand nombre d'informations simultanément (Remington, Swettenham, Campbell, & Coleman, 2009; Remington et al., 2012). Cette supériorité du traitement perceptif serait associée à la supériorité des autistes dans plusieurs tâches en perception visuelle, comme la capacité à localiser une cible ou dégager des patterns visuels (Zsuzsa Kaldy, Giserman, Carter, & Blaser, 2016). Cette augmentation de la capacité perceptive serait associée à des différences aux régions occipitales et pariétales (p.ex. augmentation du volume de la matière grise chez les autistes) (Swettenham et al., 2014) et appuierait l'idée de l'autonomie des processus perceptifs au sein de la cognition autistique (Mottron, Dawson, Soulieres, et al., 2006).

Les personnes autistes peuvent donc utiliser une plus grande quantité d'informations en un temps donné pour résoudre une tâche complexe, alors que les personnes typiques cherchent plus rapidement à regrouper l'information pour diminuer la charge perceptive. Remington, Hanley, O'Brien, Riby et Swettenham (2019) ont transposé leur hypothèse dans un contexte d'apprentissage en montrant que les enfants autistes ne se montrent pas gênés par l'ajout d'information durant la complétion d'une tâche académique en classe. Durant la lecture d'une courte histoire par un membre de l'équipe de recherche, les enfants autistes et non-autistes étaient exposés en arrière-plan à des images pertinentes et non-pertinentes pour l'histoire. Les résultats montrent, d'une part, que les enfants autistes comme les enfants du groupe contrôle étaient en mesure de répondre à une série de questions liées à l'histoire ou aux images liées à l'histoire et, d'autre part, que les enfants autistes surpassaient les enfants du groupe contrôle pour répondre à des questions dont le contenu portait sur les informations non-pertinentes placées en arrière-plan. Les résultats de cette étude suggèrent que non seulement les enfants autistes ne sont pas gênés par l'ajout d'informations, mais qu'ils sont aussi en mesure de traiter une plus grande quantité

d'informations dans une tâche donnée. Cette conclusion contraste avec la surcharge sensorielle observée dans certaines situations et qui a souvent été associée à l'attention restreinte / spécifique chez les personnes autistes (Liss, Saulnier, Fein, & Kinsbourne, 2006).

Les résultats de la présente thèse concordent avec l'hypothèse d'une plus grande capacité perceptive en autisme. Les enfants autistes ne se sont pas montrés gênés par l'augmentation du nombre d'items présentés simultanément et, au contraire, leur performance est meilleure lorsqu'ils ont accès à un large éventail d'items. Cette augmentation de la quantité d'informations disponible simultanément n'a pas le même effet chez les enfants non-autistes pour qui la performance dans l'une ou l'autre des tâches est similaire. Ceci est cohérent avec la performance des enfants autistes qui sont moins dérangés que leurs pairs non-autistes par l'augmentation du nombre de distracteurs aux tâches de recherche visuelle; leur supériorité étant d'autant plus marquée pour les items difficiles de la tâche (p.ex. présence de 50 et 75 distracteurs plutôt que 5 ou 15) (Courchesne et al., 2019; Courchesne et al., 2015; O'Riordan et al., 2001). En outre, le fait d'épurer une tâche de manière à y réduire l'information au minimum pourrait faire en sorte que les enfants autistes cherchent à combler par eux-mêmes « l'espace vacant » de traitement en s'attardant à d'autres informations qui ne sont pas nécessairement utiles pour la tâche (p.ex. en se laissant distraire par des informations non-pertinentes ou par leurs propres pensées). Ces résultats laissent à penser que l'accès à un plus large éventail d'informations pourrait rendre les enfants autistes plus efficaces au plan attentionnel. Au lieu d'épurer le contexte d'apprentissage, il serait peut-être plus stratégique d'augmenter l'accès à du matériel pertinent à la tâche, réduisant par le fait même les risques de distraction sur des éléments non-pertinents.

### **5.3.6.2 Accès à l'information : l'importance de la régularité et des patterns**

La supériorité des habiletés perceptives des personnes autistes fait maintenant l'objet d'un fort appui scientifique (Mottron, Dawson, Soulières, Hubert, & Burack, 2006; Simmons et al., 2009). Les personnes autistes ont montré des forces dans bon nombre de tâches qui demandent une attention aux détails et leur capacité à détecter des patterns serait à la base de nombreuses forces des personnes autistes (p.ex. Figure enchevêtrées, Recherche visuelle, Blocs). Leur performance dans des tâches perceptives est bien souvent supérieure que ce que prédit leur potentiel intellectuel (QI) (Courchesne et al., 2015; Rutter & Graham, 1966; Shah & Frith, 1983). Par exemple, Courchesne et al. (2019) montrent que des enfants autistes de 3-5 ans se sont avérés meilleurs dans tâches perceptives que ce qui était attendu par leur QI. De même, la corrélation entre leur performance dans des tâches perceptives et la mesure de l'intelligence est plus forte que celle retrouvée chez les enfants typiques.

Les habiletés perceptives caractérisent l'ensemble de la trajectoire développementale autistique; elles sont présentes dès la jeune enfance et elles ont été documentées à la fois chez les enfants, les adolescents et les adultes. L'intérêt pour les aspects perceptifs de l'environnement apparaît tôt dans le développement. Par exemple, une préférence pour les formes géométriques a été démontrée dès l'âge de 14 mois (Pierce, Conant, Hazin, Stoner, & Desmond, 2011), de même qu'une meilleure connaissance de l'alphabet chez des enfants autistes âgés de 3-5 ans (Dydia, Lawton, Logan, & Justice, 2014). Pour leur part, Cheung, Bedford, Johnson, Charman et Gliga (2018) montrent que les enfants qui recevront un diagnostic d'autisme à 3 ans affichaient une supériorité dans des tâches de recherche visuelle à 9 et 15 mois. Bien que les particularités de la perception visuelle soient plus ou moins présentes selon certains sous-groupes du continuum autistique (p.ex. plus prononcé dans l'autisme « prototypique » que chez ceux avec des forces au plan du langage), elles semblent néanmoins se retrouver sur l'ensemble du spectre.

Parmi les habiletés perceptives des autistes se démarque aussi une optimisation de la capacité de « cartographie véridique » (*veridical mapping*) permettant la reconnaissance de motifs / patterns pour dégager les similarités / correspondances entre plusieurs objets perceptifs. L'apprentissage reposerait alors plutôt sur la capacité à dégager des isomorphes, c'est-à-dire à dégager les invariants et les patrons de récurrence pour établir un parallèle entre différents objets qui partagent des caractéristiques communes (p.ex. cooccurrence de certaines lettres dans le code écrit) (Motttron et al., 2013). La structure qui est alors détectée peut être appliquée plus largement à d'autres représentations (p.ex. lecture de mots dans le code écrit). Cette propension à dégager des patterns serait associée à la nature de certains intérêts chez les personnes autistes, particulièrement pour du matériel qui offre la possibilité de dégager les régularités perceptives (p.ex. musique : correspondance entre le son, le nom des notes et leur notation sur la portée). L'utilisation de ce mécanisme de cartographie véridique serait à la base du développement de plusieurs habiletés perceptives en autisme.

Les personnes autistes seraient en mesure d'apprendre en étant exposées à une grande quantité d'informations. Bien que leur jugement de la similarité puisse être différent et plutôt basé sur des aspects perceptifs (Hetzroni & Shalahevich, 2018), elles sont en mesure d'extraire des patterns non seulement simples, mais aussi complexes, comme le démontre leur force aux *Matrices progressives de Raven* (Dawson et al., 2007; Nader et al., 2016). L'apprentissage serait marqué, au départ, par une relativement longue période de recherche et de collecte d'information, avant que la personne ne développe ensuite un système de représentation des informations auxquelles elle a été exposée (Dawson et al., 2008). En l'occurrence, l'apprentissage ne se manifeste pas nécessairement rapidement pour un observateur externe et peut se montrer différé dans le temps, rejoignant le récit de plusieurs parents qui témoignent que les apprentissages semblent se faire « tout d'un coup » chez leur enfant, « sans enseignement formel ».

Par ailleurs, la détection de patterns par les personnes autistes et non-autistes pourrait reposer sur des mécanismes cognitifs différents. La capacité à repérer les régularités reposerait peut-être moins sur l'implication de mécanismes exécutifs chez les personnes autistes (p.ex. la mémoire de travail qui permet de maintenir active une série de quelques informations en cours de tâche), mais plutôt sur des mécanismes perceptifs. Il est intéressant de rappeler que dans le cadre de notre recherche, les deux groupes d'enfants étaient appariés au plan de la mémoire de travail visuospatiale, et ce, pour les quatre conditions à l'étude. En revanche, une association entre la mémoire de travail visuospatiale et la performance est trouvée seulement dans la condition isolée pour les enfants autistes. La meilleure performance des enfants autistes dans la condition simultanée semble moins reliée au contrôle exécutif qu'à la possibilité qu'offre la situation d'apprentissage de détecter les régularités d'un exemplaire à l'autre. Ce postulat est conséquent avec les résultats de plusieurs travaux montrant l'implication plus grande des mécanismes perceptifs pour résoudre diverses tâches cognitives (cf. méta-analyse de Samson et al., 2012), notamment en catégorisation (Schipul et al., 2012; 2016).

L'insistance sur la similarité (« *insistence on sameness* »), critère du second domaine dans le DSM-5, a été corrélée positivement avec le développement global des enfants et pourrait possiblement avoir son utilité dans la trajectoire développementale de l'enfant autiste (Mooney, Gray, Tonge, Sweeney, & Taffe, 2009). La propension à dégager les patterns entre différents objets serait associée au développement des capacités exceptionnelles de même qu'à la haute prévalence de talents en autisme (p.ex. musique, code écrit, calcul de calendrier). Plusieurs personnes autistes développent une sorte d'expertise dans un domaine spécifique pour lequel elles peuvent réaliser des tâches cognitives d'un très haut niveau. On retrouverait environ 12% de personnes dites « savantes » dans le spectre autistique et leur domaine d'expertise implique bien souvent un matériau qui contient une grande densité de patterns (Howlin, Goode, Hutton, & Rutter, 2009). L'étude des capacités spéciales en

autisme suggère que leur expertise se base sur la capacité à détecter et manipuler des structures perceptives complexes (p.ex. code écrit, structure arithmétique, mélodie musicale) (Mottron et al., 2013; Mottron et al., 2009). Par exemple, un calculateur de calendrier explique qu'il ne procède pas par une connaissance explicite des règles de fonctionnement, mais plutôt par une expertise développée par exposition répétée à son matériel d'intérêt. Les questions pour lesquelles il prend le plus de temps à répondre ne sont pas celles qui réfèrent à des dates les plus éloignées dans le temps, mais plutôt à celles distantes de la région centrale du calendrier (Mottron et al., 2013; Mottron, Lemmens, Gagnon, & Seron, 2006), soulignant la plus grande sensibilité des personnes autistes pour les items dits « atypiques » d'une catégorie (Gastgeb et al., 2006; Naigles et al., 2013).

Par ailleurs, l'apprentissage implicite probabiliste / statistique est fortement associé à la capacité à dégager des patterns et des régularités temporelles / spatiales dans l'environnement. Cet apprentissage est essentiel pour comprendre la complexité de ce qui nous entoure puisqu'il permet d'extraire ce qui est invariant parmi un large éventail d'informations changeantes. Il dépend moins d'une rétroaction neuronale descendante et se montre plutôt tributaire de l'expérience et de l'observation. En l'occurrence, les forces perceptives décrites chez les personnes autistes sur le long cours sont possiblement associées à leur plus grande aisance lors de l'apprentissage implicite; celui-ci s'appuyant davantage sur la capacité à dégager des patterns et moins sur la rétroaction extérieure (Foti et al., 2015; Obeid et al., 2016). L'optimisation du mécanisme de cartographie véridique permet possiblement aussi aux autistes de déceler plus facilement les éléments perceptifs de ressemblance entre différents items d'une catégorie.

Les résultats actuels abondent dans le sens de Mottron et Dawson (2013) qui postulent que l'accès au potentiel et aux capacités des personnes autistes est dépendant de l'accès, de la quantité et de l'arrangement de l'information dont la

personne dispose (Mottron & Dawson, 2013; Mottron, 2010). Cette proposition est notamment basée sur la supériorité que montrent les personnes autistes aux Matrices progressive de Raven par rapport aux échelles standards de mesure de l'intelligence (p.ex. échelles Wechsler) (Chen, Planche, & Lemonnier, 2010; Dawson et al., 2007; Nader et al., 2016). La structure de la condition *simultanée* développée dans la présente thèse est similaire avec la structure des Matrices progressive de Raven. Les deux tâches de la condition *simultanée* proposent une information présentée de manière structurée (sous forme de matrices) de manière à ce que tout le matériel, ou du moins une grande partie de l'information nécessaire pour résoudre la tâche, soit disponible simultanément. La complétion de la tâche repose alors moins sur la rétroaction extérieure et moins sur les inférences des enfants avec des informations en mémoire à long terme.

Enfin, l'accès à un plus large éventail d'informations dans la phase d'apprentissage pourrait contrer l'effet de lenteur relevé chez les participants autistes dans les études utilisant un paradigme standard de catégorisation, soit un apprentissage isolé avec rétroaction à chaque essai. En effet, ces études montrent que l'apprentissage progresse souvent plus lentement pour les personnes autistes qui nécessitent d'être exposées à un plus grand nombre d'exemples de la catégorie pour atteindre un certain seuil de performance et finir par rejoindre le même niveau que celui des personnes typiques (Bott et al., 2006; Gordon & Stark, 2007; Soulières, Mottron, et al., 2011). Par exemple, Soulières et al. (2011) notaient que les participants non-autistes parvenaient assez rapidement à classer 70% des items dans une tâche de catégorisation, alors que les participants autistes atteignent le même seuil seulement à la fin de la phase d'apprentissage. Les participants autistes avaient besoin d'observer davantage d'items de chacune des catégories avant de parvenir à les distinguer l'une de l'autre. Par ailleurs, ces résultats rejoignent le récit de plusieurs adultes autistes, notamment ceux de Temple Grandin, auteure autiste, qui relate avoir observé des changements significatifs dans son fonctionnement autour de l'âge de 40 ans (p.ex.

moins rigide, plus de facilité dans ses relations sociales). Elle attribue ses meilleures capacités d'adaptation au fait qu'elle a cumulé, au fil des années, plusieurs expériences à partir desquelles elle a pu tirer des correspondances. Elle décrit la situation de la manière suivante: « *my ability to solve problems got better and better as I had more and more experiences and read more and more books and journal papers* ». Elle précise également: « *All my thinking is bottom up instead of top down. I find lot of details and put them together to form concepts and theories* » (Grandin, 2008). Le propos de Mme Grandin souligne l'importance de l'accessibilité hâtive au matériel d'apprentissage et aux expériences dans la trajectoire développementale des enfants autistes, d'autant plus que les aspects comportementaux comme les rigidités et le manque de flexibilité font fréquemment l'objet d'intervention. En outre, l'exposition simultanée à une plus grande quantité d'items d'une catégorie pourrait accroître la vitesse d'apprentissage chez les personnes autistes et leur permettre d'atteindre plus rapidement la même performance que les non-autistes. Malheureusement, le paradigme d'apprentissage par observation utilisé dans le cadre de cette thèse ne nous permet pas d'analyser la progression de l'apprentissage au cours de l'exposition au matériel. Dans de futurs travaux, il serait intéressant d'étudier l'impact de l'accès à un plus large éventail d'informations, non seulement sur la performance en fin de tâche, mais aussi sur le rythme d'apprentissage.

Pour terminer, on peut émettre l'hypothèse que la présentation simultanée des exemplaires a permis, de diminuer la prépondérance des composantes « sociales » des personnages de la tâche développée pour la présente thèse. En ce sens, on peut supposer que la notion de « préférence des clients » est prépondérante lorsqu'un seul personnage apparaît à l'écran (dans les conditions avec faible et forte rétroaction, de même que présentation isolée). À l'opposé, l'aspect social serait moins saillant dans la condition simultanée puisque l'individualité de chaque personnage se fonde davantage dans l'ensemble lorsque plusieurs sont présentés en même temps. Dans cette condition, les composantes perceptives, en l'occurrence les attributs des

personnages, de même que leurs associations avec la catégorie, deviennent peut-être plus prégnantes.

### **5.3.6.3 Accès à l'information : manipulation du matériel comme support à l'apprentissage**

La meilleure performance des enfants autistes dans un contexte d'apprentissage simultané pourrait tenir au fait que cette tâche offre la possibilité aux enfants de manipuler physiquement le matériel à apprendre, ce qui n'est pas possible lorsque la même tâche est présentée à l'écran dans le contexte d'apprentissage isolé. La possibilité de déplacer, manipuler et regrouper le matériel d'apprentissage est possiblement un critère de la tâche qui, conjointement avec la capacité perceptive et les habiletés en détection des régularités, favorise la réussite chez les autistes. En fait, probablement que ce sont l'ensemble de ces aspects qui supportent l'apprentissage des enfants autistes.

Se pourrait-il que la possibilité de manipuler, classer et organiser le matériel ait profité davantage aux enfants autistes qu'à leurs pairs non-autistes? On peut émettre l'hypothèse que le fait de pouvoir manipuler les stimuli, contrairement à une présentation simultanée, mais statique et sans potentiel de manipulation ait pu aider les enfants autistes à dégager les patterns de chacune des catégories. D'abord, la manipulation du matériel à apprendre permet une entrée sensorielle multimodale (p.ex. voir les cartes, les toucher, les orienter de différentes manières, etc.). De plus, le fait de placer les cartes aux endroits respectifs leur étant attribués sur la matrice favorise l'attention portée aux différents items de même qu'à leurs attributs. Par ailleurs, la structure même de la matrice comporte des avantages puisqu'elle offre plus d'informations sur la nature des catégories, comparativement aux trois autres conditions à l'étude. Les enfants peuvent plus facilement distinguer les deux groupes de stimuli et voir les limites de chacune des catégories (caractéristiques des

personnages préférant la Vanille / Chocolat) et comparer ce qui rassemble les éléments d'une catégorie par rapport à l'autre. Pour ces raisons, la condition simultanée offre une plus grande rétroaction informative, non seulement par rapport à la condition isolée, mais aussi par rapport aux tâches de rétroaction.

Il est intéressant de rappeler que les enfants neurotypiques n'ont pas montré une performance supérieure lors d'une telle présentation du matériel et que leur apprentissage était comparable dans l'une ou l'autre des conditions, suggérant encore une fois que les enfants autistes semblent plus sensibles à la manière dont l'information est mise à leur disposition. Les autistes profitent vraisemblablement d'une information présentée de manière exhaustive et organisée; ce qui rappelle non seulement leur supériorité dans une épreuve comme les *Matrices progressives de Raven*; mais aussi le succès de certains outils d'intervention, tels que les scénarios sociaux ou les scénarios en bandes dessinées dans lesquels toute l'information pour comprendre la situation sociale est accessible simultanément et est présentée de manière cohérente et structurée (Reynhout & Carter, 2006).

L'importance de la manipulation du matériel ressort aussi dans les études sur la question du jeu chez les enfants autistes où les composantes perceptives du matériel sont souvent mises de l'avant, alors que les enfants non-autistes tendent à favoriser plus tôt dans leur développement les aspects fonctionnels et symboliques. Tant la littérature que l'observation clinique d'enfants autistes montrent que ces derniers sont beaucoup plus portés à classer ou ordonner le matériel de jeu, ou encore à chercher à en augmenter les composantes perceptives (p.ex. exploration visuelles atypiques). D'ailleurs, la manipulation répétitive d'objets était déjà présente chez des enfants de 12 mois qui recevront ultérieurement un diagnostic d'autisme (Elison et al., 2014).

### **5.3.7 Stratégies d'apprentissage : l'information révélée par les poursuites oculaires (Étude 2)**

Le second volet de cette thèse avait pour objectif d'étudier les mécanismes d'apprentissage de nouvelles catégories perceptives chez les enfants autistes. Des mesures de poursuite oculaire ont été colligées lors de la phase test 1 (*test phase 1 – same stimuli*) permettant de comparer les groupes sur la durée et la fréquence des fixations visuelles portées aux 4 dimensions des stimuli (p.ex. Moustache, Lunettes, Boucle, Chapeau). Cette information permet d'étudier les similitudes et les différences entre les stratégies d'apprentissage d'autistes et de non-autistes de même que documenter l'impact de la situation d'apprentissage sur les patrons de fixation oculaire.

#### **5.3.7.1 Apprentissage et attention visuelle : deux phénomènes interdépendants**

Cette deuxième étude permet de documenter plus particulièrement le rôle de l'attention visuelle dans l'apprentissage de nouvelles catégories perceptives. L'attention est un vaste concept qui comprend les notions de vigilance et d'orientation, mais aussi de contrôle exécutif, permettant à la fois le maintien et la flexibilité de l'attention selon les exigences de la tâche (cf. modèle de Posner de l'attention) (Posner & Petersen, 1990). L'apprentissage et l'attention visuelle sont intimement liés: ce qui attire et intéresse l'enfant sert de fondement pour une variété d'opportunités d'apprentissage qui modulent en retour l'attention portée à son environnement (Hanley et al., 2017). Il y a d'ailleurs une forte association entre l'attention portée à une information et l'apprentissage que l'on en retire (Erickson, Thiessen, Godwin, Dickerson, & Fisher, 2015). L'attention visuelle est régie à la fois par des mécanismes descendants, comme l'influence des contextes ou de la motivation, et ascendants, tel que l'attrait pour la saillance de l'information.

Les patrons de fixation visuelle sont fréquemment utilisés comme indicateurs de l'apprentissage et ceux-ci tendent à varier selon le moment de l'apprentissage. Par

exemple, la durée et la fréquence de fixation sur un objet sont positivement associées à l'apprentissage : plus on s'attarde à une information, plus celle-ci est considérée comme importante pour l'apprentissage. La durée de fixation reflète l'engagement de l'attention pour traiter un stimulus ou une partie de celui-ci. Il en est de même pour la fréquence de fixation puisque le « va-et-vient » d'une cible à l'autre permet au sujet de comparer différents éléments pour extraire l'information pertinente à la tâche (Eckstein, Guerra-Carrillo, Miller Singley, & Bunge, 2017). Par ailleurs, l'apprentissage en fin de tâche se traduit habituellement par des temps de fixation plus courts, une meilleure capacité à diriger les premières fixations directement sur les attributs importants et moins de « va-et-vient » entre les différentes composantes de l'environnement visuel, ces trois marqueurs étant associés à un traitement plus efficace de l'information (van Asselen, Sampaio, Pina, & Castelo-Branco, 2011). Les patrons de fixation visuelle permettent aussi de renseigner sur le choix des attributs utilisés pour classer l'information et sur le poids accordé à chacun des attributs pour juger ou non de la similarité ou de l'appartenance d'un exemplaire à une catégorie (Thibaut, 1997).

Les études ont montré certaines particularités chez les personnes autistes à l'égard de l'attention et de l'exploration de l'environnement visuel. De nombreuses études ont relevé moins de temps d'attention chez les personnes autistes pour les mouvements biologiques, moins d'attention au visage et plus sur le corps; et lorsqu'elles s'attardent au visage, elles portent moins attention aux éléments principaux (Hanley, McPhillips, Mulhern, & Riby, 2013). En général, les personnes autistes affichent une préférence pour l'information non-sociale plutôt que sociale (p.ex. méta-analyse par Frazier et al., 2017; Guillon, Hadjikhani, Baduel, & Rogé, 2014), surtout en présence d'objets d'intérêt (p.ex. véhicule, électronique; Unruh et al. (2016). Les temps de fixation sont généralement plus longs sur des objets d'intérêt ou placés d'une certaine manière (p.ex. objets placés dans une séquence définie plutôt que sans ordre précis, Strathearn et al., 2018) et plus courts sur des scènes sociales (Wan et al., 2019). Les

personnes autistes portent aussi une plus grande attention aux détails; phénomène régulièrement associé aux forces perceptives (p.ex. Figure enchevêtrées, Recherche visuelle, Copies de blocs). En revanche, elles affichent de la difficulté à modifier l'objet ou le focus d'attention (« *attention shift* »), que ce soit en raison d'une difficulté à se désengager de l'objet de l'attention (« *sticky attention* ») ou à alterner le focus de l'attention de manière fluide entre différents objets (Courchesne et al., 1994; Landry & Bryson, 2004; Manyakov et al., 2018; Renner, Grofer Klinger, & Klinger, 2006; Sasson et al., 2008). Elles tendent à explorer moins d'objets dans leur environnement, ayant tendance à revenir plus souvent aux mêmes éléments plutôt que d'élargir leur exploration (Heaton & Freeth, 2016). Enfin, les personnes autistes orienteraient davantage leur attention sur des informations jugées « non pertinentes » pour la tâche.

Les particularités attentionnelles décrites en autisme (p.ex. attention prolongée sur certains objets, difficulté à désengager l'attention, difficulté d'attention partagée) apparaissent tôt dans le développement. Elles sont à la fois nommées comme une des premières préoccupations de la part des parents et relevées comme un des signes précoces dans les études prospectives qui suivent l'évolution d'enfants à risque de se retrouver sur le spectre autistique. La difficulté à se désengager aisément d'un objet et à modifier son centre d'attention a été répertoriée comme un des premiers signes observables de l'autisme (Zwaigenbaum et al., 2005). Les particularités attentionnelles ont été observées dès l'âge de 6 mois (Merin, Young, Ozonoff, & Rogers, 2007) et tendent à persister dans le temps (Liss et al., 2006). De plus, les explorations visuelles atypiques font partie des particularités les plus fréquemment relevées chez des enfants âgés de 12 mois ayant éventuellement reçu un diagnostic d'autisme (Ozonoff et al., 2008).

Pourtant, la durée et la fréquence des fixations ont été interprétées de manières différentes selon la nature de la tâche et le type de stimuli utilisé. Par exemple,

certaines études postulent que les temps de fixation plus brefs et moins nombreux sur les composantes sociales de l'environnement traduiraient une difficulté à traiter ce type d'information et seraient associées à l'intensité de la symptomatologie autistique (Guillon et al., 2014). En contrepartie, d'autres auteurs proposent que des temps de fixation plus longs sur un objet seraient aussi associés à une difficulté de traitement de l'information (Kourkoulou et al., 2013). Par ailleurs, il est intéressant de relever que les patrons de fixation ont tendance à changer selon le contexte de la tâche, même pour des tâches qui semblent solliciter des processus similaires. Par exemple, les patrons de fixation visuelle seraient plutôt similaires entre autistes et non-autistes dans des tâches simples, mais se distingueraient dans une tâche complexe, telle qu'une tâche de recherche visuelle qui contient un grand nombre de distracteurs (Au-Yeung, Benson, Castelhana, & Rayner, 2011). Pour leur part, Chita-Tegmark (2016b) constatent que les patrons de fixation oculaire diffèrent selon la manière de présenter une scène sociale (p.ex. scène statique vs dynamique; interaction directe avec le sujet ou non, etc.). La manière de présenter la tâche peut donc avoir un impact sur l'attention visuelle des personnes autistes.

#### **5.3.7.2 Impact de la situation d'apprentissage sur l'attention visuelle**

Dans le cadre de la présente étude, les enfants autistes et les non-autistes ont été en mesure d'orienter leur attention aux 4 régions d'intérêt aussi rapidement les uns des autres, sans différence entre les deux groupes pour le temps mis à observer au moins une première fois les 4 attributs. Les résultats actuels suggèrent que la difficulté à s'orienter sur l'information pertinente à la tâche n'est pas globale dans l'autisme et peut même constituer une force lorsqu'il s'agit de s'orienter directement sur la cible dans une tâche de recherche visuelle, supériorité qui serait déjà présente chez des petits de 1-3 ans (Cheung et al., 2018; Kaldy, Kraper, Carter, & Blaser, 2011). De plus, les enfants autistes portent davantage attention aux régions d'intérêt qu'ailleurs sur l'écran dans trois des quatre conditions d'apprentissage (durée des fixations aux 4 régions d'intérêts > durée des fixations sur le reste de l'écran). En effet, les deux

groupes s'attardent plus longtemps aux 4 attributs des personnages, comparativement au reste de l'écran, et ce pour les tâches avec faible rétroaction, forte rétroaction et présentation simultanée. En revanche, contrairement au groupe contrôle, les enfants autistes ne priorisent pas l'information fournie par les régions d'intérêt dans la condition isolée (durée des fixations équivalente pour les régions d'intérêt et le reste de l'écran), comme si les caractéristiques-clés des items n'apparaissaient pas comme une information de plus grande importance pour résoudre la tâche.

Par conséquent, la manière de présenter le matériel n'a pas seulement eu un impact sur la performance des enfants (résultats des enfants autistes à la présentation isolée < présentation simultanée) dans l'étude 1, mais elle a également donné lieu à des patrons d'exploration visuelle différents entre les 2 conditions. Une méta-analyse portant sur les patrons d'exploration visuelle révèle que les tailles d'effet, soit la différence dans les patrons d'exploration entre les autistes et les non-autistes, n'augmentent pas avec la charge visuelle du matériel. Les auteurs proposent que l'ajout d'une complexité ou d'une charge perceptuelle (*perceptual load*) ne nuit pas au niveau de l'exploration visuelle (Chevallier et al., 2015). Au contraire, la supériorité des enfants autistes dans des tâches de recherche visuelle est d'autant plus notable lorsque le nombre de distracteurs augmente et que la cible est absente. D'ailleurs, avec une technique d'oculométrie, Kaldy et al. (2011) ont montré que de jeunes enfants autistes de 2,5 ans avaient été en mesure de porter leur attention à un plus grand nombre d'éléments à chacun des essais d'une tâche de recherche visuelle comparativement à des pairs non-autistes. Cela soutient l'idée que dans la condition simultanée de la présente thèse, dans laquelle 20 exemplaires sont montrés en même temps, les enfants autistes ont peut-être été en mesure de traiter un plus grand nombre d'items à chacun des essais présentés.

Globalement, les enfants autistes montrent des temps de fixation plus courts que ceux du groupe contrôle, sans pour autant différer sur la fréquence des fixations. Puisque le

manque de flexibilité au plan attentionnel (« *sticky attention* ») a régulièrement été associé à une difficulté à désengager l'attention d'un objet et à moins de « va-et-vient » d'un objet à l'autre, il y a peu d'indications à partir des présents résultats que le manque de flexibilité de l'attention soit généralisé dans l'autisme. La difficulté à désengager l'attention apparaît peut-être dans certains contextes, comme en présence d'objets d'intérêts, sans l'être dans d'autres situations. Au contraire, puisque la fréquence des fixations est similaire entre les deux groupes de la présente étude, pour des temps de fixation globalement plus courts, cela laisse à penser que les enfants autistes s'attardent peut-être moins longtemps à chacun des points de fixation. Ils observent peut-être moins longtemps la présence / absence des attributs pour prendre une décision sur la nature de l'item. De plus, une fois qu'ils ont classé l'item dans sa catégorie, les enfants autistes maintiennent peut-être moins longtemps leur attention sur les caractéristiques de l'objet et désengagent plus rapidement leur attention visuelle de celui-ci. Un constat similaire au plan du temps de fixation, mais contrasté au plan de la fréquence a été fait dans quelques études en recherche visuelle où la supériorité des autistes a été associée à la fois à des temps de fixation plus courts (Joseph et al., 2009; Wass et al., 2015), mais aussi moins nombreux (Keehn, Westerfield, Müller, & Townsend, 2017; Kemner, van Ewijk, van Engeland, & Hooge, 2008), possiblement dus aux capacités supérieures en discrimination chez les personnes autistes.

#### **5.3.7.3 Impact de la situation d'apprentissage sur la priorisation des attributs**

Alors qu'on caractérise souvent l'apprentissage des personnes autistes comme étant basé sur des critères différents, la présente étude n'obtient pas de résultats concordants avec ce principe. L'analyse de la distribution de l'attention visuelle portée aux 4 attributs des personnages révèle une similitude entre les deux groupes d'enfants quant à la distribution de leur attention visuelle sur les 4 régions d'intérêt. En effet, le temps et la fréquence des fixations portés aux 4 attributs sont comparables et les deux groupes affichent le même patron de préférence : c'est-à-dire qu'ils

priorisent la même information pour classer les items (Moustache et Lunettes > Boucle et Chapeau), quoique le patron de préférence des enfants du groupe contrôle soit légèrement moins distinct dans la condition simultanée (cf. Figure 4.7 du manuscrit 2). De plus, même si les enfants autistes ne priorisent pas l'information fournie par les 4 caractéristiques dans la condition isolée (durée des fixations similaire entre régions d'intérêts et ailleurs sur l'écran), ils y conservent néanmoins le même patron de préférence (Moustache et Lunettes > Boucle et Chapeau). Enfin, la supériorité des enfants neurotypiques dans la tâche avec forte rétroaction n'a pas donné lieu à des différences au point de vue des patrons de fixations visuelles. Ces résultats coïncident avec ceux d'autres études en catégorisation qui montrent qu'autistes et non-autistes peuvent s'attarder aux mêmes caractéristiques d'un stimulus (Bott et al., 2006) ou à la même quantité d'attributs (Soulieres, Mottron, et al., 2011) pour classer leur information.

En outre, les deux attributs priorisés par les enfants ne sont pas les plus discriminants de la catégorie. En réalité, la Moustache et la Boucle sont deux attributs qui, lorsque considérés isolément, permettent de classer 90% d'items; comparativement aux Lunettes qui permettent, à elles seules, de classer 67% des items. Il y a là une question intéressante quant à l'évolution des stratégies de classement avec l'âge. Les enfants, autistes comme non-autistes, deviennent peut-être plus efficaces dans le temps pour cibler les bons attributs et détecter leurs combinaisons. L'aspect évolutif des stratégies a été documenté dans la population générale pour diverses fonctions cognitives, telles qu'en mémoire où les adolescents démontrent plus d'habileté que les enfants à organiser leur réponse selon des regroupements sémantiques (Levin et al., 1991). Par ailleurs, la présente tâche peut être considérée non seulement comme une tâche d'attention visuelle, mais également comme une tâche d'attention sociale. De manière intéressante, les enfants autistes et non-autistes ont priorisé les deux caractéristiques les plus centrales du « visage » des personnages (Moustache et Lunettes), bien qu'elles ne soient pas les plus discriminantes.

Les présents résultats correspondent partiellement avec ceux de Gastgeb et al. (2011; 2012) qui sont les seuls à avoir colligé des mesures de poursuite oculaire lors d'une tâche de catégorisation en autisme. Cette équipe a comparé des groupes d'enfants autistes et non-autistes dans deux études en catégorisation : l'une avec des visages (2011) et l'autre avec des patrons de points (2012), tout en colligeant des informations sur la manière dont les sujets portaient attention aux différentes caractéristiques des stimuli (p.ex. yeux, bouche, etc.). Bien que les participants autistes aient montré une performance plus faible dans les deux conditions, les deux groupes n'affichaient pas de différence dans l'exploration des composantes des stimuli; ce qui suggère que la plus faible performance des personnes autistes n'était pas tributaire de différences attentionnelles. Tout comme cette équipe, les enfants autistes de la présente étude ne montrent pas un patron de préférence différent : les deux groupes priorisent les mêmes régions d'intérêt pour classer les éléments de la catégorie.

En somme, la supériorité des enfants autistes dans la condition simultanée (vs la condition isolée) est associée à une plus grande difficulté des enfants autistes à prioriser l'information des 4 attributs dans la condition isolée, comparativement à leur capacité à le faire dans la tâche simultanée. La performance équivalente des enfants autistes dans la condition avec faible ou forte rétroaction se traduit aussi par des patrons de fixation oculaire sans différence entre les deux tâches, ni par rapport au groupe contrôle. En outre, les deux groupes favorisent l'utilisation des mêmes attributs (Moustache et Lunettes > Boucle et Chapeau) pour classer les items et ce patron de préférence demeure le même chez les enfants autistes, peu importe la situation d'apprentissage. Enfin, les temps de fixation plus courts et le fait que les fixations soient moins nombreuses, dans les 4 conditions, suggère que les enfants autistes auraient besoin de fixer moins longtemps et moins souvent les caractéristiques des personnages pour prendre une décision sur leur classement.

## 5.4 Discussion générale

### 5.4.1 Place de la perception dans l'apprentissage en autisme

Les résultats actuels sont cohérents avec la littérature qui suggère une interaction différente entre les processus perceptifs et les processus de catégorisation. Cette interaction différente a été montrée par (1) une diminution de l'influence descendante (*top down*) des catégories dans le traitement de l'information, (2) l'utilisation de critères plutôt perceptifs que sémantiques pour organiser le regroupement d'informations (Ropar et al., 2008) et (3) une activation cérébrale différente lors de tâches de catégorisation (Gaffrey et al., 2007; Schipul et al., 2011; Schipul & Just, 2016). Il n'y a pas qu'en catégorisation où la perception aurait un poids plus important; celui-ci a été démontré au sein d'une variété de processus cognitifs dits « supérieurs », à la fois par des résultats comportementaux (profil intellectuel hétérogène avec une force relative en raisonnement visuo-spatial; lien assez robuste entre les habiletés perceptives et l'intelligence en autisme) qu'en imagerie (sous-connectivité fronto-postérieure; implication plus grande des aires perceptives dans la résolution d'une variété de tâches) (Samson et al., 2011).

Les résultats de la présente thèse, notamment la meilleure performance des enfants autistes lorsque l'apprentissage permet l'accès à un plus large éventail d'informations, supporte l'idée que la catégorisation s'appuie sur une plus grande implication des mécanismes de bas niveaux (ou perceptifs) en autisme; comparativement aux non-autistes, qui pourraient plus rapidement solliciter des mécanismes exécutifs et verbaux (Humphreys, Hasson, Avidan, Minshew, & Behrmann, 2008). Pour une diversité de processus cognitifs, les personnes autistes favoriseraient l'utilisation de stratégies visuelles, alors que les neurotypiques tendent à s'appuyer davantage sur des stratégies verbales (se référer à Kunda et Goel, 2011; Mottron, 2013). Le manque de connectivité fonctionnelle ne semble pas nuire à la capacité à mener à terme des

tâches complexes, du moins dans certains contextes. En somme, il est possible que les régions visuelles ne dépendent moins d'un traitement de plus haut niveau; ce que tendent à démontrer la plus faible implication du lobe frontal dans la résolution de diverses tâches cognitives et la connectivité moindre avec le reste du cerveau. Par conséquent, l'apprentissage en autisme pourrait lui aussi dépendre plus largement des processus perceptifs et recourir de manière plutôt secondaire au traitement de haut niveau. Les forces perceptives relevées au long cours chez les personnes autistes ne peuvent plus être considérées comme des îlots d'habiletés : elles semblent d'une grande utilité dans la cognition autistique, notamment au plan de l'apprentissage.

#### **5.4.2 Modèles cognitifs récents de l'autisme et apprentissage : quels liens peut-on établir ?**

Les résultats de la présente étude s'accordent avec les propositions récentes d'un traitement descendant diminué (Frith, 2003) en autisme et d'une plus grande autonomie des régions cérébrales entre elles (Just et al., 2007; Kana et al., 2006; Koshino et al., 2005). L'implication différente de la perception dans la cognition autistique, notamment dans l'apprentissage, concorde avec le modèle du sur-fonctionnement perceptif (« *enhanced perceptual functioning (EPF)* ») qui propose la supériorité, l'autonomie et l'implication différente de la perception chez les personnes autistes (Mottron, Dawson, Soulieres, et al., 2006). Ceci est corrélé avec une organisation cérébrale différente et une allocation plus grande des ressources perceptives au sein des processus cognitifs (Samson et al., 2011). Cette supériorité du rôle de la perception dépeint une trajectoire développementale distincte chez les enfants autistes, notable dès les premiers mois de vie de l'enfant. Elle permettrait aux enfants autistes de favoriser une approche plus perceptive pour le traitement de tâches complexes, avec une diminution du traitement descendant en faveur d'un traitement ascendant.

Récemment, une approche computationnelle Bayésienne a été proposée pour comprendre les spécificités de la cognition autistique. Cette proposition souligne la grande précision du traitement perceptuel chez les personnes autistes, de même qu'une priorisation d'un traitement ascendant et une difficulté à ajuster le traitement de l'information perceptuelle en fonction des connaissances antérieures (Lawson, Rees, & Friston, 2014; Pellicano & Burr, 2012; Van de Cruys et al., 2014). Effectivement, les connaissances antérieures ont une influence sur la catégorisation, la généralisation et les prédictions. En parallèle l'*EPF* propose quant à lui une préservation de la capacité à ajuster le traitement perceptif en fonction des aprioris, avec toutefois une plus grande tendance chez les personnes autistes à résoudre une tâche donnée au niveau hiérarchique le plus bas possible. Les résultats de la présente étude semblent corroborer le second modèle puisque les enfants autistes ont été en mesure d'adapter leur patron de fixation en fonction des catégories développées, tout autant, du moins, que les enfants non-autistes. Par ailleurs, l'accès à un large éventail d'informations semble favoriser l'utilisation de la perception par les enfants autistes pour résoudre la tâche. En revanche, l'ajout d'un renforcement dans la rétroaction semble avoir moins d'impact chez les enfants autistes, du moins dans le contexte d'un apprentissage perceptif, puisque cette dernière apporte peu d'information nouvelle pour leur permettre de résoudre la tâche d'un point de vue perceptif.

Les différences dans l'exploration visuelle et les forces cognitives toutes deux présentes tôt dans le développement suggèrent qu'il puisse y avoir des altérations structurelles et neurophysiologiques présentes dès le tout jeune âge chez les enfants autistes. Ces altérations pourraient découler d'une plasticité cérébrale différente, vraisemblablement d'origine génétique (modèle « Trigger-Threshold-Target (TTT) », Mottron, Belleville, Rouleau et Collignon, 2014). Des chercheurs ont trouvé que des mutations de novo étaient impliquées dans la plasticité synaptique, laquelle permet le remodelage des synapses en cours d'apprentissage (Kelleher & Bear, 2008). Elle donnerait lieu à une sur-connectivité microstructurelle, une surexcitabilité synaptique

(Arons et al., 2012) et une réorganisation corticale et fonctionnelle avec des connexions atypiques entre les régions visuelles et les régions frontales / temporales / pariétales. D'ailleurs, Markram, Rinaldi et Markram (2007) et Markram et Markram (2010) suggèrent dans leur modèle « *Intense World Syndrome Theory* » que les particularités perceptives des personnes autistes seraient liées à un sur-fonctionnement et à une hyper-connectivité des microcircuits neuronaux locaux; donnant lieu à une hyper-réactivité et une hyper-plasticité cérébrale, notamment dans les régions du néocortex et de l'amygdale. La plasticité cérébrale serait également associée aux altérations microstructurales dans le cerveau autistique et à une distribution différente des connexions courte et longue distances. Ces altérations structurelles et neurophysiologiques se répercuteraient sur une organisation différente du système perceptif et une réallocation des ressources fonctionnelles contribuant à plusieurs des différences observées au plan cognitif (p.ex. hyper-attention, hyper-perception, hyper-mémorisation) et adaptatif, incluant dans l'apprentissage (Mottron et al., 2014). Cette organisation différente du système perceptif serait contributive à en faire un système plus « autonome » pour le traitement cognitif complexe.

#### **5.4.3 Portée de la thèse et implication des résultats au plan clinique**

Les méthodes actuellement proposées en intervention sont largement inspirées des théories d'apprentissages traditionnelles (Lovaas, 1987). L'efficacité des interventions comportementales dans le développement des comportements socio-communicatifs chez la population tout venant a mené à leur intégration dans l'offre de services des centres de réadaptation en autisme au Québec (CRDITSA) en 2003. Le cadre de référence des interventions comportementales intensives (ICI) propose donc un apprentissage individuel, dans un environnement structuré et plutôt épuré, où la tâche est habituellement morcelée en ses plus simples composantes, tout en offrant un renforcement naturel ou extérieur pour les acquisitions / comportements appris. Par exemple, le *discrete trial training (DTT)* (Lovaas, 2002; Smith, 2001) propose de

scinder la tâche en de plus simples composantes et de centrer l'apprentissage sur chacun de ces éléments (p.ex. offrir un renforcement sur chacun des comportements attendus). L'accent est souvent porté sur la réduction des symptômes autistiques en s'appuyant sur la trajectoire typique de développement dans la mise en œuvre des objectifs d'intervention (p.ex. développer l'attention conjointe avant le langage oral).

Par ailleurs, un effort est constaté depuis quelques années afin d'augmenter la valeur écologique des approches comportementales et le transfert des habiletés acquises. Par exemple, le *Pivotal response training (PRT)* (Stahmer, Suhrheinrich, Reed, Bolduc, Schreibman, 2010) a pour objectif le développement du langage et de la communication en ciblant des habiletés dites « pivots » telle que la motivation, l'initiation, la capacité de répondre à son environnement, les capacités de régulation et les capacités d'empathie. L'intervention est plutôt réalisée dans l'environnement naturel de l'enfant et celui-ci est davantage actif dans l'apprentissage. Il est intéressant de faire le constat que certaines de ces approches favorisent notamment une plus grande implication de l'enfant tout en lui permettant de « manipuler » davantage la situation d'apprentissage (p.ex. utiliser les intérêts de l'enfant).

La plupart des principes d'intervention reposent largement sur l'apprentissage explicite, notamment avec l'utilisation de la rétroaction comme base de l'apprentissage, alors que les personnes autistes semblent plutôt montrer une facilité pour l'apprentissage implicite (Brown et al., 2010; Nemeth et al., 2010; voir Foti et al. 2014, pour une méta-analyse sur la question). Dans une revue de littérature critique, Eigsti et Mayo (2011) font état de la contradiction rencontrée par les cliniciens et les familles puisque d'une part, la personne autiste semble aidée lorsqu'on lui fournit des attentes claires et présentées explicitement; mais d'autre part, la même personne autiste se montre souvent capable, parfois même à un niveau supérieur que ses pairs non-autistes, d'apprendre par elle-même des connaissances complexes sans avoir besoin de recourir à une rétroaction externe (p.ex. apprentissage autonome du code

écrit). En ce sens, quelques études ont montré qu'en fournissant une consigne plus explicite quant aux attentes face à la tâche, la performance des personnes autistes peut nettement s'améliorer, même dans des tâches où elles sont habituellement considérées comme étant en difficulté (p.ex. capacité à considérer le global plutôt que le local dans Koldewyn, Jiang, Weigelt et Kanwisher, 2013; et dans Van der Hallen et al., 2016). On constate aussi que les personnes autistes sont moins enclines à procéder par essais-erreurs pour apprendre, alors qu'il s'agit d'une stratégie plutôt explicite. En contexte clinique, il est couramment observé que les enfants autistes ne connaissant pas la réponse à une question préfèrent s'abstenir de répondre plutôt que de tenter un essai au hasard. Ces différents éléments contribuent certainement au fait que les interventions proposées jusqu'à maintenant se soient largement appuyées sur les principes de l'apprentissage explicite, en réponse à un apprentissage implicite apparemment déficitaire et à une faible utilisation de la méthode essais-erreurs.

En revanche, une revue de littérature sur les mécanismes d'apprentissage en autisme (Dawson et al., 2008) relève que, contrairement aux non-autistes qui ont plutôt tendance à chercher d'abord à établir une règle de fonctionnement qu'elles appliquent ensuite à différentes situations, les personnes autistes tendent à favoriser un apprentissage plutôt implicite où elles cherchent à être exposées plus largement au matériel jusqu'à ce qu'elles puissent dégager un patron de fonctionnement. Cette façon d'apprendre semble correspondre au récit de nombreux parents qui observent d'abord une certaine « passivité » chez leur enfant alors que l'apprentissage est peu manifeste, pour se déployer de façon intentionnelle dans un second temps (p.ex. « mon enfant est devenu propre du jour au lendemain »; « il refusait de s'asseoir sur le vélo, mais lorsqu'il a accepté, il savait tout de suite comment ça fonctionnait »). On retrouve le même schéma dans la trajectoire du développement du langage chez les enfants autistes dits « prototypiques » pour qui le langage est pratiquement absent jusqu'à l'âge d'environ 3 ans et s'installe ensuite très rapidement; indiquant que

l'enfant a été en mesure de dégager par lui-même les règles langagières suite à une exposition à leurs récurrences (Mottron et al., 2013).

Les résultats de la présente thèse appuient le principe de spécificités d'apprentissage différentes chez les enfants autistes et les non-autistes car les deux groupes ne se montrent pas aidés par les mêmes supports. Alors que les enfants avec un développement typique semblent aidés par une hausse de la rétroaction en cours d'apprentissage, celle-ci a peu d'impact pour les autistes. La rétroaction paraît secondaire pour les autistes qui démontrent plutôt une sensibilité à la manière dont le matériel leur est présenté, ce qui a peu d'effet pour les enfants avec un développement typique. En somme, les résultats de la présente thèse soulèvent des pistes de réflexion quant aux approches d'évaluation et d'intervention à promouvoir en autisme, notamment au sujet (1) de la place et le rôle de la rétroaction dans l'apprentissage et (2) du besoin de proposer une situation d'évaluation / intervention qui soit plus syntone avec le style d'apprentissage; celle-ci pourrait davantage soutenir la motivation et l'auto-détermination en offrant des opportunités d'apprentissage adaptées aux besoins / particularités de chacun (Cheak-Zamora, Maurer-Batjer, Malow, Coleman, 2019). Puisque l'apprentissage implicite semble préservé en autisme, il y aurait peut-être lieu de le favoriser dès la jeune enfance (Zwart et al., 2018).

#### **5.4.3.1 Révision des cibles d'intervention et des contextes d'apprentissage**

D'abord, la trajectoire développementale diffère en autisme à plusieurs égards (p.ex. développement cérébral différent dès la 1<sup>ère</sup> année de vie; acquisition différente des séquences développementales sur les plans langagier et moteur). Il est donc possible que les cibles d'intervention et les stratégies utilisées pour soutenir l'épanouissement des personnes autistes doivent elles aussi suivre une trajectoire distincte. Scheuffgen, Happe, Anderson et Frith (2000) proposent que l'apprentissage doive passer par une route « non sociale » afin de maximiser le potentiel des personnes autistes. D'ailleurs,

Mottron et al. (2013) avancent que le développement du langage s'appuie davantage sur des mécanismes non-communicatifs que sur le sens qu'il convoie. Par exemple, Falck-Ytter, Carlström et Johansson (2015) ont comparé des enfants autistes et non-autistes sur l'apprentissage d'une courte histoire racontée par un intervenant; les enfants autistes portent moins attention au visage de l'animateur, mais peuvent tout autant s'attarder aux informations en arrière-plan de l'animateur et répondre à des questions sur le contenu de l'histoire.

La tendance des personnes autistes à porter attention à des informations jugées « non pertinentes » et leur difficulté à modifier de manière flexible le focus de leur attention (*se référer également à la section 5.3.7 - attention visuelle*) ont certainement alimenté la proposition de réduire la quantité d'informations dans le but d'éliminer les distractions lors de l'apprentissage. Or, les résultats de la présente thèse, notamment la supériorité des enfants autistes pour un apprentissage simultané, leur capacité perceptive supérieure (Remington et al., 2012) et leur habileté à dégager des patterns perceptifs, questionnent la tendance actuelle de réduire la quantité d'informations, à scinder les tâches et à épurer les contextes d'apprentissage. Puisque les enfants autistes sont en mesure de traiter simultanément une plus grande quantité d'informations, leurs apprentissages pourraient au contraire s'avérer favorisés par l'ajout d'informations pertinentes à la tâche en leur permettant d'allouer plus efficacement leurs ressources attentionnelles sur le matériel d'apprentissage. La quantité et la complexité « optimale » de l'information mise à disposition pour l'apprentissage n'est peut-être pas la même pour les enfants autistes et non-autistes. Simplifier la tâche n'est peut-être pas la solution la plus favorable aux apprentissages, du moins dans certaines situations.

Ensuite, l'apprentissage en autisme semble transiger par des mécanismes différents de ce qui caractérise habituellement le développement typique (Dawson et al., 2008). Si l'utilisation du mécanisme de cartographie véridique est à la base du développement

de plusieurs habiletés chez les personnes autistes, cela suppose que l'accès au matériel et le choix du matériel auquel est exposé la personne autiste ait un rôle crucial dans la portée des apprentissages. Plutôt que de chercher à restreindre l'accès au matériel et segmenter la tâche, il pourrait être bénéfique d'encourager l'exposition à du matériel dont la complexité s'accorde avec le développement non-verbal de l'enfant (p.ex. indice de raisonnement perceptif des échelles Wechsler; QI dérivé des Matrices de Raven). De ce point de vue, des études récentes montrent que les enfants autistes affichent spontanément un intérêt pour du matériel complexe (Hanley et al., 2017; Remington et al., 2019).

Il y a lieu de développer des interventions qui permettront d'offrir un plus large éventail d'information aux personnes autistes, afin de répondre à leur capacité supérieure de traitement, tout en conjuguant avec la surcharge sensorielle à laquelle plusieurs font face. Le défi consiste donc à élargir l'accessibilité au matériel d'apprentissage tout en composant avec les particularités dans le traitement de l'information sensorielle des personnes autistes. Selon une recension des écrits de (Dawson & Watling, 2000), un répertoire de réponses sensorielles atypiques caractérise la majorité des enfants autistes; notamment une hyper et/ou hyposensibilité de un ou plusieurs sens (p.ex. auditive, visuelle, tactile) (Zwaigenbaum et al., 2005). Ainsi, plusieurs enfants autistes montrent une réponse comportementale négative face à certaines sensations, visuelle, auditive ou tactile, qui est associée à de plus grandes difficultés dans les apprentissages et dans le fonctionnement quotidien (Ashburner et al., 2008).

Les personnes autistes pourraient être aidées par une information présentée de manière exhaustive et organisée, d'autant plus si elles peuvent manipuler et classer elles-mêmes l'information à apprendre. L'exposition simultanée à un large éventail d'informations permettrait à la personne autiste d'extraire plus rapidement et avec moins d'effort les régularités dans le matériel. Cet avantage ne semble pas se

retrouver seulement dans des tâches perceptives, mais dans d'autres domaines de la cognition, comme pour le langage (Venker, 2019). Cette avenue d'intervention peut sembler contre-intuitive; toutefois, dans certains contextes, épurer la situation d'apprentissage pourrait priver les enfants d'une information utile à leur apprentissage. L'accès et la manipulation d'une large quantité d'information semble plus près de la façon spontanée d'apprendre des enfants autistes. Dans le cas des enfants qui ont appris à lire ou à jouer du piano par eux-mêmes, ceux-ci auraient spontanément repéré les structures complexes associées à l'agencement des lettres ou des notes de musique. Il serait intéressant de vérifier par des essais randomisés la portée de ce genre d'interventions novatrices (Mottron, 2017).

#### **5.4.3.2 Utilisation différente des intérêts et des forces perceptives**

Actuellement, les intérêts dits « restreints » des personnes autistes sont, au pire, vus comme obstacles à l'apprentissage ou, au mieux, servent de renforçateurs pour l'atteinte d'autres objectifs d'intervention. À la lumière des résultats de la présente thèse démontrant que les enfants autistes apprennent mieux lorsqu'ils peuvent manipuler une grande quantité d'informations présentées simultanément, il y a lieu de se demander si les intérêts pourraient être au cœur même de l'apprentissage plutôt que simplement servir de renforçateurs. Supportant cette idée, les intérêts dits « restreints » ont été associés positivement au QI non verbal (Bishop et al., 2013; Bishop, Richler, & Lord, 2006) et leur présence ne semble pas interférer avec l'exploration des objets dans une situation de jeu (Jacques et al., 2018). De même, une étude a comparé une approche basée sur les forces (« *strength-based intervention* »), favorisant une perception positive des comportements de l'enfant en mettant l'emphasis sur ses domaines de compétences, avec une approche centrée plutôt sur les déficits. Les résultats montrent qu'une intervention basée sur les forces de l'enfant a un impact positif sur les interactions parents-enfants et sur le bien-être du parent. Toutefois, cette étude ne mesure pas ni le bien-être de l'enfant, ni la portée

de ce type d'intervention sur lui (Steiner, 2011). Il s'agit d'une variable qui serait fort intéressante à documenter, d'autant plus que la question des patterns, de la cohérence et de la régularité dans le matériel semble associée aux émotions positives alors que ce qui est arbitraire serait plutôt associé aux émotions négatives (Mottron et al., 2007; Sasson et al., 2008).

#### **5.4.3.3 Importance du choix des tâches pour l'évaluation des capacités de la personne autiste**

Les présents résultats s'ajoutent à une littérature grandissante sur la question des écarts retrouvés au sein des outils utilisés pour mesurer les capacités cognitives et le potentiel intellectuel des enfants autistes. D'abord, il s'avère encore difficile d'apprécier pleinement le niveau cognitif des enfants autistes étant donné leur profil hétérogène caractérisé à la fois par la présence de forces et de faiblesses aux épreuves traditionnellement utilisées. Pour certaines personnes autistes, cette hétérogénéité peut mener à une sous-estimation du réel potentiel intellectuel. De plus, une série d'études a montré que l'évaluation du potentiel intellectuel des enfants autistes est largement dépendante de l'outil sélectionné, pouvant même faire passer un enfant de la zone déficitaire à la moyenne. (p.ex. écart entre le QI des échelles Wechsler et des MPR, décrit dans la section 1.2.2. *Implication de la perception au sein des processus cognitifs supérieurs en autisme*) (Courchesne et al., 2015; Dawson et al., 2007). Les mêmes conclusions peuvent être tirées de la situation des enfants autistes non-verbaux, jugés par plusieurs comme « non-testables » ou présentant une déficience intellectuelle lorsque les échelles standards sont utilisées, alors que bon nombre d'entre eux montrent des capacités s'approchant de la moyenne lorsque des outils différents sont employés (Courchesne et al., 2015). Une étude récente a fait le même constat lors de l'évaluation des capacités langagières des enfants autistes (performance variable selon l'utilisation d'épreuves standards vs poursuites oculaires vs technologies) et des écarts ressortent aussi des tests de fonctions exécutives (Lai et al., 2017). En somme, une simple modification de la tâche, pouvant sembler banale

aux yeux de la majorité, peut en l'occurrence faire une différence significative pour les enfants autistes. C'est ce que l'on retrouve dans la comparaison de l'intensité de la rétroaction; alors que le simple ajout d'un stimulus renforçateur (animation de feux d'artifice) fait une différence pour les enfants typiques, mais pas pour les enfants autistes.

En tout état de cause, les présentes conclusions invitent à promouvoir l'utilisation d'outils adaptés au style cognitif de la personne autiste, et ce, tant en évaluation qu'en intervention. Une situation d'apprentissage s'apparentant à la condition simultanée de la présente thèse dans laquelle (1) l'ensemble de l'information nécessaire à la résolution de la tâche est accessible en tout temps; (2) l'enfant a la possibilité de manipuler le matériel en cours de tâche; (3) les consignes verbales sont réduites; (4) les informations sont présentées de manière structurée (p.ex. sous forme de matrices); et (5) la rétroaction est utilisée avec précaution au cours de l'apprentissage, semble constituer une avenue intéressante pour la mise en place d'interventions adaptées. À présent, le défi consiste à développer des stratégies d'intervention syntones à la cognition autistique et qui permettront de viser différents types d'apprentissages, à la fois fonctionnel, social et académique.

## **CHAPITRE VI**

### **LIMITES DE L'ÉTUDE ET PERSPECTIVES FUTURES**

Le spectre autistique est caractérisé par différents profils de cognition et de fonctionnement (Fountain et al., 2012). Il y a souvent plus de variabilité dans les résultats biologiques / cognitifs / comportementaux au sein même de la population autistique que dans la population générale (Charman et al., 2011). Il est donc possible qu'il y ait également une hétérogénéité dans le style d'apprentissage des personnes autistes; une situation d'apprentissage qui aide un sous-groupe de personnes autistes ne l'est pas forcément pour un autre. Compte tenu de cette variabilité du spectre autistique, il sera pertinent d'étudier si l'accessibilité au matériel et la diminution de la rétroaction sont aussi bénéfiques pour des enfants ayant des profils cognitifs distincts. Par exemple, certains enfants ayant présenté un retard de langage en bas âge montrent une force pour le raisonnement visuospatial; alors que d'autres, anciennement catégorisés comme ayant un syndrome d'Asperger avec le DSM-IV, n'ont pas présenté de retard de langage et affichent plutôt des forces en raisonnement verbal. Par ailleurs, on retrouve des profils cognitifs distincts lorsqu'on compare les enfants autistes avec retard de langage à ceux qui n'en n'ont pas présenté (p.ex. profil intellectuel : Nader et al., 2015) et les « pics » observés chez certaines personnes autistes disparaissent lorsqu'on regroupe l'ensemble des personnes sur le spectre

autistique (Barbeau et al., 2013). En ce sens, plusieurs études montrent que l'on peut discriminer différents sous-groupes de personnes autistes, non seulement sur le plan comportemental et cognitif, mais aussi au plan neuroanatomique (Lotspeich et al., 2004). Il n'a pas été possible dans le cadre du présent projet de documenter si l'avantage montré par les enfants autistes dans certaines situations d'apprentissage se retrouve chez tous les profils cognitifs puisque le nombre d'enfants appartenant à l'un ou l'autre des sous-groupes était trop restreint (Autistes : 48/54 ont un  $IRP > ICV$ , dont 39 ont une différence significative; seulement 6 ont un  $ICV > IRP$ , dont aucun n'atteint une différence significative). Pour leur part, Jones et al. (2018) ont trouvé une hétérogénéité dans les résultats d'un groupe d'enfants autistes lors d'un apprentissage statistique – certains d'entre eux affichant une performance comparable au sous-groupe contrôle et d'autres, des résultats nettement inférieurs – sans toutefois suggérer d'hypothèses quant aux causes sous-jacentes à ces différences de performance. D'un point de vue clinique et afin d'individualiser les interventions offertes, il sera pertinent de mieux comprendre les raisons qui font en sorte que certains enfants parviennent mieux que d'autres à apprendre à partir de régularités visuelles. Enfin, l'échantillon d'enfants autistes (garçons et filles autistes) ne permet pas de faire des comparaisons inter-sexe. Or, cette distinction serait pertinente pour contribuer à la recherche sur les différences garçons – filles en autisme.

Par ailleurs, environ 15-20% du groupe autiste présentait également un TDAH associé. Bien qu'il ait été un critère d'exclusion dans le groupe contrôle, le TDAH n'a pas été exclu dans le groupe clinique étant donné l'association élevée entre l'autisme et le TDAH (environ 40-60% selon les études). De ce fait, il n'y a pas de second groupe clinique dans cette étude. Il serait intéressant de comparer les processus d'apprentissage des enfants autistes non seulement avec un groupe contrôle, mais aussi avec des enfants qui présentent d'autres troubles neurodéveloppementaux (p.ex. TDAH; trouble primaire du langage); ce qui permettrait de mettre en lumière la spécificité de l'apprentissage en autisme. Il est nécessaire de faire ressortir que 26 %

de l'échantillon étudié prenait une médication psychostimulante, agissant notamment sur le circuit dopaminergique et le réseau de la récompense. Il serait adéquat de mieux comprendre ses effets en comparant les processus d'apprentissage chez certains sous-groupes avec / sans médication psychostimulante.

Ensuite, il serait important de préciser le rôle de l'âge dans les processus d'apprentissages. Est-ce que l'inefficacité de la hausse de la rétroaction ainsi que l'avantage trouvé lors d'un apprentissage de type simultané sont présents tout au long de la trajectoire développementale? Par exemple, Gasgeb et al. (2006) montrent que la capacité à inclure des items atypiques dans une catégorie s'améliore au cours du développement, bien que certaines faiblesses demeurent chez les adultes autistes. La présente recherche ayant été réalisée auprès d'enfants du même âge que ceux de Brown et al., 2010 (6-14 ans), en raison de la complexité des tâches et des situations d'apprentissages incluses dans la méthodologie, il serait intéressant d'élargir l'étude des effets des situations d'apprentissage aux plus jeunes et aux plus âgés. Par ailleurs, les résultats de cette étude sont susceptibles d'être extrapolés aux enfants autistes de tous âges puisque les particularités de la perception visuelle ainsi que l'implication différente de la perception dans la réalisation de diverses tâches cognitives ont été relevées à la fois chez les tout-petits, les enfants et les adultes.

Il serait également instructif de vérifier si l'avantage qu'offre l'accès au matériel est confirmé lors de types d'apprentissages différents, incluant l'apprentissage de catégories plus complexes impliquant notamment de l'information sociale (p.ex. des stimuli sociaux, multidimensionnels avec plusieurs éléments, plusieurs niveaux de traitement). Il est certain que les stimuli de la présente étude ne représentent pas la complexité de ce qui constitue l'environnement naturel de l'enfant. Les enfants n'avaient pas à sélectionner une information parmi un ensemble (p.ex. dans le cas d'une scène complexe) et devaient s'attarder à la combinaison d'éléments précis,

locaux et stables pour comprendre la structure des catégories, ce qui a peut-être favorisé les autistes, ceux-ci ayant souvent tendance à résoudre les tâches localement.

Pour terminer, certaines limites sont reliées aux choix méthodologiques. D'abord, le paradigme actuel ne nous permet pas de documenter l'évolution des stratégies prises par les enfants au cours de l'apprentissage. Dans le développement typique, on observe un changement dans les patrons de fixation en cours d'apprentissage : l'attention s'orientant de plus en plus vers les dimensions utiles à la catégorisation (Rehder & Hoffman, 2005) avec une hausse de l'attention portée aux attributs qui sont à priori moins apparents au plan perceptif (Welham & Wills, 2011). Il aurait été difficile de colliger les poursuites oculaires tout au long de l'apprentissage puisqu'il aurait fallu demander aux enfants d'être stables pour une période de 15-20 minutes. Ensuite, puisque des différences ont été relevées à même les réseaux neuronaux dans une tâche de catégorisation, il serait judicieux de comparer l'effet des différentes situations d'apprentissages sur l'activation cérébrale. Est-ce que les régions perceptives sont sollicitées de la même manière selon le contexte d'apprentissage, dans un contexte avec ou sans rétroaction par exemple? Il est également important de noter une certaine disparité dans les tâches proposées aux enfants puisque 3 des 4 tâches sont informatisées, alors qu'une seule implique la manipulation physique du matériel. La manipulation du matériel est possiblement un facteur en soi ayant supporté l'apprentissage puisque l'action de placer les cartes dans chacune des « catégories » incite les enfants à porter davantage attention aux caractéristiques des items. Enfin, il n'était pas prévu de documenter la perception des enfants quant aux stratégies qu'ils auraient utilisées pour catégoriser l'information : les résultats d'un entretien où des questions telles que « Qu'as-tu remarqué entre ceux qui aimaient la vanille et ceux qui aimaient le chocolat? » auraient été trop dépendants des difficultés langagières présentes chez plusieurs enfants autistes.

## CONCLUSION

Une littérature grandissante propose que l'intelligence et la cognition s'expriment de manière différente en autisme; tout comme l'apprentissage semble lui aussi transiger par des mécanismes singuliers. Les différences dans le fonctionnement cérébral, présentes dès la jeune enfance et relevées au long cours, mises en parallèle avec le rôle distinct de la perception en autisme, suggèrent que les enfants autistes et non-autistes ne se montrent pas supportés de la même manière dans leurs apprentissages. Non seulement les enfants autistes ne se montrent pas gênés par l'augmentation de l'accessibilité du matériel, mais au contraire leur apprentissage en est favorisé. Les enfants semblent soutenus lorsqu'on leur présente l'information de manière exhaustive et organisée, tout en leur permettant de la manipuler et de la classer, puisque cela semble correspondre à leur façon d'apprendre. De même, la rétroaction en cours d'apprentissage ne semble pas avoir le même effet pour les enfants autistes, qui ne sont pas aidés par une hausse de la rétroaction en cours d'apprentissage. En définitive, les résultats de cette thèse soulèvent la pertinence de réfléchir aux interventions destinées aux personnes autistes afin de les harmoniser aux spécificités de leur cognition. Une plus grande considération de la variété des formes d'apprentissages, notamment de l'apprentissage implicite qui semble tout à fait possible, pourrait contribuer à l'optimisation du potentiel de la personne autiste. De plus, les apprentissages spontanés des enfants autistes (p.ex. calcul, calendrier, lecture) montrent qu'ils sont en mesure de dégager spontanément et implicitement des structures assez complexes. Par conséquent, s'ouvre toute une avenue de recherche

afin d'investiguer la portée de nouvelles interventions qui s'accorderaient davantage avec le style d'apprentissage des enfants autistes.

## ANNEXE A

### AUTRES PUBLICATIONS DURANT LE DOCTORAT

Courchesne, V., Nader, A.M., Mottron, L. (en révision) Autisme. Dans Poncelet, M., Majerus, S., & Van der Linden, M. *Traité de neuropsychologie de l'enfant*. 2<sup>ème</sup> édition. .

Degré-Pelletier, J., Nader, A.M., Bouchard, V. & Soulières, I. (2018) La capacité à générer des catégories dans le trouble du spectre de l'autisme : Critères perceptifs ou conceptuels ? *Neuropsychologie clinique et appliquée*.

Courchesne, V., Nader, A.M., Girard, D., Bouchard, V. & Soulières, I. (2016). Le profil cognitif au service des apprentissages : optimiser le potentiel des enfants sur le spectre de l'autisme. *Revue québécoise de psychologie*.

Nader, A.M., Jelenic, P. & Soulières, I. (2015). Discrepancy between WISC-III and WISC-IV cognitive profile in autism spectrum: What does it reveal about autistic cognition? *Plos one*.

Nader, A. M., Courchesne, V., Dawson, M., & Soulières, I. (2014). Does WISC-IV underestimate the intelligence of autistic children? *Journal of autism and developmental disorders*, 1-8.

Nader, A.M., Soulières, I., Mottron, L. (2013) DSM-5 : Vers une nouvelle définition du spectre de l'autisme. *L'Express*, printemps 2013.

## RÉFÉRENCES

- Abrahams, B. S., & Geschwind, D. H. (2008). Advances in autism genetics: on the threshold of a new neurobiology. *Nature reviews genetics*, 9(5), 341.
- Alderson-Day, B., & McGonigle-Chalmers, M. (2011). Is It a Bird? Is It a Plane? Category Use in Problem-solving in Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(5), 555-565. doi:10.1007/s10803-010-1077-9
- Alvares, G. A., Bebbington, K., Cleary, D., Evans, K., Glasson, E. J., Maybery, M. T., . . . Wray, J. (2019). The misnomer of ‘high functioning autism’: Intelligence is an imprecise predictor of functional abilities at diagnosis. *Autism*, 1362361319852831.
- Amaral, D. G., Schumann, C. M., & Nordahl, C. W. (2008). Neuroanatomy of autism. *Trends in neurosciences*, 31(3), 137-145.
- Anagnostou, E., & Taylor, M. J. (2011). Review of neuroimaging in autism spectrum disorders: what have we learned and where we go from here. *Mol Autism*, 2(1), 4. doi:10.1186/2040-2392-2-4
- 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. *Journal of Neuroscience*, 32(43), 14966-14978.
- Ashburner, J., Ziviani, J., & Rodger, S. (2008). Sensory processing and classroom emotional, behavioral, and educational outcomes in children with autism spectrum disorder. *Am J Occup Ther*, 62(5), 564-573.
- Association, A. P. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*: American Psychiatric Pub.

- Au-Yeung, S. K., Benson, V., Castelhana, M., & Rayner, K. (2011). Eye movement sequences during simple versus complex information processing of scenes in autism spectrum disorder. *Autism research and treatment, 2011*.
- Baio, J. (2012). Prevalence of Autism Spectrum Disorders: Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 Sites, United States, 2008. Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries. Volume 61, Number 3. *Centers for Disease Control and Prevention*.
- Balleine, B. W., Delgado, M. R., & Hikosaka, O. (2007). The role of the dorsal striatum in reward and decision-making. *Journal of Neuroscience, 27*(31), 8161-8165.
- Baranek, G. T., Boyd, B. A., Poe, M. D., David, F. J., & Watson, L. R. (2007). Hyperresponsive sensory patterns in young children with autism, developmental delay, and typical development. *Am J Ment Retard, 112*(4), 233-245. doi:0895-8017-112-4-233 [pii]10.1352/0895-8017(2007)112[233:HSPIYC]2.0.CO;2
- Barbaro, J., & Dissanayake, C. (2007). A comparative study of the use and understanding of self-presentational display rules in children with high functioning autism and Asperger's disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 37*(7), 1235-1246.
- Barbeau, E. B., Soulières, I., Dawson, M., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2013). The level and nature of autistic intelligence III: Inspection time. *Journal of abnormal psychology, 122*(1), 295.
- Barbeau, E. B., Soulières, I., Dawson, M., Zeffiro, T.A. & Mottron, L. (2012). What does inspection time tell us about autistic intelligence? . *Journal of abnormal psychology*.
- Barnes, K. A., Howard Jr, J. H., Howard, D. V., Gilotty, L., Kenworthy, L., Gaillard, W. D., & Vaidya, C. J. (2008). Intact implicit learning of spatial context and temporal sequences in childhood autism spectrum disorder. *Neuropsychology, 22*(5), 563.

- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., & Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and Environment*, 89, 118-133.
- Bellebaum, C., Brodmann, K., & Thoma, P. (2013). Active and observational reward learning in adults with autism spectrum disorder: relationship with empathy in an atypical sample. *Cogn Neuropsychiatry*, 19(3), 205-225. doi:10.1080/13546805.2013.823860
- 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. doi:24/42/9228 [pii]10.1523/JNEUROSCI.3340-04.2004
- Bendor, D., & Wang, X. (2005). The neuronal representation of pitch in primate auditory cortex. *Nature*, 436(7054), 1161-1165. doi:nature03867 [pii]10.1038/nature03867
- 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. doi:awh561 [pii]10.1093/brain/awh561
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, 128(10), 2430-2441.
- Beversdorf, D. Q., Narayanan, A., Hillier, A., & Hughes, J. D. (2007). Network model of decreased context utilization in autism spectrum disorder. *J Autism Dev Disord*, 37(6), 1040-1048. doi:10.1007/s10803-006-0242-7
- Bishop, S. L., Hus, V., Duncan, A., Huerta, M., Gotham, K., Pickles, A., . . . Lord, C. (2013). Subcategories of restricted and repetitive behaviors in children with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(6), 1287-1297.
- Bishop, S. L., Richler, J., & Lord, C. (2006). Association between restricted and repetitive behaviors and nonverbal IQ in children with autism

- spectrum disorders. *Child Neuropsychol*, 12(4-5), 247-267.  
doi:UM61317567W55568 [pii]10.1080/09297040600630288
- Bölte, S., Dziobek, I., & Poustka, F. (2009). Brief report: The level and nature of autistic intelligence revisited. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(4), 678-682.
- Bölte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt perception and local-global processing in high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(8), 1493-1504.
- Bott, L., Brock, J., Brockdorff, N., Boucher, J., & Lamberts, K. (2006). Perceptual similarity in autism. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1237-1254. doi:10.1080/02724980543000196
- Bowler. (2012). Autism spectrum disorders (ASD). *Autism*, 16(3), 223-225.
- Bowler, Matthews, & Gardiner. (1997). Asperger's syndrome and memory: Similarity to autism but not amnesia. *Neuropsychologia*, 35(1), 65-70.
- Broadbent, J., & Stokes, M. A. (2013). Removal of negative feedback enhances WCST performance for individuals with ASD. *Res Autism Spectr Disord*, 7(6), 785-792.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.03.002>
- Brown, J., Aczel, B., Jiménez, L., Kaufman, S. B., & Grant, K. P. (2010). Intact implicit learning in autism spectrum conditions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(9), 1789-1812.  
doi:10.1080/17470210903536910
- Brown, S., & Bebkö, J. (2012). Generalization, overselectivity, and discrimination in the autism phenotype: A review. *Res Autism Spectr Disord*, 6(2), 733-740.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & George, A. (1956). Austin. A study of thinking. *New York: John Wiley & Sons, Inc*, 14, 330.
- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks

in autism. *Brain*, 129(Pt 7), 1789-1802. doi:awl072  
[pii]10.1093/brain/awl072

Casanova, M., & Trippe, J. (2009). Radial cytoarchitecture and patterns of cortical connectivity in autism. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 364(1522), 1433-1436. doi:364/1522/1433 [pii]10.1098/rstb.2008.0331

Casanova, M. F., Buxhoeveden, D. P., Switala, A. E., & Roy, E. (2002). Minicolumnar pathology in autism. *Neurology*, 58(3), 428-432.

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. doi:10.1007/s00401-006-0085-5

Cascio, C. J., Foss-Feig, J. H., Heacock, J., Schauder, K. B., Loring, W. A., Rogers, B. P., . . . Cao, A. (2014). Affective neural response to restricted interests in autism spectrum disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(2), 162-171.

Cavanagh, P. (2011). Visual cognition. *Vision Research*, 51(13), 1538-1551. doi:<https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.01.015>

Charman, T., Jones, C. R., Pickles, A., Simonoff, E., Baird, G., & Happe, F. (2011). Defining the cognitive phenotype of autism. *Brain Res*, 1380, 10-21. doi:10.1016/j.brainres.2010.10.075

Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2012). Context modulates attention to social scenes in toddlers with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53(8), 903-913.

Cheak-Zamora, N. C., Maurer-Batjer, A., Malow, B. A., & Coleman, A. (2019). Self-determination in young adults with autism spectrum disorder. *Autism*, 1362361319877329.

Chen, F., Planche, P., & Lemonnier, E. (2010). Superior nonverbal intelligence in children with high-functioning autism or Asperger's syndrome. *Res Autism Spectr Disord*, 4(3), 457-460. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2009.11.002>

- Cherkassky, V. L., Kana, R. K., Keller, T. A., & Just, M. A. (2006). Functional connectivity in a baseline resting-state network in autism. *Neuroreport*, 17(16), 1687-1690.
- Cheung, C., Bedford, R., Johnson, M. H., Charman, T., & Gliga, T. (2018). Visual search performance in infants associates with later ASD diagnosis. *Developmental cognitive neuroscience*, 29, 4-10.
- Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in cognitive sciences*, 16(4), 231-239.
- Chevallier, C., Molesworth, C., & Happe, F. (2012). Diminished social motivation negatively impacts reputation management: autism spectrum disorders as a case in point. *PLoS ONE*, 7(1), e31107.
- Chevallier, C., Parish-Morris, J., McVey, A., Rump, K. M., Sasson, N. J., Herrington, J. D., & Schultz, R. T. (2015). Measuring social attention and motivation in autism spectrum disorder using eye-tracking: Stimulus type matters. *Autism Research*, 8(5), 620-628.
- Chita-Tegmark, M. (2016a). Attention allocation in ASD: a review and meta-analysis of eye-tracking studies. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 3(3), 209-223.
- Chita-Tegmark, M. (2016b). Social attention in ASD: a review and meta-analysis of eye-tracking studies. *Research in Developmental Disabilities*, 48, 79-93.
- Christensen, D. L., Braun, K. V. N., Baio, J., Bilder, D., Charles, J., Constantino, J. N., . . . Kurzius-Spencer, M. (2018). Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2012. *MMWR Surveillance Summaries*, 65(13), 1.
- Church, B., Krauss, M., Lopata, C., Toomey, J., Thomeer, M., Coutinho, M., . . . Mercado, E. (2010). Atypical categorization in children with high-functioning autism spectrum disorder. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 862-868. doi:10.3758/pbr.17.6.862

- Church, B. A., Krauss, M. S., Lopata, C., Toomey, J. A., Thomeer, M. L., Coutinho, M. V., . . . Mercado, E. (2010). Atypical categorization in children with high-functioning autism spectrum disorder. *Psychonomic bulletin & review*, 17(6), 862-868.
- Clements, C. C., Zoltowski, A. R., Yankowitz, L. D., Yerys, B. E., Schultz, R. T., & Herrington, J. D. (2018). Evaluation of the social motivation hypothesis of autism: a systematic review and meta-analysis. *JAMA psychiatry*, 75(8), 797-808.
- Coghlan, 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. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(9), 2044-2055. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.07.005>
- Cohen, N. J., Eichenbaum, H., Deacedo, B. S., & Corkin, S. (1985). Different Memory Systems Underlying Acquisition of Procedural and Declarative Knowledge a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 444(1), 54-71.
- Collignon, O., Charbonneau, G., Peters, F., Nassim, M., Lassonde, M., Lepore, F., . . . Bertone, A. (2013). Reduced multisensory facilitation in persons with autism. *Cortex*, 49(6), 1704-1710.
- Cordier, F. (1986). La catégorisation naturelle: niveau de base et typicalité: les approches développementales. *Revue française de pédagogie*, 61-70.
- Courchesne, E. (2004). Brain development in autism: early overgrowth followed by premature arrest of growth. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev*, 10(2), 106-111. doi:10.1002/mrdd.20020
- Courchesne, E., Carper, R., & Akshoomoff, N. (2003). Evidence of brain overgrowth in the first year of life in autism. *JAMA*, 290(3), 337-344.
- 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. doi:10.1001/jama.2011.1638

- Courchesne, E., Redcay, E., & Kennedy, D. P. (2004). The autistic brain: birth through adulthood. *Curr Opin Neurol*, 17(4), 489-496.
- Courchesne, E., Townsend, J., Akshoomoff, N. A., Saitoh, O., Yeung-Courchesne, R., Lincoln, A. J., . . . Lau, L. (1994). Impairment in shifting attention in autistic and cerebellar patients. *Behav Neurosci*, 108(5), 848-865.
- Courchesne, V., Girard, D., Jacques, C., & Soulières, I. (2019). Assessing intelligence at autism diagnosis: mission impossible? Testability and cognitive profile of autistic preschoolers. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(3), 845-856.
- Courchesne, V., Meilleur, A.-A. S., Poulin-Lord, M.-P., Dawson, M., & Soulières, I. (2015). Autistic children at risk of being underestimated: school-based pilot study of a strength-informed assessment. *Molecular autism*, 6(1), 12.
- Cox, A., Kohls, G., Naples, A. J., Mukerji, C. E., Coffman, M. C., Rutherford, H. J., . . . McPartland, J. C. (2015). Diminished social reward anticipation in the broad autism phenotype as revealed by event-related brain potentials. *Social cognitive and affective neuroscience*, 10(10), 1357-1364.
- Crasta, J., & Davies, P. L. (2018). Behavioral and Neural Sensory Processing in Young Adults With Autism Spectrum Disorder. *American Journal of Occupational Therapy*, 72(4\_Supplement\_1), 7211505081p7211505081-7211505081p7211505081.
- Crespi, B. J. (2016). Autism as a disorder of high intelligence. *Frontiers in neuroscience*, 10, 300.
- Currenti, S. A. (2010). Understanding and determining the etiology of autism. *Cellular and molecular neurobiology*, 30(2), 161-171.
- D'Cruz, A.-M., Ragozzino, M. E., Mosconi, M. W., Shrestha, S., Cook, E. H., & Sweeney, J. A. (2013). Reduced behavioral flexibility in autism spectrum disorders. *Neuropsychology*, 27(2), 152.

- Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H. H., . . . Davidson, R. J. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nat Neurosci*, 8(4), 519-526. doi:nn1421 [pii]10.1038/nn1421
- Damarla, S. R., Keller, T. A., Kana, R. K., Cherkassky, V. L., Williams, D. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2010). Cortical underconnectivity coupled with preserved visuospatial cognition in autism: Evidence from an fMRI study of an embedded figures task. *Autism Res*, 3(5), 273-279. doi:10.1002/aur.153
- Dawson, G., & Burner, K. (2011). Behavioral interventions in children and adolescents with autism spectrum disorder: a review of recent findings. *Current opinion in pediatrics*, 23(6), 616-620.
- Dawson, G., & Watling, R. (2000). Interventions to facilitate auditory, visual, and motor integration in autism: a review of the evidence. *J Autism Dev Disord*, 30(5), 415-421.
- Dawson, M., Mottron, L., & Gernsbacher, M. A. (2008). Learning in autism. In Learning and memory: a comprehensive reference. In J. B. H. L. Roediger (Ed.), *Cognitive Psychology* (pp. 759–772). Oxford, UK: Elsevier.
- Dawson, M., Soulieres, I., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2007). The level and nature of autistic intelligence. *Psychol Sci*, 18(8), 657-662. doi:PSCI1954 [pii]10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x
- Dean, M., Harwood, R., & Kasari, C. (2017). The art of camouflage: Gender differences in the social behaviors of girls and boys with autism spectrum disorder. *Autism*, 21(6), 678-689.
- 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. *Am J Psychol*, 117(1), 1-18.
- Delmonte, S., Balsters, J. H., McGrath, J., Fitzgerald, J., Brennan, S., Fagan, A. J., & Gallagher, L. (2012). Social and monetary reward processing in autism spectrum disorders. *Molecular autism*, 3(1), 7.

- Demetriou, E., Lampit, A., Quintana, D., Naismith, S., Song, Y., Pye, J., . . . Guastella, A. (2018). Autism spectrum disorders: a meta-analysis of executive function. *Molecular psychiatry*, 23(5), 1198.
- Demurie, E., Roeyers, H., Baeyens, D., & Sonuga-Barke, E. (2011). Common alterations in sensitivity to type but not amount of reward in ADHD and autism spectrum disorders. *J Child Psychol Psychiatry*, 52(11), 1164-1173. doi:10.1111/j.1469-7610.2010.02374.x
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual review of neuroscience*, 18(1), 193-222.
- Dichter, G. S., Felder, J. N., Green, S. R., Rittenberg, A. M., Sasson, N. J., & Bodfish, J. W. (2010). Reward circuitry function in autism spectrum disorders. *Soc Cogn Affect Neurosci*. doi:nsq095 [pii]10.1093/scan/nsq095
- Dichter, G. S., Felder, J. N., Green, S. R., Rittenberg, A. M., Sasson, N. J., & Bodfish, J. W. (2012). Reward circuitry function in autism spectrum disorders. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 7(2), 160-172. doi:10.1093/scan/nsq095
- Dovgopoly, A., & Mercado III, E. (2013). A connectionist model of category learning by individuals with high-functioning autism spectrum disorder. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 13(2), 371-389.
- Dynia, J. M., Lawton, K., Logan, J. A., & Justice, L. M. (2014). Comparing emergent-literacy skills and home-literacy environment of children with autism and their peers. *Topics in Early Childhood Special Education*, 0271121414536784.
- Eckstein, M. K., Guerra-Carrillo, B., Miller Singley, A. T., & Bunge, S. A. (2017). Beyond eye gaze: What else can eyetracking reveal about cognition and cognitive development? *Developmental cognitive neuroscience*, 25, 69-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.11.001>
- Edwards, D. J., Perlman, A., & Reed, P. (2012). Unsupervised Categorization in a sample of children with autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 33(4), 1264-1269. doi:10.1016/j.ridd.2012.02.021

- Eichenbaum, H. (1999). The hippocampus and mechanisms of declarative memory. *Behavioural brain research*, 103(2), 123-133.
- Eigsti, I.-M., & Mayo, J. (2011). Implicit learning in ASD. *The neuropsychology of autism*, 267-279.
- Elison, J. T., Paterson, S. J., Wolff, J. J., Reznick, J. S., Sasson, N. J., Gu, H., . . . Evans, A. C. (2013). White matter microstructure and atypical visual orienting in 7-month-olds at risk for autism. *American Journal of Psychiatry*, 170(8), 899-908.
- Elison, J. T., Wolff, J. J., Reznick, J. S., Botteron, K. N., Estes, A. M., Gu, H., . . . Piven, J. (2014). Repetitive Behavior in 12-Month-Olds Later Classified With Autism Spectrum Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(11), 1216-1224. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2014.08.004>
- Ellawadi, A. B., Fein, D., & Naigles, L. R. (2017). Category structure and processing in 6-year-old children with autism. *Autism Research*, 10(2), 327-336.
- Elsabbagh, M., Divan, G., Koh, Y.-J., Kim, Y. S., Kauchali, S., Marcin, C., . . . Fombonne, E. (2012). Global Prevalence of Autism and Other Pervasive Developmental Disorders. *Autism Research*, 5(3), 160-179. doi:10.1002/aur.239
- Erickson, L. C., Thiessen, E. D., Godwin, K. E., Dickerson, J. P., & Fisher, A. V. (2015). Endogenously and exogenously driven selective sustained attention: Contributions to learning in kindergarten children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 138, 126-134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.04.011>
- Falck-Ytter, T., Bölte, S., & Gredebäck, G. (2013). Eye tracking in early autism research. *J Neurodev Disord*, 5(1), 28.
- Falck-Ytter, T., Carlström, C., & Johansson, M. (2015). Eye contact modulates cognitive processing differently in children with autism. *Child development*, 86(1), 37-47.

- Falter, C. M., Grant, K. C. P., & Davis, G. (2010). Object-based attention benefits reveal selective abnormalities of visual integration in autism. *Autism Research*, 3(3), 128-136.
- Fiser, J., & Aslin, R. N. (2005). Encoding multielement scenes: statistical learning of visual feature hierarchies. *Journal of experimental psychology: General*, 134(4), 521.
- Fletcher-Watson, S., Leekam, S. R., Benson, V., Frank, M. C., & Findlay, J. M. (2009). Eye-movements reveal attention to social information in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 47(1), 248-257. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.016>
- 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.
- Fletcher, J., Maybery, M. T., & Bennett, S. (2000). Implicit learning differences: A question of developmental level? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(1), 246.
- Fletcher, P. C., Zafiris, O., Frith, C., Honey, R., Corlett, P., Zilles, K., & Fink, G. (2004). On the benefits of not trying: Brain activity and connectivity reflecting the interactions of explicit and implicit sequence learning. *Cerebral cortex*, 15(7), 1002-1015.
- Fombonne, E. (2000). Is a large head circumference a sign of autism? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 30(4), 365.
- Forster, S., & Lavie, N. (2009). Harnessing the wandering mind: The role of perceptual load. *Cognition*, 111(3), 345-355.
- Foti, F., De Crescenzo, F., Vivanti, G., Menghini, D., & Vicari, S. (2015). Implicit learning in individuals with autism spectrum disorders: a meta-analysis. *Psychological medicine*, 45(05), 897-910.
- Fountain, C., Winter, A. S., & Bearman, P. S. (2012). Six developmental trajectories characterize children with autism. *Pediatrics*, 129(5), e1112-e1120.

- Frazier, T. W., Strauss, M., Klingemier, E. W., Zetzer, E. E., Hardan, A. Y., Eng, C., & Youngstrom, E. A. (2017). A Meta-Analysis of Gaze Differences to Social and Nonsocial Information Between Individuals With and Without Autism. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 56(7), 546-555. doi:10.1016/j.jaac.2017.05.005
- Frith, C. (2003). What do imaging studies tell us about the neural basis of autism? *Novartis Found Symp*, 251, 149-166; discussion 166-176, 281-197.
- Frith, U. (1989). A new look at language and communication in autism. *Br J Disord Commun*, 24(2), 123-150.
- Froehlich, A., Anderson, J., Bigler, E., Miller, J., Lange, N., DuBray, M., . . . Lainhart, J. (2012). Intact prototype formation but impaired generalization in autism. *Res Autism Spectr Disord*, 6(2), 921-930.
- Froehlich, A. L., Anderson, J. S., Bigler, E. D., Miller, J. S., Lange, N. T., DuBray, M. B., . . . Lainhart, J. E. (2012). Intact prototype formation but impaired generalization in autism. *Res Autism Spectr Disord*, 6(2), 921-930. doi:10.1016/j.rasd.2011.12.006
- Gaffrey, M. S., Kleinmans, N. M., Haist, F., Akshoomoff, N., Campbell, A., Courchesne, E., & Müller, R.-A. (2007). A typical participation of visual cortex during word processing in autism: An fMRI study of semantic decision. *Neuropsychologia*, 45(8), 1672-1684.
- Gaigg, S. B., Gardiner, J. M., & Bowler, D. M. (2008). Free recall in autism spectrum disorder: The role of relational and item-specific encoding. *Neuropsychologia*, 46(4), 983-992.
- Gastgeb, H., Wilkinson, D., Minshew, N., & Strauss, M. (2011). Can Individuals with Autism Abstract Prototypes of Natural Faces? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(12), 1609-1618. doi:10.1007/s10803-011-1190-4
- Gastgeb, H. Z., Dundas, E. M., Minshew, N. J., & Strauss, M. S. (2012). Category formation in autism: can individuals with autism form

categories and prototypes of dot patterns? *Journal of autism and developmental disorders*, 42(8), 1694-1704.

- Gastgeb, H. Z., Strauss, M. S., & Minshew, N. J. (2006). Do Individuals With Autism Process Categories Differently? The Effect of Typicality and Development. *Child Development*, 77(6), 1717-1729. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00969.x
- Gebauer, G. F., & Mackintosh, N. J. (2007). Psychometric intelligence dissociates implicit and explicit learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(1), 34.
- Gelman, S. A. (2003). *The essential child: Origins of essentialism in everyday thought*. Oxford Series in Cognitive Dev.
- Geschwind, D. H., & Levitt, P. (2007). Autism spectrum disorders: developmental disconnection syndromes. *Current opinion in neurobiology*, 17(1), 103-111.
- Gibbard, C. R., Ren, J., Seunarine, K. K., Clayden, J. D., Skuse, D. H., & Clark, C. A. (2013). White matter microstructure correlates with autism trait severity in a combined clinical-control sample of high-functioning adults. *NeuroImage: Clinical*, 3, 106-114.
- Gliga, T., Bedford, R., Charman, T., Johnson, M. H., Baron-Cohen, S., Bolton, P., . . . Fernandes, J. (2015). Enhanced visual search in infancy predicts emerging autism symptoms. *Current Biology*, 25(13), 1727-1730.
- Gluck, M. A., Shohamy, D., & Myers, C. (2002). How do people solve the "weather prediction" task?: individual variability in strategies for probabilistic category learning. *Learn Mem*, 9(6), 408-418. doi:10.1101/lm.45202
- Goldstein, S., Naglieri, J. A., & Ozonoff, S. (2008). *Assessment of autism spectrum disorders*: Guilford Press.
- Gordon, B., & Stark, S. (2007). Procedural learning of a visual sequence in individuals with autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 22(1), 14-22.

- Grandin, T. (2008). *Thinking in pictures, expanded edition: My life with autism*. Vintage.
- Grondhuis, S. N., & Mulick, J. A. (2013). Comparison of the Leiter International Performance Scale—Revised and the Stanford-Binet Intelligence Scales, in children with autism spectrum disorders. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 118(1), 44-54.
- Guillon, Q., Hadjikhani, N., Baduel, S., & Rogé, B. (2014). Visual social attention in autism spectrum disorder: Insights from eye tracking studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 42, 279-297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.013>
- Guy, J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Bertone, A. (2016). The developmental trajectory of contrast sensitivity in autism spectrum disorder. *Autism Research*, 9(8), 866-878.
- Haber, S. N., & Knutson, B. (2010). The reward circuit: linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 4.
- Hanley, M., Khairat, M., Taylor, K., Wilson, R., Cole-Fletcher, R., & Riby, D. M. (2017). Classroom displays—Attraction or distraction? Evidence of impact on attention and learning from children with and without autism. *Developmental psychology*, 53(7), 1265.
- Hanley, M., McPhillips, M., Mulhern, G., & Riby, D. M. (2013). Spontaneous attention to faces in Asperger syndrome using ecologically valid static stimuli. *Autism*, 17(6), 754-761.
- Happe, F., Briskman, J., & Frith, U. (2001). Exploring the cognitive phenotype of autism: weak "central coherence" in parents and siblings of children with autism: I. Experimental tests. *J Child Psychol Psychiatry*, 42(3), 299-307.
- 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. doi:10.1007/s10803-005-0039-0

- Happe, F., Ronald, A., & Plomin, R. (2006). Time to give up on a single explanation for autism. *Nat Neurosci*, 9(10), 1218-1220. doi:nn1770 [pii]10.1038/nn1770
- Harris, H., Israeli, D., Minshew, N., Bonne, Y., Heeger, D. J., Behrmann, M., & Sagi, D. (2015). Perceptual learning in autism: over-specificity and possible remedies. *Nature neuroscience*, 18(11), 1574.
- Hazlett, H. C., Gu, H., Munsell, B. C., Kim, S. H., Styner, M., Wolff, J. J., . . . Botteron, K. N. (2017). Early brain development in infants at high risk for autism spectrum disorder. *Nature*, 542(7641), 348.
- Heaton, T. J., & Freeth, M. (2016). Reduced visual exploration when viewing photographic scenes in individuals with autism spectrum disorder. *Journal of abnormal psychology*, 125(3), 399.
- Hetzroni, O. E., & Shalahevich, K. (2018). Structure mapping in autism spectrum disorder: levels of information processing and relations to executive functions. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(3), 824-833.
- Hill, E. L. (2004). Executive dysfunction in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 26-32.
- Honig, W.K., & Staddon, J.E.R. (Eds). (1977). Handbook of operant behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Howlin, P., Goode, S., Hutton, J., & Rutter, M. (2004). Adult outcome for children with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, 45(2), 212-229.
- 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. doi:364/1522/1359 [pii]10.1098/rstb.2008.0328
- Humphreys, K., Hasson, U., Avidan, G., Minshew, N., & Behrmann, M. (2008). Cortical patterns of category-selective activation for faces, places and objects in adults with autism. *Autism Res*, 1(1), 52-63. doi:10.1002/aur.1

- Hutman, T., Chela, M. K., Gillespie-Lynch, K., & Sigman, M. (2012). Selective visual attention at twelve months: Signs of autism in early social interactions. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(4), 487-498.
- Iarocci, G., Burack, J. A., Shore, D. I., Mottron, L., & Enns, J. T. (2006). Global-local visual processing in high functioning children with autism: structural vs. implicit task biases. *J Autism Dev Disord*, 36(1), 117-129. doi:10.1007/s10803-005-0045-2
- Izadi-Najafabadi, S., Mirzakhani-Araghi, N., Miri-Lavasani, N., Nejati, V., & Pashazadeh-Azari, Z. (2015). Implicit and explicit motor learning: Application to children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *Research in Developmental Disabilities*, 47, 284-296.
- Jacques, C., Courchesne, V., Meilleur, A.-A. S., Mineau, S., Ferguson, S., Cousineau, D., . . . Mottron, L. (2018). What interests young autistic children? An exploratory study of object exploration and repetitive behavior. *PLoS One*, 13(12), e0209251.
- 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. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00422.x
- Jeste, S. S., Kirkham, N., Senturk, D., Hasenstab, K., Sugar, C., Kupelian, C., . . . Norona, A. (2015). Electrophysiological evidence of heterogeneity in visual statistical learning in young children with ASD. *Developmental Science*, 18(1), 90-105.
- Johnson, C. P., & Myers, S. M. (2007). Identification and evaluation of children with autism spectrum disorders. *Pediatrics*, 120(5), 1183-1215.
- 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, W., Carr, K., & Klin, A. (2008). Absence of preferential looking to the eyes of approaching adults predicts level of social disability in 2-year-old

- toddlers with autism spectrum disorder. *Archives of general psychiatry*, 65(8), 946-954.
- Jones, W., & Klin, A. (2013). Attention to eyes is present but in decline in 2–6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, 504(7480), 427.
- Joseph, R. M., Keehn, B., Connolly, C., Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2009). Why is visual search superior in autism spectrum disorder? *Dev Sci*, 12(6), 1083-1096. doi:DESC855 [pii]10.1111/j.1467-7687.2009.00855.x
- 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. doi:bhl006 [pii]10.1093/cercor/bhl006
- 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. doi:10.1093/brain/awh199 [pii]
- Kaldy, Z., Giserman, I., Carter, A. S., & Blaser, E. (2016). The mechanisms underlying the ASD advantage in visual search. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(5), 1513-1527.
- Kaldy, Z., Krapar, 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. doi:10.1111/j.1467-7687.2011.01053.x
- 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. doi:794702933 [pii]10.1080/17470910802198510
- Kana, R. K., Libero, L. E., & Moore, M. S. (2011). Disrupted cortical connectivity theory as an explanatory model for autism spectrum disorders. *Phys Life Rev*, 8(4), 410-437.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbance of affective contact. *Nervous child*, 2, 217-250.
- Kaufman, S. B., DeYoung, C. G., Gray, J. R., Jiménez, L., Brown, J., & Mackintosh, N. (2010). Implicit learning as an ability. *Cognition*, 116(3), 321-340.
- 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. doi:S1355617708081356 [pii]10.1017/S1355617708081356
- Keehn, B., Westerfield, M., Müller, R.-A., & Townsend, J. (2017). Autism, attention, and alpha oscillations: An electrophysiological study of attentional capture. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 2(6), 528-536.
- Kéïta, L., Mottron, L., Dawson, M., & Bertone, A. (2011). Atypical lateral connectivity: a neural basis for altered visuospatial processing in autism. *Biological psychiatry*, 70(9), 806-811.
- 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. doi:S0006-3223(11)00778-5 [pii]10.1016/j.biopsych.2011.07.031
- Kelleher III, R. J., & Bear, M. F. (2008). The autistic neuron: troubled translation? *Cell*, 135(3), 401-406.

- Keller, T. A., Kana, R. K., & Just, M. A. (2007). A developmental study of the structural integrity of white matter in autism. *Neuroreport*, 18(1), 23-27.
- Kemner, C., van Ewijk, L., van Engeland, H., & Hoge, I. (2008). Brief Report: Eye Movements During Visual Search Tasks Indicate Enhanced Stimulus Discriminability in Subjects with PDD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(3), 553-557. doi:10.1007/s10803-007-0406-0
- Kemner, C., van Ewijk, L., van Engeland, H., & Hoge, I. (2008). Brief report: eye movements during visual search tasks indicate enhanced stimulus discriminability in subjects with PDD. *J Autism Dev Disord*, 38(3), 553-557. doi:10.1007/s10803-007-0406-0
- Kleinhans, N. M., Pauley, G., Richards, T., Neuhaus, E., Martin, N., Corrigan, N. M., . . . Dager, S. R. (2012). Age-related abnormalities in white matter microstructure in autism spectrum disorders. *Brain Research*, 1479, 1-16.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002a). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Archives of general psychiatry*, 59(9), 809-816.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002b). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch Gen Psychiatry*, 59(9), 809-816.
- Klinger, & Dawson. (2001). Prototype formation in autism. *Dev Psychopathol*, 13(1), 111-124.
- Klinger, Klinger, & Pohlig. (2007). Implicit learning impairments in autism spectrum disorders. *New developments in autism: The future is today*, 76-103.
- Klinger, L. G., & Dawson, G. (1995). A fresh look at categorization abilities in persons with autism *Learning and cognition in autism* (pp. 119-136): Springer.

- Klinger, L. G., & Dawson, G. (2001). Prototype formation in autism. *Development and Psychopathology*, 13(1), 111-124. doi:undefined
- Koegel, R., Koegel, L., & O'Neill, R. (1989). Generalization in the treatment of autism. *Generalization strategies in the treatment of communication disorders*, 116-131.
- Kohls, G., Antezana, L., Mosner, M. G., Schultz, R. T., & Yerys, B. E. (2018). Altered reward system reactivity for personalized circumscribed interests in autism. *Molecular autism*, 9(1), 9.
- Kohls, G., Chevallier, C., Troiani, V., & Schultz, R. T. (2012). Social 'wanting' dysfunction in autism: neurobiological underpinnings and treatment implications. *J Neurodev Disord*, 4(1), 10. doi:10.1186/1866-1955-4-10
- Kohls, G., Peltzer, J., Schulte-Ruther, M., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Herpertz-Dahlmann, B., & Konrad, K. (2011). Atypical brain responses to reward cues in autism as revealed by event-related potentials. *J Autism Dev Disord*, 41(11), 1523-1533. doi:10.1007/s10803-011-1177-1
- Kohls, G., Schulte-Rüther, M., Nehr Korn, B., Müller, K., Fink, G. R., Kamp-Becker, I., . . . Konrad, K. (2012). Reward system dysfunction in autism spectrum disorders. *Social cognitive and affective neuroscience*, 8(5), 565-572.
- Koldewyn, K., Jiang, Y. V., Weigelt, S., & Kanwisher, N. (2013). Global/Local Processing in Autism: Not a Disability, but a Disinclination. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(10), 2329-2340. doi:10.1007/s10803-013-1777-z
- 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. doi:S1053-8119(04)00556-7 [pii]10.1016/j.neuroimage.2004.09.028
- 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. *Cerebral Cortex*, 18(2), 289-300.

- Koterba, E. A., Leezenbaum, N. B., & Iverson, J. M. (2014). Object exploration at 6 and 9 months in infants with and without risk for autism. *Autism, 18*(2), 97-105. doi:10.1177/1362361312464826
- Kourkoulou, A., Kuhn, G., Findlay, J. M., & Leekam, S. R. (2013). Eye movement difficulties in autism spectrum disorder: implications for implicit contextual learning. *Autism Research, 6*(3), 177-189.
- Kunda, M., & Goel, A. K. (2011). Thinking in pictures as a cognitive account of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 41*(9), 1157-1177.
- Lai, C. L. E., Lau, Z., Lui, S. S., Lok, E., Tam, V., Chan, Q., . . . Cheung, E. F. (2017a). Meta-analysis of neuropsychological measures of executive functioning in children and adolescents with high-functioning autism spectrum disorder. *Autism Research, 10*(5), 911-939.
- Lai, C. L. E., Lau, Z., Lui, S. S. Y., Lok, E., Tam, V., Chan, Q., . . . Cheung, E. F. C. (2017b). Meta-analysis of neuropsychological measures of executive functioning in children and adolescents with high-functioning autism spectrum disorder. *Autism Research, 10*(5), 911-939. doi:10.1002/aur.1723
- Landry, O., & Parker, A. (2013). A meta-analysis of visual orienting in autism. *Front Hum Neurosci, 7*, 833.
- Landry, R., & Bryson, S. E. (2004). Impaired disengagement of attention in young children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(6), 1115-1122. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00304.x
- Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J. (2014). An aberrant precision account of autism. *Front Hum Neurosci, 8*, 302.
- Leekam, S. R., Nieto, C., Libby, S. J., Wing, L., & Gould, J. (2007). Describing the Sensory Abnormalities of Children and Adults with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 37*(5), 894-910. doi:10.1007/s10803-006-0218-7

- Leitner, Y. (2014). The co-occurrence of autism and attention deficit hyperactivity disorder in children—what do we know? *Front Hum Neurosci*, 8, 268.
- Lewis, J. D., & Elman, J. L. (2008). Growth-related neural reorganization and the autism phenotype: a test of the hypothesis that altered brain growth leads to altered connectivity. *Developmental Science*, 11(1), 135-155.
- Leyfer, O. T., Folstein, S. E., Bacalman, S., Davis, N. O., Dinh, E., Morgan, J., . . . Lainhart, J. E. (2006). Comorbid psychiatric disorders in children with autism: interview development and rates of disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(7), 849-861.
- Liss, M., Saulnier, C., Fein, D., & Kinsbourne, M. (2006). Sensory and attention abnormalities in autistic spectrum disorders. *Autism*, 10(2), 155-172.
- Lopez, B., Donnelly, N., & Hadwin, J. A. (2004). Face processing in high-functioning adolescents with autism: Evidence for weak central coherence. *Visual Cognition*, 11(6), 673–688.
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018a). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508-520. doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018b). Autism spectrum disorder. *The Lancet*.
- Lotspeich, L. J., Kwon, H., Schumann, C. M., Fryer, S. L., Goodlin-Jones, B. L., Buonocore, M. H., . . . Reiss, A. L. (2004). Investigation of neuroanatomical differences between autism and Asperger syndrome. *Arch Gen Psychiatry*, 61(3), 291-298. doi:10.1001/archpsyc.61.3.29161/3/291 [pii]
- Lovaas, O. I. (1987). Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *Journal of consulting and clinical psychology*, 55(1), 3.

- Lovaas, O. I., Koegel, R. L., & Schreibman, L. (1979). Stimulus overselectivity in autism: a review of research. *Psychol Bull*, 86(6), 1236-1254.
- Lugnegård, T., Hallerbäck, M. U., & Gillberg, C. (2011). Psychiatric comorbidity in young adults with a clinical diagnosis of Asperger syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(5), 1910-1917.
- Maddox, W. T., Love, B. C., Glass, B. D., & Filoteo, J. V. (2008). When more is less: Feedback effects in perceptual category learning. *Cognition*, 108(2), 578-589.
- Mahjouri, S., & Lord, C. E. (2012). What the DSM-5 portends for research, diagnosis, and treatment of autism spectrum disorders. *Current psychiatry reports*, 14(6), 739-747.
- Maier, S., van Elst, L. T., Beier, D., Ebert, D., Fangmeier, T., Radtke, M., . . . Riedel, A. (2015). Increased hippocampal volumes in adults with high functioning autism spectrum disorder and an IQ > 100: a manual morphometric study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 234(1), 152-155.
- 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. doi:S1053-8119(06)01112-8 [pii]10.1016/j.neuroimage.2006.11.036
- Manyakov, N. V., Bangerter, A., Chatterjee, M., Mason, L., Ness, S., Lewin, D., . . . Pandina, G. (2018). Visual Exploration in Autism Spectrum Disorder: Exploring Age Differences and Dynamic Features Using Recurrence Quantification Analysis. *Autism Research*, 11(11), 1554-1566. doi:10.1002/aur.2021
- Markram, H., Rinaldi, T., & Markram, K. (2007). The intense world syndrome-an alternative hypothesis for autism. *Frontiers in neuroscience*, 1, 6.
- Markram, K., & Markram, H. (2010). The intense world theory—a unifying theory of the neurobiology of autism. *Front Hum Neurosci*, 4, 224.

- Mayes, S., & Calhoun, S. (2008). WISC-IV and WIAT-II Profiles in Children With High-Functioning Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(3), 428-439. doi:10.1007/s10803-007-0410-4
- McFadden, K., & Minshew, N. (2013). Evidence for dysregulation of axonal growth and guidance in the etiology of ASD. *Front Hum Neurosci*, 7, 671.
- McGonigle-Chalmers, M., & Alderson-Day, B. (2010). Free classification as a window on executive functioning in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(7), 844-857.
- McGrath, J., Johnson, K., Ecker, C., O'Hanlon, E., Gill, M., Gallagher, L., & Garavan, H. (2012). Atypical visuospatial processing in autism: insights from functional connectivity analysis. *Autism Research*, 5(5), 314-330.
- McKavanagh, R., Buckley, E., & Chance, S. A. (2015). Wider minicolumns in autism: a neural basis for altered processing? *Brain*, 138(7), 2034-2045.
- Medin, D. L., & Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological review*, 85(3), 207.
- Meilleur, A.-A. S., Jelenic, P., & Mottron, L. (2015). Prevalence of clinically and empirically defined talents and strengths in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(5), 1354-1367.
- Memari, A. H., Ziaee, V., Shayestehfar, M., Ghanouni, P., Mansournia, M. A., & Moshayedi, P. (2013). Cognitive flexibility impairments in children with autism spectrum disorders: links to age, gender and child outcomes. *Research in Developmental Disabilities*, 34(10), 3218-3225.
- Merin, N., Young, G. S., Ozonoff, S., & Rogers, S. J. (2007). Visual fixation patterns during reciprocal social interaction distinguish a subgroup of 6-month-old infants at-risk for autism from comparison infants. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(1), 108-121.
- Minshew, Meyer, J., & Goldstein, G. (2002). Abstract reasoning in autism: A disassociation between concept formation and concept identification. *Neuropsychology*, 16(3), 327.

- Minshew, Muenz, Goldstein, & Payton. (1992). Neuropsychological functioning in nonmentally retarded autistic individuals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 14(5), 749-761. doi:10.1080/01688639208402860
- Minshew, & Williams. (2007). The new neurobiology of autism: cortex, connectivity, and neuronal organization. *Arch Neurol*, 64(7), 945-950. doi:10.1001/archneur.64.7.945
- Minshew, N., & Goldstein, G. (1993). Is autism an amnesic disorder? Evidence from the California Verbal Learning Test. *Neuropsychologia*, 7, 209-216.
- Minshew, N. J., Goldstein, G., & Siegel, D. J. (1997). Neuropsychologic functioning in autism: profile of a complex information processing disorder. *J Int Neuropsychol Soc*, 3(4), 303-316.
- Minshew, N. J., & Keller, T. A. (2010). The nature of brain dysfunction in autism: functional brain imaging studies. *Curr Opin Neurol*, 23(2), 124-130. doi:10.1097/WCO.0b013e32833782d4
- Minshew, N. J., Meyer, J., & Goldstein, G. (2002). Abstract reasoning in autism: A disassociation between concept formation and concept identification. *Neuropsychology*, 16(3), 327-334. doi:10.1037/0894-4105.16.3.327
- 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. doi:10.1002/aur.130
- Mizuno, A., Villalobos, M. E., Davies, M. M., Dahl, B. C., & Muller, R. A. (2006). Partially enhanced thalamocortical functional connectivity in autism. *Brain Res*, 1104(1), 160-174.
- Modabbernia, A., Velthorst, E., & Reichenberg, A. (2017). Environmental risk factors for autism: an evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses. *Molecular autism*, 8(1), 13.

- Molesworth, C. J., Bowler, D. M., & Hampton, J. A. (2005). The prototype effect in recognition memory: Intact in autism? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(6), 661-672.
- Molesworth, C. J., Bowler, D. M., & Hampton, J. A. (2008). When prototypes are not best: Judgments made by children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(9), 1721-1730.
- Mooney, E. L., Gray, K. M., Tonge, B. J., Sweeney, D. J., & Taffe, J. R. (2009). Factor analytic study of repetitive behaviours in young children with pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(5), 765-774.
- Morgan, B., Maybery, M., & Durkin, K. (2003). Weak central coherence, poor joint attention, and low verbal ability: independent deficits in early autism. *Dev Psychol*, 39(4), 646-656.
- Mostofsky, S. H., Goldberg, M. C., Landa, R. J., & Denckla, M. B. (2000). Evidence for a deficit in procedural learning in children and adolescents with autism: implications for cerebellar contribution. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6(7), 752-759.
- Mottron, L., Mineau, S., Martel, G., Bernier, C. S. C., Berthiaume, C., Dawson, M., ... & Faubert, J. (2007). Lateral glances toward moving stimuli among young children with autism: Early regulation of locally oriented perception? *Development and psychopathology*, 19(1), 23-36.
- Mottron, & Dawson. (2013). The autistic spectrum. *Handb Clin Neurol*, 111, 263-271. doi:10.1016/b978-0-444-52891-9.00029-4
- Mottron, L. (2013b) *Perception*. Dans Volkmar, F. R., & Volkmar, F. R. (2013). *Encyclopedia of autism spectrum disorders*: Springer New York, NY.
- Mottron, L. (2010). Que fait-on de l'intelligence autistique? *Enfance*(1), 45-57.
- Mottron, L. (2017). Should we change targets and methods of early intervention in autism, in favor of a strengths-based education? *European child & adolescent psychiatry*, 26(7), 815-825.

- Mottron, L., Belleville, S., Rouleau, G. A., & Collignon, O. (2014). Linking neocortical, cognitive, and genetic variability in autism with alterations of brain plasticity: the Trigger-Threshold-Target model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 47, 735-752.
- Mottron, L., Belleville, S., Stip, E., & Morasse, K. (1998). Atypical memory performance in an autistic savant. *Memory*, 6(6), 593-607.
- 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. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(2), 209-228.
- Mottron, L., & Burack, J. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. In J. Burack, T. Charman, N. Yirmiya, & P. D. Zelazo (Eds.), *The development of autism: Perspectives from theory and research*. New Jersey: Lawrence 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. (2009). Enhanced perception in savant syndrome: patterns, structure and creativity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 364(1522), 1385-1391. doi:364/1522/1385 [pii]10.1098/rstb.2008.0333
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, 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. doi:10.1007/s10803-005-0040-7
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced Perceptual Functioning in Autism: An Update, and Eight Principles of Autistic Perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27-43. doi:10.1007/s10803-005-0040-7
- Mottron, L., Lemmens, K., Gagnon, L., & Seron, X. (2006). Non-algorithmic access to calendar information in a calendar calculator with autism. *J Autism Dev Disord*, 36(2), 239-247. doi:10.1007/s10803-005-0059-9

- 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. doi:S0954579407070022 [pii]10.1017/S0954579407070022
- Mottron, L., Morasse, K., & Belleville, S. (2001). A study of memory functioning in individuals with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *42*(2), 253-260.
- Mullen, E. M. (1995). *Mullen scales of early learning*: AGS Circle Pines, MN.
- Nader, A.-M., Courchesne, V., Dawson, M., & Soulières, I. (2016). Does WISC-IV underestimate the intelligence of autistic children? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *46*(5), 1582-1589.
- Nader, A.-M., Jelenic, P., & Soulières, I. (2015). Discrepancy between WISC-III and WISC-IV cognitive profile in autism Spectrum: what does it reveal about autistic cognition? *PLoS One*, *10*(12), e0144645.
- Naigles, L. R., Kelley, E., Troyb, E., & Fein, D. (2013). Residual difficulties with categorical induction in children with a history of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(9), 2048-2061.
- Nakano, T., Tanaka, K., Endo, Y., Yamane, Y., Yamamoto, T., Nakano, Y., . . . Kitazawa, S. (2010). Atypical gaze patterns in children and adults with autism spectrum disorders dissociated from developmental changes in gaze behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *277*(1696), 2935-2943.
- Neisser, U. (1998). Introduction: Rising test scores and what they mean.
- Nemeth, D., Janacsek, K., Balogh, V., Londe, Z., Mingesz, R., Fazekas, M., . . . Vetro, A. (2010). Learning in autism: implicitly superb. *PLoS One*, *5*(7), e11731.
- Nosofsky, R. M., & Johansen, M. K. (2000). Exemplar-based accounts of "multiple-system" phenomena in perceptual categorization. *Psychonomic Bulletin and Review*, *7*(3), 375-402.

- O'Riordan, M., Plaisted, K., Driver, J., & Baron-Cohen, S. (2001). Superior visual search in autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(3), 719-730.
- O'Doherty, J. P. (2004). Reward representations and reward-related learning in the human brain: insights from neuroimaging. *Current opinion in neurobiology*, 14(6), 769-776.
- O'Reilly, C., Lewis, J. D., & Elsabbagh, M. (2017). Is functional brain connectivity atypical in autism? A systematic review of EEG and MEG studies. *PLoS One*, 12(5), e0175870.
- Obeid, R., Brooks, P. J., Powers, K. L., Gillespie-Lynch, K., & Lum, J. A. (2016a). Statistical learning in specific language impairment and autism spectrum disorder: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 7, 1245.
- Obeid, R., Brooks, P. J., Powers, K. L., Gillespie-Lynch, K., & Lum, J. A. G. (2016b). Statistical Learning in Specific Language Impairment and Autism Spectrum Disorder: A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology*, 7(1245). doi:10.3389/fpsyg.2016.01245
- Oliveras-Rentas, R., Kenworthy, L., Roberson, R., III, Martin, A., & Wallace, G. (2012). WISC-IV Profile in High-Functioning Autism Spectrum Disorders: Impaired Processing Speed is Associated with Increased Autism Communication Symptoms and Decreased Adaptive Communication Abilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(5), 655-664. doi:10.1007/s10803-011-1289-7
- Oliveras-Rentas, R., Kenworthy, L., Roberson, R., Martin, A., & Wallace, G. WISC-IV Profile in High-Functioning Autism Spectrum Disorders: Impaired Processing Speed is Associated with Increased Autism Communication Symptoms and Decreased Adaptive Communication Abilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(5), 655-664. doi:10.1007/s10803-011-1289-7
- Ostrolenk, A., Forgeot d'Arc, B., Jelenic, P., Samson, F., & Mottron, L. (2017). Hyperlexia: Systematic review, neurocognitive modelling, and outcome. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 79, 134-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.029>

- Ozonoff, S., Coon, H., Dawson, G., Joseph, R., Klin, A., & McMahon, W. (2004). Performance on CANTAB subtests sensitive to frontal lobe function in people with autistic disorder: Evidence from the CPEA Network. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 139-150.
- Ozonoff, S., Macari, S., Young, G. S., Goldring, S., Thompson, M., & Rogers, S. J. (2008). Atypical object exploration at 12 months of age is associated with autism in a prospective sample. *Autism*, 12(5), 457-472. doi:10.1177/1362361308096402
- Ozonoff, S., & Miller, J. N. (1995). Teaching theory of mind: A new approach to social skills training for individuals with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 25(4), 415-433.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1081-1105.
- Packard, M. G., & Knowlton, B. J. (2002). Learning and memory functions of the basal ganglia. *Annual review of neuroscience*, 25(1), 563-593.
- Panerai, S., Tasca, D., Ferri, R., Genitori D'Arrigo, V., & Elia, M. (2014). Executive functions and adaptive behaviour in autism spectrum disorders with and without intellectual disability. *Psychiatry journal*, 2014.
- Papagiannopoulou, E. A., Chitty, K. M., Hermens, D. F., Hickie, I. B., & Lagopoulos, J. (2014). A systematic review and meta-analysis of eye-tracking studies in children with autism spectrum disorders. *Social neuroscience*, 9(6), 610-632.
- Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes 'too real': a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(10), 504-510.
- Perruchet, P., & Pacteau, C. (1991). Implicit acquisition of abstract knowledge about artificial grammar: Some methodological and conceptual issues.

- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Archives of general psychiatry*, 68(1), 101-109.
- 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
- Pierce, K., Marinero, S., Hazin, R., McKenna, B., Barnes, C. C., & Malige, A. (2016). Eye tracking reveals abnormal visual preference for geometric images as an early biomarker of an autism spectrum disorder subtype associated with increased symptom severity. *Biological Psychiatry*, 79(8), 657-666.
- Plaisted. (2001). Reduced generalization in autism: An alternative to weak central coherence.
- Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen. (1998). Enhanced discrimination of novel, highly similar stimuli by adults with autism during a perceptual learning task. *J Child Psychol Psychiatry*, 39(5), 765-775.
- Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced discrimination of novel, highly similar stimuli by adults with autism during a perceptual learning task. *J Child Psychol Psychiatry*, 39(5), 765-775.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42. doi:10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Qian, N., & Lipkin, R. M. (2011). A learning-style theory for understanding autistic behaviors. *Front Hum Neurosci*, 5, 77.
- Rajendran, G., & Mitchell, P. (2007). Cognitive theories of autism. *Developmental review*, 27(2), 224-260.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of experimental psychology: General*, 118(3), 219.

- Reber, A. S., Walkenfeld, F. F., & Hernstadt, R. (1991). Implicit and explicit learning: Individual differences and IQ. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(5), 888.
- Rehder, B., & Hoffman, A. B. (2005). Eyetracking and selective attention in category learning. *Cognitive Psychology*, 51(1), 1-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.11.001>
- Remington, A., Hanley, M., O'Brien, S., Riby, D. M., & Swettenham, J. (2019). Implications of capacity in the classroom: Simplifying tasks for autistic children may not be the answer. *Research in Developmental Disabilities*, 85, 197-204.
- Remington, A., Swettenham, J., Campbell, R., & Coleman, M. (2009). Selective attention and perceptual load in autism spectrum disorder. *Psychol Sci*, 20(11), 1388-1393. doi:PSCI2454 [pii]10.1111/j.1467-9280.2009.02454.x
- 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*. doi:10.1037/a0027670
- Renner, P., Grofer Klinger, L., & Klinger, M. R. (2006). Exogenous and Endogenous Attention Orienting in Autism Spectrum Disorders. *Child Neuropsychology*, 12(4-5), 361-382. doi:10.1080/09297040600770753
- Reynhout, G., & Carter, M. (2006). Social Stories™ for Children with Disabilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(4), 445-469. doi:10.1007/s10803-006-0086-1
- Riby, D. M., Hancock, P. J., Jones, N., & Hanley, M. (2013). Spontaneous and cued gaze-following in autism and Williams syndrome. *J Neurodev Disord*, 5(1), 13.
- Roid, G. H., & Miller, L. J. (2011). *Leiter-R: Leiter International Performance Scale-Revised: manual*: Hogrefe Psykologiförlaget.
- Ronald, A., Happe, F., & Plomin, R. (2005). The genetic relationship between individual differences in social and nonsocial behaviours characteristic of

- autism. *Dev Sci*, 8(5), 444-458. doi:DESC433 [pii]10.1111/j.1467-7687.2005.00433.x
- Ronemus, M., Iossifov, I., Levy, D., & Wigler, M. (2014). The role of de novo mutations in the genetics of autism spectrum disorders. *Nature reviews genetics*, 15(2), 133.
- Ropar, & Peebles. (2007). Sorting Preference in Children with Autism: The Dominance of Concrete Features. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(2), 270-280. doi:10.1007/s10803-006-0166-2
- Ropar, D., & Mitchell, P. (2002). Shape constancy in autism: the role of prior knowledge and perspective cues. *J Child Psychol Psychiatry*, 43(5), 647-653.
- Ropar, D., Mitchell, P., & Scheppard, E. (2008). The influence of conceptual knowledge on perceptual processing in autism *Autism : an integrated view from neurocognitive, clinical, and intervention research* (pp. 342 p.). Malden, MA: Blackwell Pub.
- Rosch, E. (1999). Principles of categorization. *Concepts: core readings*, 189-206.
- Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive psychology*, 7(4), 573-605.
- Rosch, E. H. (1973). On the internal structure of perceptual and semantic categories *Cognitive development and acquisition of language* (pp. 111-144): Elsevier.
- Roser, M. E., Aslin, R. N., McKenzie, R., Zahra, D., & Fiser, J. (2015). Enhanced visual statistical learning in adults with autism. *Neuropsychology*, 29(2), 163.
- Roth & Karni (2012). Dans Pirnay-Dummer, P. N., & Seel, N. M. (2017). The sciences of learning. In *The Sciences of Learning and Instructional Design*(pp. 8-35). Routledge.

- Russell, J. (1997). *Autism as an executive disorder*. New York: Oxford University Press.
- Russell, J., Saltmarsh, R., & Hill, E. (1999). What do executive factors contribute to the failure on false belief tasks by children with autism? *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 40(6), 859-868.
- Russo, N., Flanagan, T., Iarocci, G., Berringer, D., Zelazo, P. D., & Burack, J. A. (2007). Deconstructing executive deficits among persons with autism: Implications for cognitive neuroscience. *Brain and Cognition*, 65(1), 77-86.
- Rutherford, M., & McIntosh, D. N. (2007). Rules versus prototype matching: Strategies of perception of emotional facial expressions in the autism spectrum. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(2), 187-196.
- Rutter, M., & Graham, P. (1966). Psychiatric disorder in 10- and 11-year-old children. *Proc R Soc Med*, 59(4), 382-387.
- Sabatos-DeVito, M., Schipul, S. E., Bulluck, J. C., Belger, A., & Baranek, G. T. (2016). Eye tracking reveals impaired attentional disengagement associated with sensory response patterns in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(4), 1319-1333.
- Sacrey, L.-A. R., Armstrong, V. L., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2014). Impairments to visual disengagement in autism spectrum disorder: a review of experimental studies from infancy to adulthood. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 47, 559-577.
- Sacrey, L.-A. R., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2013). Prospective examination of visual attention during play in infants at high-risk for autism spectrum disorder: A longitudinal study from 6 to 36 months of age. *Behavioural brain research*, 256, 441-450.
- Sahyoun, C. P., Belliveau, J. W., Soulieres, I., Schwartz, S., & Mody, M. (2010). Neuroimaging of the functional and structural networks underlying visuospatial vs. linguistic reasoning in high-functioning

- autism. *Neuropsychologia*, 48(1), 86-95. doi:S0028-3932(09)00331-5 [pii]10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.013
- Sahyoun, C. P., Soulieres, I., Belliveau, J. W., Mottron, L., & Mody, M. (2009). Cognitive differences in pictorial reasoning between high-functioning autism and Asperger's syndrome. *J Autism Dev Disord*, 39(7), 1014-1023. doi:10.1007/s10803-009-0712-9
- Samson, F., Mottron, L., Jemel, B., Belin, P., & Ciocca, V. (2006). Can spectro-temporal complexity explain the autistic pattern of performance on auditory tasks? *J Autism Dev Disord*, 36(1), 65-76.
- Samson, F., Mottron, L., Soulieres, I., & Zeffiro, T. A. (2011). Enhanced visual functioning in autism: An ALE meta-analysis. *Hum Brain Mapp*. doi:10.1002/hbm.21307
- Sasson, N. J., Elison, J. T., Turner-Brown, L. M., Dichter, G. S., & Bodfish, J. W. (2011). Brief report: Circumscribed attention in young children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(2), 242-247.
- Sasson, N. J., & Touchstone, E. W. (2014). Visual attention to competing social and object images by preschool children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(3), 584-592.
- Sasson, N. J., Turner-Brown, L. M., Holtzclaw, T. N., Lam, K. S. L., & Bodfish, J. W. (2008). Children with autism demonstrate circumscribed attention during passive viewing of complex social and nonsocial picture arrays. *Autism Research*, 1(1), 31-42. doi:10.1002/aur.4
- Scheuffgen, K., Happe, F., Anderson, M., & Frith, U. (2000). High "intelligence," low "IQ"? Speed of processing and measured IQ in children with autism. *Dev Psychopathol*, 12(1), 83-90.
- Schipul, Williams, Keller, Minshew, & Just. (2011). Distinctive Neural Processes during Learning in Autism. *Cerebral Cortex*. doi:10.1093/cercor/bhr162
- Schipul, S. E., & Just, M. A. (2016). Diminished neural adaptation during implicit learning in autism. *Neuroimage*, 125, 332-341.

- 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
- Schmitz, N., Rubia, K., van Amelsvoort, T., Daly, E., Smith, A., & Murphy, D. G. (2008). Neural correlates of reward in autism. *Br J Psychiatry*, 192(1), 19-24. doi:10.1192/bjp.bp.107.036921
- Schuetze, M., Cho, I. Y., Vinette, S., Rivard, K. B., Rohr, C. S., Ten Eycke, K., . . . Dewey, D. (2019). Learning with individual-interest outcomes in Autism Spectrum Disorder. *Developmental cognitive neuroscience*, 38, 100668.
- Schumann, C. M., Bloss, C. S., Barnes, C. C., Wideman, G. M., Carper, R. A., Akshoomoff, N., . . . Courchesne, E. (2010). Longitudinal Magnetic Resonance Imaging Study of Cortical Development through Early Childhood in Autism. *The Journal of Neuroscience*, 30(12), 4419-4427. doi:10.1523/jneurosci.5714-09.2010
- Scott-Van Zeeland, A. A., Dapretto, M., Ghahremani, D. G., Poldrack, R. A., & Bookheimer, S. Y. (2010). Reward processing in autism. *Autism Research*, 3(2), 53-67. doi:10.1002/aur.122
- Scott-Van Zeeland, A. A., Dapretto, M., Ghahremani, D. G., Poldrack, R. A., & Bookheimer, S. Y. (2010). Reward processing in autism. *Autism Res*, 3(2), 53-67. doi:10.1002/aur.122
- Scott-Van Zeeland, A. A., McNealy, K., Wang, A. T., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Dapretto, M. (2010). No Neural Evidence of Statistical Learning During Exposure to Artificial Languages in Children with Autism Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry*, 68(4), 345-351. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.01.011>
- Seger, C. A. (2008). How do the basal ganglia contribute to categorization? Their roles in generalization, response selection, and learning via feedback. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(2), 265-278.
- Shah, A., & Frith, U. (1983). An islet of ability in autistic children: a research note. *J Child Psychol Psychiatry*, 24(4), 613-620.

- Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004a). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain*, *127*(Pt 4), 851-859. doi:10.1093/brain/awh100
- Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004b). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain*, *127*(4), 851-859. doi:10.1093/brain/awh100
- Shukla, D. K., Keehn, B., Smylie, D. M., & Müller, R.-A. (2011). Microstructural abnormalities of short-distance white matter tracts in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia*, *49*(5), 1378-1382.
- Simard, I., Luck, D., Mottron, L., Zeffiro, T. A., & Soulières, I. (2015). Autistic fluid intelligence: Increased reliance on visual functional connectivity with diminished modulation of coupling by task difficulty. *NeuroImage: Clinical*, *9*, 467-478.
- Simmons, D. R., Robertson, A. E., McKay, L. S., Toal, E., McAleer, P., & Pollick, F. E. (2009). Vision in autism spectrum disorders. *Vision research*, *49*(22), 2705-2739.
- Smith, D. J., & Minda, J. P. (2000). Thirty categorization results in search of a model. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(1), 3.
- Smith, E. E., Langston, C., & Nisbett, R. E. (1992). The case for rules in reasoning. *Cognitive science*, *16*(1), 1-40.
- Smith, L. (2000). Learning how to learn words: an associative crane. Becoming a word learner: a debate on lexical acquisition: Oxford: Oxford University Press.
- Smith, T. (2001). Discrete trial training in the treatment of autism. *Focus on autism and other developmental disabilities*, *16*(2), 86-92.

- Solomon, M., Buaminger, N., & Rogers, S. J. (2011). Abstract reasoning and friendship in high functioning preadolescents with autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*, 41(1), 32-43. doi:10.1007/s10803-010-1017-8
- Solomon, M., Ozonoff, S. J., Ursu, S., Ravizza, S., Cummings, N., Ly, S., & Carter, C. S. (2009). The neural substrates of cognitive control deficits in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47(12), 2515-2526. doi:S0028-3932(09)00191-2  
[pii]10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.019
- Solomon, M., Smith, A. C., Frank, M. J., Ly, S., & Carter, C. S. (2011). Probabilistic reinforcement learning in adults with autism spectrum disorders. *Autism Research*, 4(2), 109-120.
- Soulieres, 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*. doi:10.1002/hbm.20831
- 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. doi:10.1002/hbm.20831
- Soulieres, I., Mottron, L., Giguere, G., & Larochelle, S. (2011). Category induction in autism: slower, perhaps different, but certainly possible. *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 64(2), 311-327. doi:924061189  
[pii]10.1080/17470218.2010.492994
- Soulières, I., Mottron, L., Giguère, G., & Larochelle, S. (2011). Category induction in autism: slower, perhaps different, but certainly possible. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 64(2), 311-327. doi:924061189  
[pii]10.1080/17470218.2010.492994
- Soulieres, I., Mottron, L., Saumier, D., & Larochelle, S. (2007). Atypical categorical perception in autism: autonomy of discrimination? *J Autism Dev Disord*, 37(3), 481-490. doi:10.1007/s10803-006-0172-4

- Soulières, I., Zeffiro, T. A., Girard, M. L., & Mottron, L. (2011). Enhanced mental image mapping in autism. *Neuropsychologia*, 49(5), 848-857. doi:S0028-3932(11)00032-7[pil] 10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.027
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiology of learning and memory*, 82(3), 171-177.
- Stadler, M. A., & Frensch, P. A. (1998). *Handbook of implicit learning*: Sage Publications, Inc.
- Stahmer, A. C., Suhrheinrich, J., Reed, S., Bolduc, C., & Schreibman, L. (2010). Pivotal response teaching in the classroom setting. *Preventing School Failure: Alternative Education for Children and Youth*, 54(4), 265-274.
- Steiner, A. M. (2011). A strength-based approach to parent education for children with autism. *Journal of Positive Behavior Interventions*, 13(3), 178-190.
- Stevens, M. C., Fein, D. A., Dunn, M., Allen, D., Waterhouse, L. H., Feinstein, C., & Rapin, I. (2000). Subgroups of children with autism by cluster analysis: A longitudinal examination. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39(3), 346-352.
- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract spatial reasoning as an autistic strength. *PLoS One*, 8(3), e59329.
- Strathearn, L., Kim, S., Bastian, D. A., Jung, J., Iyengar, U., Martinez, S., . . . Fonagy, P. (2018). Visual systemizing preference in children with autism: A randomized controlled trial of intranasal oxytocin. *Development and Psychopathology*, 30(2), 511-521.
- Strauss, M. S., Newell, L. C., Best, C. A., Hannigen, S. F., Gastgeb, H. Z., & Giovannelli, J. L. (2012). The development of facial gender categorization in individuals with and without autism: The impact of typicality. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(9), 1847-1855.

- Supekar, K., Kochalka, J., Schaer, M., Wakeman, H., Qin, S., Padmanabhan, A., & Menon, V. (2018). Deficits in mesolimbic reward pathway underlie social interaction impairments in children with autism. *Brain*, *141*(9), 2795-2805.
- Swettenham, J. (1996). Can children with autism be taught to understand false belief using computers? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *37*(2), 157-165.
- Swettenham, J., Remington, A., Murphy, P., Feuerstein, M., Grim, K., & Lavie, N. (2014). Seeing the unseen: Autism involves reduced susceptibility to inattention blindness. *Neuropsychology*, *28*(4), 563.
- Szatmari, P. (2011). New recommendations on autism spectrum disorder. *BMJ*, *342*, d2456. doi:10.1136/bmj.d2456
- Tager-Flusberg, H. (1985a). Basic level and superordinate level categorization by autistic, mentally retarded, and normal children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *40*(3), 450-469.
- Tager-Flusberg, H. (1985b). The conceptual basis for referential word meaning in children with autism. *Child Development*, 1167-1178.
- Tager-Flusberg, H. (1991). Semantic processing in the free recall of autistic children: Further evidence for a cognitive deficit. *British Journal of Developmental Psychology*, *9*(3), 417-430. doi:10.1111/j.2044-835X.1991.tb00886.x
- Thibaut, J.-P. (1997). Similarité et catégorisation. *L'année psychologique*, *97*(4), 701-736.
- Thorndike, R. L., Hagen, E. P., & Sattler, J. M. (1986). *Stanford-Binet intelligence scale*: Riverside Publishing Company.
- Travers, B. G., Powell, P. S., Mussey, J. L., Klinger, L. G., Crisler, M. E., & Klinger, M. R. (2013). Spatial and identity cues differentially affect implicit contextual cueing in adolescents and adults with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(10), 2393-2404.

- Treffert, D. A. (2009). The savant syndrome: an extraordinary condition. A synopsis: past, present, future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1522), 1351-1357.
- Turner, K. C., Frost, L., Linsenbardt, D., McIlroy, J. R., & Muller, R. A. (2006). Atypically diffuse functional connectivity between caudate nuclei and cerebral cortex in autism. *Behav Brain Funct*, 2, 34. doi:10.1186/1744-9081-2-34
- Ullman, M. T., & Pullman, M. Y. (2015). A compensatory role for declarative memory in neurodevelopmental disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 51, 205-222.
- Ungerer, J. A., & Sigman, M. (1987). Categorization skills and receptive language development in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 17(1), 3-16. doi:10.1007/bf01487256
- Unruh, K. E., Sasson, N. J., Shafer, R. L., Whitten, A., Miller, S. J., Turner-Brown, L., & Bodfish, J. W. (2016). Social Orienting and Attention Is Influenced by the Presence of Competing Nonsocial Information in Adolescents with Autism. *Frontiers in neuroscience*, 10(586). doi:10.3389/fnins.2016.00586
- van Asselen, M., Sampaio, J., Pina, A., & Castelo-Branco, M. (2011). Object based implicit contextual learning: a study of eye movements. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(2), 297-302. doi:10.3758/s13414-010-0047-9
- Van de Cruys, S., Evers, K., Van der Hallen, R., Van Eylen, L., Boets, B., de Wit, L., & Wagemans, J. (2014). Precise minds in uncertain worlds: Predictive coding in autism. *Psychological Review*, 121(4), 649.
- Van der Hallen, R., Evers, K., Boets, B., Steyaert, J., Noens, I., & Wagemans, J. (2016). Visual search in ASD: Instructed versus spontaneous local and global processing. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(9), 3023-3036.
- Venker, C. E. (2019). Cross-situational and ostensive word learning in children with and without autism spectrum disorder. *Cognition*, 183, 181-191.

- Virués-Ortega, J. (2010). Applied behavior analytic intervention for autism in early childhood: Meta-analysis, meta-regression and dose-response meta-analysis of multiple outcomes. *Clinical Psychology Review*, 30(4), 387-399.
- Vladusich, T., Olu-Lafe, O., Kim, D. S., Tager-Flusberg, H., & Grossberg, S. (2010). Prototypical category learning in high-functioning autism. *Autism Research*, 3(5), 226-236.
- Wan, G., Kong, X., Sun, B., Yu, S., Tu, Y., Park, J., . . . Kong, J. (2019). Applying Eye Tracking to Identify Autism Spectrum Disorder in Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(1), 209-215. doi:10.1007/s10803-018-3690-y
- 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. doi:780328737 [pii]10.1080/13546800701417096
- Wang, S., Jiang, M., Duchesne, X. M., Laugeson, E. A., Kennedy, D. P., Adolphs, R., & Zhao, Q. (2015). Atypical visual saliency in autism spectrum disorder quantified through model-based eye tracking. *Neuron*, 88(3), 604-616.
- Wass, S. V., Jones, E. J. H., Gliga, T., Smith, T. J., Charman, T., Johnson, M. H., . . . Volein, A. (2015). Shorter spontaneous fixation durations in infants with later emerging autism. *Scientific Reports*, 5, 8284. doi:10.1038/srep08284
- Welham, A. K., & Wills, A. J. (2011). Unitization, similarity, and overt attention in categorization and exposure. *Memory & Cognition*, 39(8), 1518.
- Zimmerman, D. L., Ownsworth, T., O'Donovan, A., Roberts, J., & Gullo, M. J. (2016). Independence of hot and cold executive function deficits in high-functioning adults with autism spectrum disorder. *Front Hum Neurosci*, 10, 24.

- 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. doi:S0736574804000553 [pii]10.1016/j.ijdevneu.2004.05.001
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2018). Implicit learning seems to come naturally for children with autism, but not for children with specific language impairment: Evidence from behavioral and ERP data. *Autism Research*.
- Zwart, F. S., Vissers, C. T. W., van der Meij, R., Kessels, R. P., & Maes, J. H. (2017). Autism: Too eager to learn? Event related potential findings of increased dependency on intentional learning in a serial reaction time task. *Autism Research*, 10(9), 1533-1543.

