

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LES ENFANTS AYANT UN TROUBLE DU SPECTRE DE L'AUTISME APPRENNENT-ILS LES CATÉGORIES
VISUELLES DE FAÇON DIFFÉRENTE DES ENFANTS À DÉVELOPPEMENT TYPIQUE ? COMPARAISON DU
DÉVELOPPEMENT AUTISTE ET TYPIQUE EN CATÉGORISATION

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR

CATHERINE PRÉVOST

DÉCEMBRE 2025

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.12-2023). 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

Je remercie en première instance mon directeur pour ce travail de recherche, professeur Stevan Harnad, qui m'a inspirée par sa grande passion de chercheur. Vous m'avez toujours offert le soutien dont j'avais besoin. J'ai fait de belles rencontres au laboratoire cognition-communication, dans lequel j'aurai passé un peu plus de neuf ans. Je remercie notamment Christian, Nicolas, Fernanda, Tommy et Dan pour leur soutien technique, mais aussi humain et pour les idées qu'ils m'ont partagées. Je désire, de plus, remercier les membres du département de neuropsychologie de l'UQAM. J'ai éprouvé énormément de plaisir à bénéficier de l'enseignement de tous les professeurs le composant. Je me dois également de reconnaître l'apport de mes superviseurs cliniques pour mon développement professionnel : Normand Giroux (et Monique Benoit), Delphine Boucher (avec Annie, Eugénie et Mylène), Marie-Ève Dubois, Pascale Lidji et Nathalie Poirier, merci beaucoup de l'énergie que vous avez déployée pour que je puisse m'épanouir sur le plan clinique et me forger cette identité professionnelle mixte qui m'est précieuse.

Je tiens aussi à remercier ma famille, Marie-Joëlle, Martine, Pierre, François (et Marylou et Annabelle), Myriam (et petit Alexis), Doris, Jacques et Jean-Pierre, qui m'ont toujours encouragée à poursuivre mes efforts dans la voie que j'avais choisie. Merci de m'avoir toujours appuyée dans mes projets de grande envergure, dont celui-ci. Merci à Alexis, membre honoraire, sélectionné avec soin, de ma famille, pour les heures passées à m'aider dans mon étude et m'écouter parler de ma thèse et de plus de concepts psychologiques que tu aurais eu envie d'en apprendre. Merci pour toutes les petites attentions et de prendre soin de moi au quotidien. Tu m'as permis de conserver une motivation soutenue à terminer mon parcours. Merci aussi pour le petit Adrien, mon humain favori qui donne un sens à ma vie et qui arrive juste dans ce moment de déploiement pour sa maman.

J'aimerais également offrir un merci spécial à mes merveilleux amis et tous mes collègues de psychologie et de neuropsychologie qui m'ont soutenu et fait rire durant ce parcours du combattant qu'est le doctorat. Merci particulièrement à Camille, Estefania et Kim de combler ma vie de petits bonheurs et à Jane, Vanessa et Eugénie pour votre écoute tellement importante. Je te remercie aussi spécialement, Marie, d'avoir occupé un rôle de mentor durant toutes ces années d'étude, et encore maintenant. Alors que je me dirigeais dans une voie qui ne me convenait pas, tu as vu un potentiel en moi et m'as encouragée à intégrer le doctorat en psychologie. Je t'en serai toujours reconnaissante. Un grand merci également à tous mes jeunes participants et au centre de service scolaire m'ayant permis d'aller effectuer la collecte de mes

données, ainsi qu'aux chaleureux professionnels m'ayant accueillie dans leur école. Finalement, merci aussi à toi, Sarah. Sans ton aide toute particulière, je n'aurais pu terminer mon parcours doctoral. Je t'offre ma reconnaissance et mon admiration.

DÉDICACE

Pour mon grand-papa Jacques,
qui avait si hâte de me voir
enfin diplômée.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
DÉDICACE	iv
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES.....	xi
RÉSUMÉ	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 CADRE THÉORIQUE ET OBJECTIFS	2
1.1 Introduction à la catégorisation.....	2
1.1.1 Théories de la catégorisation.....	3
1.1.2 Apprentissage de catégories.....	4
1.1.3 Catégorisation et théorie de l'ancrage des symboles.....	6
1.1.4 Perception catégorielle	7
1.1.5 Développement de la catégorisation.....	8
1.1.6 Déficits en catégorisation	11
1.2 Catégorisation en autisme	12
1.2.1 Définition du TSA	12
1.2.2 Fonctionnement perceptif en autisme	12
1.2.3 Études d'apprentissage de catégories visuelles en autisme.....	16
1.3 Méthodes de recherche en catégorisation.....	25
1.4 Questions et hypothèses de recherche	26
1.4.1 Catégorisation et Développement.....	26
1.4.2 Facteurs impliqués dans les capacités d'apprentissage de catégories.....	27
1.4.3 Comparaison de la catégorisation chez les enfants ayant un TSA et les enfants DT.....	28
1.4.4 Perception catégorielle	29
1.4.5 Apports des modélisations par réseaux neuronaux	30
CHAPITRE 2 MÉTHODE	31
2.1 Participants et recrutement.....	31
2.2 Procédure expérimentale	32
2.2.1 Séance 1	32
2.2.2 Séances 2 et 3	33
2.3 Instruments de mesure	34
2.3.1 Tâches de mesure de la PC	34
2.3.2 Tâches psychométriques	39
2.4 Analyses statistiques	40
2.4.1 Développement	40
2.4.2 Précurseurs à l'apprentissage de catégories	41
2.4.3 Fonctionnement perceptif.....	42
2.4.4 Perception catégorielle	42
2.5 Réseaux neuronaux.....	43

CHAPITRE 3 RÉSULTATS.....	44
3.1 Comparaison des données des enfants des deux groupes	44
3.2 Description des données d'apprentissage aux tâches de catégorisation	44
3.2.1 Apprentissage de catégories à attributs distribués	45
3.2.2 Apprentissage de catégories à attributs locaux.....	48
3.3 Le développement des habiletés de catégorisation	50
3.3.1 Développement des enfants à développement typique	50
3.3.2 Développement des enfants ayant un TSA.....	51
3.4 Les précurseurs à l'apprentissage de catégories	52
3.4.1 Intelligence.....	52
3.4.2 Fonctions cognitives.....	56
3.4.3 Types d'apprentissages.....	61
3.5 Comparaison des performances en catégorisation (enfants DT et ayant un TSA) et du fonctionnement perceptif	61
3.5.1 Stimuli à attributs distribués (textures)	63
3.5.2 Stimuli à attributs locaux (poissons).....	64
3.5.3 Apprentissage non supervisé	65
3.6 Perception catégorielle	65
3.6.1 Stimuli à attributs distribués (textures)	66
3.6.2 Stimuli à attributs locaux (poissons).....	72
3.6.3 Développement et perception catégorielle.....	74
3.6.4 Apprentissage et perception catégorielle.....	74
CHAPITRE 4 DISCUSSION	76
4.1 Catégorisation et développement	76
4.1.1 Développement chez les enfants à développement typique	76
4.1.2 Développement chez les enfants ayant un TSA.....	78
4.1.3 Comparaison du développement	79
4.2 Comparaison des aptitudes de catégorisation	79
4.2.1 Apprentissage de nouvelles catégories et le fonctionnement perceptif en catégorisation.....	80
4.2.2 Précurseurs à l'apprentissage de catégories	81
4.2.3 Perception catégorielle	84
4.3 Constats des réseaux neuronaux	86
4.4 Forces et limites de l'étude	88
CONCLUSION	91
ANNEXE A DÉTAIL DES RÉSULTATS AUX ANALYSES DES FACTEURS COGNITIFS.....	92
ANNEXE B RÉSULTATS DE PERCEPTION CATÉGORIELLE SUPPLÉMENTAIRES.....	105
ANNEXE C RÉSULTATS DES RÉSEAUX NEURONAUX	109
ANNEXE D CONSIGNES POUR LES TÂCHES DE CATÉGORISATION	115
ANNEXE E FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT	117
ANNEXE F QUESTIONNAIRE SOCIO-DÉMOGRAPHIQUE	121
ANNEXE G CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE, RENOUVELLEMENT ET AVIS DE CONFORMITÉ	122

RÉFÉRENCES	125
------------------	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Difficulté d'apprentissage des catégories	5
Figure 1.2 Effets de compression et de séparation des couleurs	8
Figure 2.1 Déroulement de la tâche ABX	35
Figure 2.2 Déroulement de la tâche de catégorisation.....	36
Figure 2.3 Formation des textures en fonction des composantes.....	37
Figure 2.4 Distribution des attributs selon la catégorie	38
Figure 3.1 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant immédiat à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués.....	46
Figure 3.2 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués	47
Figure 3.3 Exemple de courbe d'apprentissage d'un non-apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués	47
Figure 3.4 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux.....	49
Figure 3.5 Exemple de courbe d'apprentissage d'un non-apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux.....	49
Figure 3.6 Performance en catégorisation de textures selon l'âge de l'enfant DT	50
Figure 3.7 Performance en catégorisation de poissons selon l'âge de l'enfant DT	51
Figure 3.8 Performance en catégorisation de textures selon l'âge de l'enfant TSA	51
Figure 3.9 Performance en catégorisation de poissons selon l'âge de l'enfant TSA.....	52
Figure 3.10 Performance en catégorisation des textures selon l'ÉGQI (groupe d'enfants à développement typique).....	53
Figure 3.11 Performance en catégorisation des poissons selon l'ÉGQI (groupe d'enfants à développement typique).....	54
Figure 3.12 Performance en catégorisation des textures selon l'ÉGQI (groupe d'enfants ayant un TSA)..	55
Figure 3.13 Performance en catégorisation des poissons selon l'ÉGQI (groupe d'enfants ayant un TSA) .	55
Figure 3.14 Lien entre la performance aux deux types de stimuli à la tâche de catégorisation.....	61

Figure 3.15 Représentation graphique de l'apprentissage au dernier bloc de la tâche de catégorisation selon le groupe et le type de catégories utilisées	62
Figure 3.16 Apprentissage des catégories à attributs distribués (textures) pour les deux groupes.....	63
Figure 3.17 Apprentissage des catégories à attributs locaux (poissons) pour les deux groupes.....	64
Figure 3.18 Effet de PC des textures (groupe d'enfants à développement typique).....	66
Figure 3.19 Effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs distribués .	67
Figure 3.20 Effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs distribués	68
Figure 3.21 Effets de PC des textures (groupe d'enfants ayant un TSA).....	69
Figure 3.22 Effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs distribués .	70
Figure 3.23 Effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs distribués	71
Figure 3.24 Effets de PC des poissons (groupe d'enfants DT)	72
Figure 3.25 Effets de PC des poissons (groupe d'enfants ayant un TSA)	73
Figure 4.1 Représentation schématique des résultats aux corrélations et régressions effectuées relativement aux tâches de catégorisation	81
Figure 4.2 Représentation visuelle des effets de PC moyens obtenus pour les catégories à attributs distribués selon le niveau de séparation initiale	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Études portant sur l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles en autisme depuis l'année 2000	17
Tableau 2.1 Déroulement des séances 2 et 3	34
Tableau 3.1 Données descriptives des deux groupes d'enfants à l'étude et comparaisons statistiques ...	44
Tableau 3.2 Tableau descriptif des résultats à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués	45
Tableau 3.3 Tableau descriptif des résultats à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux ...	48
Tableau 3.4 Résultats des deux groupes d'enfants concernant les résultats aux tâches cognitives effectuées	56
Tableau 3.5 Fonctions évaluées et tâches y étant associées	57
Tableau 3.6 Recension des fonctions cognitives reliées à l'apprentissage des catégories selon le type d'attributs et le groupe expérimental	58
Tableau 3.7 Corrélations entre les fonctions cognitives à l'étude, entre elles, et l'âge pour le groupe d'enfants DT.....	59
Tableau 3.8 Corrélations entre les fonctions cognitives à l'étude, entre elles, et l'âge pour le groupe d'enfants ayant un TSA.....	60
Tableau 3.9 Statistiques descriptives (pourcentage moyen de réussite au 3 ^e bloc de catégorisation) de l'analyse de l'interaction entre le groupe et le type de stimuli utilisé	62
Tableau 3.10 Liens entre le résultat intercatégoriel à la première tâche ABX et le premier bloc de catégorisation	65
Tableau 3.11 Liens entre l'apprentissage et les effets de séparation et de compression pour les deux types de stimuli du groupe d'enfants DT	75
Tableau 3.12 Liens entre l'apprentissage et les effets de séparation et de compression pour les deux types de stimuli du groupe d'enfants ayant un TSA	75
Tableau 4.1 Résumé des effets développementaux	76
Tableau 4.2 Résumé des pourcentages moyens de réussite à la dernière partie des tâches de catégorisation pour les deux groupes	80
Tableau 4.3 Résumé des effets significatifs de PC	84

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ADI-R : Autism Diagnostic Interview-Revised

APA : American Psychiatric Association

ADOS : Autism Diagnostic Observation Schedule

CIREEH : Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains

D-KEFS : Delis-Kaplan Executive Function System

DSM-5 : Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5^e édition

EEG : Électro-encéphalogramme

ÉGQI : Échelle globale de quotient intellectuel

INSPQ : Institut national de santé publique du Québec

IVS : Indice visuospatial

DT : À développement typique

PC : Perception catégorielle

TEA-Ch : Test of Everyday Attention for Children

TSA : Trouble du spectre de l'autisme

UQAM : Université du Québec à Montréal

WISC-V : Wechsler Intelligence Scale for Children, 5^e édition

RÉSUMÉ

L'apprentissage des catégories est une des fonctions les plus importantes de la cognition humaine. Cette thèse compare l'acquisition des catégories chez des enfants à développement typique (DT) et des enfants ayant un trouble du spectre de l'autisme (TSA), âgés de 8 à 13 ans. Leurs performances ont été comparées en termes de : (1) l'apprentissage des catégories, (2) la perception catégorielle (PC) apprise (un changement perceptif après l'apprentissage de nouvelles catégories, où les membres de catégories différentes deviennent plus discriminables et ceux de la même catégorie moins discriminables), et (3) leurs corrélats psychométriques.

Les scores en apprentissage des catégories s'améliorent avec l'âge chez les enfants DT ainsi que ceux ayant TSA, pour des catégories dont les attributs distinctifs sont locaux (formes de poissons). Une amélioration avec l'âge est aussi présente pour les enfants ayant un TSA pour les catégories dont les attributs sont distribués (textures), mais pas chez les enfants DT. Chez les enfants DT, les scores en apprentissage des catégories sont corrélés avec la mémoire de travail visuelle. Chez les enfants ayant un TSA, les scores sont corrélés avec l'attention visuelle, mais aussi avec le raisonnement visuospatial et avec la flexibilité cognitive. De plus, pour les catégories avec attributs distribués (textures), les performances des enfants ayant un TSA sont corrélées avec l'intelligence globale.

L'apprentissage des catégories induit la PC pour les catégories à attributs distribués, tant chez les enfants DT que ceux ayant un TSA. Aucun effet de PC n'est retrouvé pour les deux groupes (DT et TSA) pour les catégories à attributs locaux. Les enfants DT ainsi que ceux ayant un TSA rencontrent plus de difficultés avec les formes de poissons (qui nécessitent une attention locale), mais les enfants DT réussissent mieux que les enfants ayant un TSA avec les textures, dont les attributs sont distribués (nécessitant une perception holistique). Les modèles de réseaux neuronaux suggèrent que des différences dans le traitement interne des attributs locaux et distribués pourraient aider à expliquer les divergences développementales observées entre les enfants DT et ayant un TSA.

Mots clés : catégorisation, développement de l'enfant, trouble du spectre de l'autisme, fonctionnement perceptif.

ABSTRACT

Category learning is one of the most important functions of human cognition. This thesis compares category acquisition in typically developing (TD) children and children with autism spectrum disorder (ASD), aged 8 to 13 years. We compared their performance in (1) category learning, (2) learned categorical perception (CP) (a perceptual change after learning new categories, in which members of different categories become more discriminable and members of the same category become less discriminable), and (3) their psychometric correlates.

Category learning scores improve with age in TD children as well as those with ASD for categories whose distinctive features are local (fish shapes). An improvement with age is also present for children with ASD for categories whose features are distributed (textures), but not in TD children. In TD children, their category learning scores correlated with visual working memory. In children with ASD, they correlated with visual attention, but also with visuospatial reasoning and cognitive flexibility. For learning categories with distributed features (textures), ASD children's performance also correlated with global intelligence.

Category learning induced categorical perception (CP) for categories with distributed features in both TD children and children with ASD. No CP effect was found in either group (TD children or with ASD) for categories with local features. Both groups found fish shapes (which require local attention) more difficult, but TD children outperformed children with ASD in learning textures (which require holistic perception). Neural network models suggest that differences in the internal processing of local and distributed features might help explain the developmental differences observed between TD children and those with ASD.

Keywords: Categorization, Child Development, Autism Spectrum Disorder, Perceptual Functioning.

INTRODUCTION

La présente thèse aborde le développement des aptitudes de catégorisation chez les enfants d'âge primaire (8-13 ans) avec un développement typique (DT) et ceux présentant un trouble du spectre de l'autisme (TSA). Deux types de catégories sont utilisées pour vérifier un développement perceptif différentié chez les enfants des deux groupes, soit les catégories à attributs distribués et celles à attributs locaux.

Ce document abordera donc ce sujet dans les quatre chapitres suivants. Premièrement, une introduction à la catégorisation sera effectuée, puis la catégorisation sera décrite dans le cadre des personnes ayant un TSA avec un fonctionnement perceptif différent. Les questions de recherche et hypothèses seront ensuite élaborées pour clore le chapitre 1. Le chapitre 2 portera sur la méthode du présent projet en décrivant les procédures de recherche. Le chapitre 3 abordera les résultats obtenus à partir des données récoltées, notamment en lien avec les effets développementaux de la catégorisation, les précurseurs aux habiletés de catégorisation, les performances aux tâches d'apprentissage de catégories en lien avec le fonctionnement perceptif et les effets de perception catégorielle (PC). Tout cela afin de comparer les deux groupes à l'étude, soit un groupe d'enfants porteurs d'un diagnostic de TSA et un groupe d'enfants DT. Le chapitre 4, pour sa part, servira à faire la discussion de ces résultats de recherche en faisant des liens avec des études précédentes, ainsi qu'avec des réseaux neuronaux entraînés avec des stimuli semblables à ceux utilisés avec les enfants de l'étude afin de mieux comprendre le fonctionnement perceptif sous-jacent à l'apprentissage. Finalement, une conclusion terminera cette thèse en effectuant un bref résumé du projet et de ses apports théoriques.

CHAPITRE 1

CADRE THÉORIQUE ET OBJECTIFS

Dans ce chapitre, le lecteur en apprendra plus sur les concepts de catégorisation, de PC et du fonctionnement perceptif en autisme. Une autre section portera sur les questions de recherche de l'étude décrite dans ce travail.

1.1 Introduction à la catégorisation

La catégorisation est une habileté adaptative permettant de s'orienter dans le monde. Malgré le fait que ça en fasse partie, la catégorisation est bien plus générale que la classification (classer des éléments selon une règle) ou la dénomination (apposer une étiquette sur un élément d'une catégorie pour le reconnaître). Catégoriser consiste à « faire la bonne chose avec la bonne sorte de chose » (Harnad, 2017). Par exemple, lorsqu'un individu est face à un animal dans la forêt, il doit déterminer s'il l'approche ou s'il se sauve. Si l'humain voit un fruit, il doit décider s'il est à manger ou à rejeter. Les êtres humains partagent avec les autres animaux ces capacités à l'action différentielle envers les objets, dont nommer les choses est une des manifestations particulières.

La catégorisation sert à mettre de l'ordre dans l'information reçue par les sens (Goldstone et Hendrickson, 2010). Un objet à catégoriser possède des attributs, c'est-à-dire des propriétés selon lesquelles il est possible de déterminer son usage. Par exemple, un zèbre possède les attributs visuels d'être morphologiquement semblable à un cheval et d'être rayé de noir et blanc. Les attributs peuvent provenir de n'importe quelle avenue sensorielle, mais, pour des raisons expliquées plus loin dans le document, ce projet traitera de la catégorisation d'éléments visuels.

Il existe chez l'humain quelques catégories qui sont innées. La catégorisation des couleurs en est un exemple. Lorsque la lumière visible entre dans l'œil, elle est traitée par les cônes dans la rétine dont il existe trois types (les cônes bleus [S], verts [M] et rouges [L]). Chacun des types de cônes est spécialisé dans la captation d'un intervalle de longueurs d'onde. Le système nerveux est donc déjà programmé génétiquement et physiologiquement pour la catégorisation de couleurs et la lumière est donc déjà partiellement catégorisée lors de la captation sensorielle (Kim et al., 2009; Walraven, 1966). Les expressions faciales et les phonèmes sont deux autres exemples de catégories pour lesquelles l'humain a, à l'exception des individus ayant une neuropathologie, une prédisposition à la naissance (Dehaene-

Lambertz et Dehaene 1994; Eimas et al., 1971; Etcoff et Magee, 1992; Field et al., 1982; Liberman et al., 1957; Segal et al., 2016; Werker et Tees, 1984).

1.1.1 Théories de la catégorisation

Il existe trois grandes théories concernant la catégorisation : la théorie classique (attributs partagés; Medin et Smith 1981; Trabasso et Bower, 1968), la théorie des exemplaires (Medin et Schaffer, 1978) et la théorie des prototypes (Margolis, 1994; Rosch, 1978).

La théorie classique en catégorisation définit les catégories comme basées sur un ensemble d'attributs distinctifs qui forment la règle de catégorisation (Trabasso et Bower, 1968). C'est ce cadre de référence qui est utilisé pour ce projet. Cette théorie se base sur un principe d'économie cognitive, c'est-à-dire qu'en ne portant attention qu'aux attributs qui covarient avec l'appartenance à une catégorie, il est possible d'éviter de devoir emmagasiner tous les exemples en mémoire.

La théorie des exemplaires (Medin et Schaffer, 1978), en compétition avec la théorie classique, affirme que chaque exemplaire, de chaque catégorie, vu au cours de la vie d'une personne, est placé en mémoire et conservé. À chaque nouvel exemplaire perçu, une comparaison est effectuée entre le nouvel exemplaire et les autres, et le nouvel exemplaire est catégorisé en fonction de sa ressemblance. Cela impliquerait que des millions d'exemplaires seraient rangés et un encore plus grand nombre de comparaisons faites à l'ajout de chaque nouvel exemplaire.

La théorie des prototypes (Rosch, 1978) est basée sur l'existence d'un « meilleur exemplaire » d'une catégorie. Selon cette théorie, lorsque de nouveaux items sont perçus, ils sont comparés à ce meilleur item en termes de ressemblance et catégorisés en conséquence. Les études basées sur cette théorie utilisent souvent l'effet de prototype défini comme une catégorisation plus rapide des exemplaires d'une catégorie se rapprochant du prototype et une catégorisation plus lente des éléments moins semblables au prototype.

Certains auteurs préfèrent également utiliser une théorie mixte combinant deux ou trois des théories mentionnées plus haut (Rouder et Ratcliff, 2006).

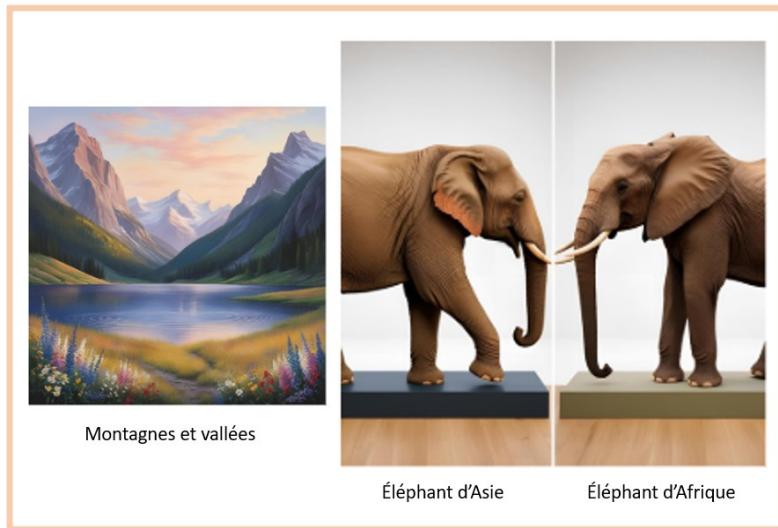
1.1.2 Apprentissage de catégories

Puisque ce ne sont qu'une très petite fraction des catégories connues qui sont innées, toutes les autres doivent être apprises (Bloom, 2000; Horst et Simmering, 2015). C'est par le processus d'abstraction des attributs pertinents, ceux qui distinguent les membres des non-membres de la catégorie, que l'humain peut apprendre les catégories. Comme mentionné plus tôt, selon la théorie classique de la catégorisation, les membres d'une catégorie possèdent tous des attributs semblables que l'on appelle les *covariants ou les attributs distinctifs*. Ce ne sont pas tous les attributs appartenant à un membre d'une catégorie qui covarieront avec son appartenance à la catégorie. Le travail d'apprentissage consiste donc, globalement, à départager les attributs qui sont pertinents pour discerner à quelle catégorie appartient un objet et ceux qui n'ont rien à voir avec sa bonne catégorisation (Gao et al., 2016; Smith et Rangarajan 2016). Trois méthodes d'apprentissage permettent de cerner les catégories apprises : (1) l'apprentissage par exposition simple (non supervisé, sans renforcement positif/négatif), (2) l'apprentissage supervisé par essai-erreur et correction positive/négative, et (3) l'apprentissage par l'instruction verbale.

L'apprentissage par exposition simple fonctionne seulement pour les catégories qui sont plus faciles à apprendre. Le simple fait de voir un plus ou moins grand nombre d'éléments des catégories permet de repérer les attributs qui covariant statistiquement plus souvent avec d'autres. Cela crée des groupements d'attributs qui constituent les catégories. Dans toutes les autres méthodes d'apprentissage, il y a aussi toujours une composante d'apprentissage par exposition simple (Love, 2002).

La facilité d'apprentissage d'une catégorie est médiée par la distance que l'on retrouve entre les attributs des catégories et la saillance de ces attributs. Les catégories dont les covariants sont très différents et saillants (par exemple une vallée et une montagne) sont plus faciles à distinguer que celles qui le sont moins (par exemple, deux types d'éléphants, soit d'Afrique et d'Asie, comme ceux illustrés à la figure 1.1).

Figure 1.1 Difficulté d'apprentissage des catégories



Images libres de droits générées par intelligence artificielle

L'apprentissage supervisé par essai-erreur permet d'apprendre des catégories plus complexes que l'apprentissage non supervisé. Cela peut parfois prendre plus ou moins de temps dépendant du niveau de difficulté à capter et abstraire les attributs distinctifs (Love, 2002; Reber et al., 2003). Ce moyen d'apprentissage consiste à voir un stimulus, faire une action, puis finalement recevoir une rétroaction corrective indiquant si l'action était appropriée ou non. La rétroaction peut provenir d'une personne de façon verbale, ou bien elle peut être offerte par l'environnement avec les conséquences d'avoir bien ou mal réagi. Le cas des catégories dichotomiques est un cas particulier, car la rétroaction positive ou négative signale non seulement si l'action posée était la bonne, mais aussi à laquelle des deux catégories appartient le stimulus. Un non-membre de la première catégorie est ainsi automatiquement un membre de l'autre catégorie. Lors d'une tâche d'apprentissage de catégories dichotomiques, il serait donc possible d'apprendre seulement les covariants de l'une des deux catégories et de catégoriser tout ce qui ne les possède pas comme étant dans l'autre catégorie. En revanche, aussitôt que la catégorie n'est pas dichotomique, pour apprendre, il est nécessaire d'avoir non seulement une rétroaction corrective, mais également le nom de la catégorie à laquelle appartient le stimulus (Schyns et al., 1998).

L'apprentissage par instruction verbale est un type d'apprentissage indirect très puissant. Lorsqu'une personne a appris une catégorie, elle peut transmettre verbalement à une autre personne les attributs de la catégorie ou bien la règle de celle-ci (Waxman et Markow, 1995). Le dictionnaire est un exemple d'apprentissage par instruction verbale. La majorité des mots du dictionnaire étant des catégories, les

définitions se retrouvent à être des explications verbales permettant l'apprentissage de ces mots (ou catégories). Toutefois, ce type d'apprentissage a également ses limites. Certaines catégories peuvent très difficilement être verbalisées lorsque la catégorie est seulement perceptive (par exemple, il est difficile de verbaliser ce qu'est le bleu ou bien décrire un son). De plus, puisque les définitions du dictionnaire sont des règles booléennes assemblant d'autres catégories (par exemple, de façon très simplifiée, la pomme est un fruit rond rouge ou vert), si la personne qui apprend la nouvelle catégorie n'a pas acquis les catégories de base présentes dans la définition, elle ne pourra pas apprendre cette nouvelle catégorie.

Des détracteurs de la théorie classique en catégorisation ont émis la critique que certaines catégories ne peuvent pas être décrites par des attributs covariants, parce qu'elles ne comportent aucun attribut en commun. Le célèbre exemple de Wittgenstein (1953) peut être cité en donnant l'exemple de la catégorie « jeu » (Rosch, 1978). Par cet exemple, Wittgenstein exprime la difficulté de déterminer les attributs communs pour la catégorie des « jeux », et qu'ainsi, ce concept ne serait pas définissable. Pourtant, dans un cas de catégorie disjonctive, les attributs ne covariant pas à tout coup avec la catégorie. Une catégorie disjonctive est une catégorie pour laquelle l'un ou l'autre des attributs peut covarier, sans qu'il s'agisse du même attribut. Pour simplifier, il est possible de réutiliser l'exemple des éléphants. Il existe des éléphants à gros ventre et petites oreilles (éléphants d'Asie) et des éléphants à petit ventre et grandes oreilles (éléphants d'Afrique). Pour faire partie de la catégorie éléphant, il faut donc posséder l'un ou l'autre de ces groupements d'attributs. Dans le cas des éléphants, la règle est relativement simple, mais, par exemple, dans le cas des « jeux », la règle peut devenir très complexe et c'est là où les détracteurs mentionnés plus haut se sont trompés. Il se peut que l'observateur ne puisse pas verbaliser la règle explicitement, mais s'il est capable de catégoriser sans erreur, alors les covariants conjonctifs ou disjonctifs sont captés implicitement sans conscience de la règle (Barlow, 1990).

1.1.3 Catégorisation et théorie de l'ancrage des symboles

La théorie de l'ancrage des symboles (Harnad, 1987, 2017, 2025) traite de la manière dont les symboles arbitraires, comme les mots, acquièrent leur signification en étant ancrés dans le monde par l'apprentissage sensorimoteur. Dans ce cadre, qui rejoint celui de la théorie classique en catégorisation présentée précédemment (Trabasso et Bower, 1968), une catégorie est un ensemble d'entités caractérisées par des attributs sensorimoteurs qui permettent de les distinguer des non-membres (et, chez les humains, de les identifier verbalement par le mot qui réfère à la catégorie). Cette approche s'inscrit directement dans des travaux récents du laboratoire auquel appartient l'auteure sur les modèles de

langage et la signification (Harnad, 2025), qui explorent comment l'apprentissage catégoriel se généralise de l'interaction sensorimotrice à la transmission linguistique, et où ce processus échoue dans les modèles purement linguistiques, donc non ancrés.

L'ancrage des symboles se distingue d'autres approches en sciences cognitives, en intelligence artificielle et en philosophie. Comme les approches classiques de la catégorisation axée sur la logique booléenne (Trabasso et Bower, 1968), elle postule que les catégories ont des attributs distinctifs bien définis. Elle partage avec la théorie des prototypes de Rosch (1978) l'idée que l'apprentissage des catégories repose sur la régularité des expériences perceptives, mais, contrairement à cette dernière, elle met l'accent sur les attributs distinctifs plutôt que sur des centres prototypiques diffus. Elle rejoint également les approches connexionnistes et l'apprentissage profond (Joanisse et McClelland, 2015) en ce qu'elle reconnaît le rôle des corrélations statistiques entre les attributs, mais elle diverge en insistant sur la nécessité d'un ancrage sensorimoteur, que les modèles linguistiques actuels ne possèdent pas.

Elle s'oppose ainsi aux approches qui conçoivent les catégories comme des ensembles flous ou probabilistes, telles que la théorie des exemplaires (Medin et Schaffer, 1978) en insistant sur le fait que les catégories auxquelles réfèrent la majorité de mots de contenu dans nos vocabulaires dépendent de la détection des attributs distinctifs pour guider l'action. Elle diffère également des approches computationnelles et formelles du langage, en concevant le langage non pas comme un système autonome de manipulation de symboles, mais comme une extension de l'apprentissage sensorimoteur des catégories, où les mots ne peuvent être compris qu'à travers un ancrage initial.

1.1.4 Perception catégorielle

À la suite de l'apprentissage de nouvelles catégories, survient sous certaines conditions, un phénomène perceptif selon lequel les stimuli appartenant à différentes catégories semblent plus différents qu'avant l'apprentissage (phénomène de séparation perceptive) et/ou les stimuli appartenant à la même catégorie se ressemblent plus qu'avant l'apprentissage (phénomène de compression perceptive), et ce, même quand la différence objective entre les stimuli est égale (Goldstone et Hendrickson, 2009). Ce phénomène est appelé la perception catégorielle (PC; Harnad, 1987). Les effets de séparation perceptive sont plus fondamentaux à la PC, car c'est ce qui permet de distinguer les éléments de catégories différentes et ainsi interagir de façon adaptée avec ces éléments. L'apprentissage des catégories dont les éléments sont déjà plus distinguables des autres catégories entraînerait moins de PC, car le besoin est moins présent pour

bien interagir avec les éléments de ces catégories. Si les catégories sont déjà bien séparées perceptivement, le changement perceptif est moins nécessaire.

Les effets de compression et séparation retrouvés pour les couleurs illustrent bien la PC (mais, dans le cas des couleurs, la PC est innée plutôt qu'apprise). Ci-dessous (Figure 1.2), dans les deux cas, la différence de longueur d'onde entre le premier et le deuxième carré est la même, soit 50 nm. Toutefois, les deux carrés verts à gauche paraissent plus semblables (compression) alors que les deux carrés, l'un jaune et l'autre rouge à droite, semblent très différents (séparation). C'est explicable par le fait qu'à gauche, aucune frontière de catégorie (innée) n'a été traversée (les deux carrés sont verts). Alors qu'à droite, la frontière (innée) entre jaune et rouge est traversée, il y a donc deux éléments appartenant à deux catégories (couleurs), différentes.

Figure 1.2 Effets de compression et de séparation des couleurs

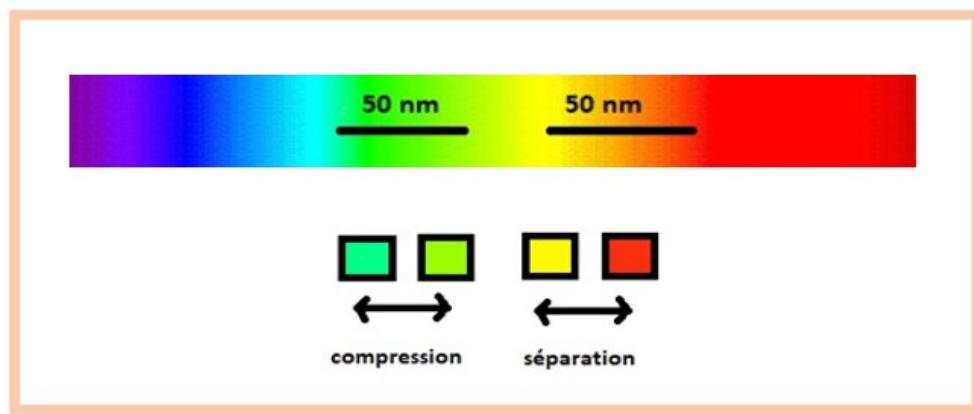


Image originale produite par l'auteur (avec génération du spectre de couleur par intelligence artificielle)

1.1.5 Développement de la catégorisation

Plusieurs auteurs se sont interrogés sur l'aspect développemental en catégorisation. Il est connu que la catégorisation de nouveaux objets est possible chez de très jeunes enfants. Elle a par exemple été observée chez des enfants de trois mois à des tâches de reconnaissance visuelle de formes géométriques et de visages par la mesure de temps d'observation d'items (Mareschal et Quinn, 2001). Il est assez clair selon la littérature qu'il existe un effet développemental dans l'acquisition de catégories (Owen et Barnes, 2021). En effet, avec l'âge et la maturation cérébrale, les enfants tendent à apprendre plus aisément de nouvelles catégories (Sloutsky, 2010). Toutefois, les mécanismes par lesquels le développement se fait

sont plus débattus. Certains auteurs expliquent le développement de la catégorisation en lien avec l'acquisition de connaissances : plus de nouvelles catégories sont apprises, plus les nouvelles catégories sont faciles à apprendre (Carey, 2000; Keil, 1992; Keil et Batterman, 1984). Ces auteurs postulent également des liens avec le développement du langage, associant le développement de la catégorisation avec l'apprentissage de nouveaux mots. Bien que le lien avec le langage soit évident, celui-ci paraît complexe (Owen et Barnes, 2021; Poulin-Dubois et Pauen, 2017). L'apprentissage de nouveaux mots permettant de faciliter l'acquisition de nouvelles catégories, mais l'apprentissage de nouvelles catégories davantage sensorielles et perceptives ne nécessitant pas nécessairement d'étiquette verbale pour ce faire, permettant lui-même une expansion du lexique de l'individu.

D'autres expliquent le développement en lien avec la maturation de certaines autres fonctions cognitives, comme les fonctions exécutives, l'attention sélective ou la mémoire de travail (Fisher, 2019; Fisher et al., 2015; Rabi et Minda, 2014; Ralston et Sloutsky, 2023; Sloutsky, 2010; Sloutsky et al., 2015; Smith, 1989; Wan et Sloutsky, 2024). Fouquet et Megalakaki (2013) précisent aussi la présence d'une évolution vers la formation de catégories plus abstraites dès l'âge préscolaire, soit entre l'âge de 3 et 6 ans. Dans leur étude, les enfants plus âgés utilisent des stratégies de catégorisation basées sur une compréhension plus théorique des éléments à catégoriser (par exemple, regrouper des animaux ensemble sur la base de leur appartenance taxonomique), alors que les enfants plus jeunes paraissent utiliser des regroupements davantage fondés sur des ressemblances perceptives ou arbitraires. Les auteurs, tout comme d'autres avant eux (Maintenant et Blaye, 2008) évoquent également une plus grande flexibilité chez les enfants plus âgés dans les regroupements effectués (des éléments peuvent appartenir à plusieurs catégories) que chez les enfants plus jeunes, reliant le tout au développement de la flexibilité cognitive qui s'amorce.

Wan et Sloutsky (2024) ont étudié le lien entre l'attention sélective, soit la capacité de diriger l'attention vers une seule source et de distinguer les éléments pertinents de ceux qui ne le sont pas pour les inhiber, et l'apprentissage de nouvelles catégories chez les enfants de 4 à 6 ans. Les résultats de leur étude indiquent une plus grande facilité chez les enfants de 6 ans, en moyenne, à inhiber les attributs non pertinents à la catégorisation, que chez les enfants de 4 ans. Une comparaison est également effectuée avec des adultes démontrant, pour leur part, de meilleures capacités que les enfants pour filtrer les attributs pertinents. Les auteurs lient la tendance chez les enfants à une exploration générale, plutôt que dirigée, dans les tâches de catégorisation à une curiosité épistémique qui pourrait être avantageuse dans le contexte où l'enfant a davantage à apprendre sur le monde que l'adulte et doit demeurer plus ouvert à

toute nouvelle information. Dans une autre étude, Ralston et Sloutsky (2023) ont analysé les processus de généralisation à partir de données catégorielles en demandant à des adultes et des enfants de 3 à 5 ans de générer de nouveaux éléments à partir d'attributs choisis. Les adultes ont alors démontré une tendance à utiliser davantage les attributs discriminants pour la catégorie, alors que les enfants ont utilisé les attributs saillants avant tout. Comme dans l'étude précédemment mentionnée, les enfants ont ainsi vécu davantage de difficulté à inhiber les attributs non pertinents que les adultes.

Le processus développemental par lequel les enfants évolueraient dans leurs capacités à établir des stratégies davantage basées sur le contexte et leur savoir catégoriel déjà engrangé a été étudié par Decker et al. (2016) en utilisant les concepts de stratégies basées sur un modèle et de stratégie sans modèle. L'utilisation de stratégie sans modèle est plus simple et permet à l'individu de prendre des décisions basées sur des liens effectués rapidement à l'aide d'essais et erreurs. Les stratégies basées sur un modèle impliquent davantage les fonctions exécutives et le cortex préfrontal et exigent la création d'un plan conscient et dirigé selon les connaissances acquises sur la situation. Decker et ses collègues (2016) ont ainsi trouvé que les enfants utilisent très peu des stratégies basées sur un modèle jusqu'à l'adolescence où ils semblent commencer à les développer. Ce serait seulement à l'âge adulte que l'utilisation de ce type de stratégies serait grandement favorisée. Smid et al. (2023), quant à eux, ont observé une augmentation des capacités de contrôle cognitif chez les enfants de 6 à 13 ans, reliée à une plus grande utilisation des stratégies basées sur un modèle. Ces deux types de stratégies pourraient expliquer certaines différences dans la forme d'apprentissage des catégories présente chez les enfants et les adultes (Wan, 2024).

D'autres auteurs ont poussé la réflexion en lien avec la maturation de certains circuits neuronaux. Selon la **théorie de la compétition entre les systèmes verbal et implicite** (Ashby et al., 1998), deux systèmes neuronaux différents permettraient l'apprentissage de catégories explicites (avec une règle verbalisable) ou implicites (avec une règle non verbalisable davantage reliée à la détection perceptive des attributs sensorimoteurs). Le système permettant l'apprentissage de catégories explicites serait composé du cortex préfrontal, du cortex médio-temporal, du cortex cingulaire antérieur et de la tête du noyau caudé (Zeithamova et Maddox, 2006). Le système de catégorisation implicite serait davantage médié par le réseau de récompense (aire tegmentale ventrale, pallidum ventral, noyau accumbens, hypothalamus latéral, et septum principalement). L'information provenant du cortex visuel serait envoyée à la queue du noyau caudé qui programmerait une réponse motrice. Une rétroaction suivrait la réponse motrice. S'il s'agit d'une rétroaction positive, car l'action faite était la bonne, de la dopamine serait émise et

renforcerait le lien entre l'item et la catégorie. L'inverse se produirait lors d'une rétroaction négative et le lien serait affaibli (Minda et Miles, 2010). La croissance des structures évoquées dans les deux réseaux ne se produisant pas au même moment, les auteurs prédisent un développement différentiel de l'apprentissage de catégories implicites et explicites. En effet, le cortex préfrontal se développe plutôt au cours de la fin de l'enfance et durant l'adolescence (Bunge et Zelazo, 2006; Casey et al., 2000), et cela serait relié au développement des fonctions exécutives, de l'attention sélective et de la mémoire de travail (Gathercole, 1999; Swanson, 1999), alors que le noyau caudé serait déjà complètement développé tôt dans l'enfance (Casey et al., 2004). Selon eux, les catégories implicites seraient donc acquises plus facilement dans l'enfance que des catégories nécessitant une règle verbale. Par ailleurs, le langage est une fonction intellectuelle complexe spécifique à l'humain et apprise plus tard dans le développement de l'enfant que les fonctions perceptives. Il est donc logique de penser que les catégories implicites seront acquises plus facilement lorsque l'enfant est jeune, puisqu'elles n'exigent pas d'aspects langagiers.

Dans un autre ordre d'idées, la PC a également été abordée en termes de développement dans une étude de Livingston et Andrews (2005). En faisant apprendre de nouvelles catégories visuelles à un groupe d'enfants de cinq ans et un groupe d'adultes, ils ont trouvé que les effets de PC après l'apprentissage étaient similaires dans les deux groupes. Cela impliquerait que la PC soit un effet direct de l'apprentissage de catégories, peu importe le type de celles-ci (soit provenant de la perception d'attributs sensorimoteurs, ou bien verbale), et donc ne serait pas soumise à un effet développemental.

1.1.6 Déficits en catégorisation

Pour comprendre quelles sont les répercussions de difficultés en catégorisation, il est possible d'utiliser l'exemple d'individus qui, tels que le personnage Funes dans la nouvelle de l'auteur Jorge Luis Borges (Borges, 1962), souffrent d'hypermnésie. Dans la nouvelle, Funes est persécuté par les détails de tout ce qu'il retient et est ainsi incapable de former des catégories, tout lui paraissant trop différent pour être assemblé. C'est une situation qui peut paraître semblable à celle de certaines personnes autistes ayant un syndrome savant relié à une mémorisation exacerbée des détails. Chez ces individus, plusieurs atypies liées à la perception, la catégorisation et l'abstraction sont aussi retrouvées en retour (Mottron et al., 2009). De façon générale, pour les personnes ayant un TSA, avec ou sans syndrome savant, il est tout de même probable de retrouver certaines formes d'atypies en perception et en catégorisation qui touchent notamment les aspects sociaux et langagiers centraux au trouble. La prochaine section traitera donc des

individus ayant un TSA, de leur fonctionnement perceptif et de la manière dont ce dernier est lié aux atypies retrouvées en catégorisation.

1.2 Catégorisation en autisme

1.2.1 Définition du TSA

Le TSA est un trouble neurodéveloppemental affectant en moyenne, en 2023, 2,3% des personnes de 1 à 24 ans au Québec (Institut national de santé publique du Québec; INSPQ, 2024). Selon le *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5e ed.; DSM-5; American Psychiatric Association; APA, 2013), pour porter un diagnostic de TSA, un individu doit manifester des difficultés dans la communication sociale et les interactions sociales, ainsi que présenter des comportements stéréotypés ou des intérêts restreints. Puisque le TSA est un trouble neurodéveloppemental, les symptômes doivent être présents depuis l'enfance et ne doivent pas être mieux expliqués par une déficience intellectuelle ou bien des délais développementaux. Les symptômes du TSA doivent également produire des conséquences significatives dans des sphères de la vie quotidienne, soit sociale ou fonctionnelle.

1.2.2 Fonctionnement perceptif en autisme

1.2.2.1 Particularités reliées à la perception en autisme

Le fonctionnement différent des personnes ayant un TSA est retrouvé dans de nombreux domaines. Bien que chaque individu ayant un TSA ait ses propres forces et faiblesses et qu'il y ait une grande diversité de profils chez cette population, certaines tendances sont retrouvées dans la littérature.

L'une des tendances les plus anciennement observées est l'attention aux détails et la préférence pour les aspects locaux (Kanner, 1943). En 1943, il avait déjà été observé que certaines personnes ayant un TSA étaient très attentives à tout changement dans leur environnement (par exemple la disposition des meubles et décorations dans une pièce) et qu'elles pouvaient être perturbées par ces changements. Dans une étude, Frith et Hermelin (1969) ont également noté que les personnes ayant un TSA étaient capables de faire des casse-têtes autant du verso que du côté montrant l'image, car leur attention était portée sur la forme des pièces plutôt que sur l'intention de former l'image globale. Un pic de capacités neuropsychologiques à certaines tâches visuospatiales est aussi retrouvé chez plusieurs individus ayant un TSA, telles que les blocs, soit une tâche de visuoconstruction demandant de reproduire des motifs géométriques à l'aide de cubes colorés (Shah et Frith, 1983, 1993) et les figures enchevêtrées, une tâche de discrimination de figures géométriques parmi un assemblage complexe de traits (Jolliffe et Baron-

Cohen, 1997). Les performances perceptives des personnes ayant un TSA semblent également surpasser celles des individus DT lors de tâches où il existe un conflit entre les aspects locaux et globaux de la tâche, comme dans une tâche de copie de dessins géométriquement impossibles (Mottron et al., 1999). Les personnes ayant un TSA auraient tendance à préférer rapporter des aspects locaux dans les tâches (de Jonge et al., 2007; Happe et Frith, 2006; Mottron et al., 2006; Mottron et Burack, 2001), mais sont capables de percevoir l'aspect global également (Koldewyn et al., 2013; Plaisted, 2001). Les aspects sensoriels différents en autisme sont si centraux qu'ils font partie des indices diagnostiques (intérêts sensoriels inhabituels) dans l'*Autism Diagnostic Observation Schedule* (ADOS; Lord et al., 1999) et l'*Autism Diagnostic Interview-Revised* (ADI-R; Lord et al., 1994), les tests diagnostiques standards en autisme.

1.2.2.2 Théories de la perception autistique

Les différences de la cognition et du cerveau autistique relativement aux DT ont été expliquées par plusieurs théories qui se sont voulues intégratives (expliquant toutes les forces et les faiblesses retrouvées en population autistique), mais qui se sont basées sur la préférence des personnes ayant un TSA pour le traitement local (Koldewyn et al., 2013). Les trois théories suivantes sont donc ce qui se rapproche le plus d'une explication des différences retrouvées en lien avec la catégorisation chez les individus ayant un TSA.

La première théorie élaborée fut celle de la **faible cohérence centrale** (Frith, 1989). Ce modèle met en évidence l'importance des difficultés à percevoir la globalité, mais également à abstraire le sens de quelque chose. Ces déficits seraient présents autant dans les processus perceptifs de bas niveau, mais également dans l'abstraction (l'habileté à réfléchir de façon abstraite sur les concepts), habileté de haut niveau (nécessitant une intégration de plusieurs fonctions cognitives). Cette théorie se voudrait intégrative et expliquerait donc ainsi les difficultés langagières et sociales (par la difficulté à percevoir les émotions sur les visages et à comprendre les interactions sociales) (Frith et Happé, 1994; Happé et Frith, 2006).

En réponse à de nouvelles données venant contredire le modèle de la faible cohérence centrale (par exemple, les individus ayant un TSA semblent capables de perception globale, même s'ils présentent une préférence pour le traitement local; Koldewyn et al., 2013; Plaisted, 2001), deux nouvelles théories intégratives du fonctionnement autistique ont vu le jour. La première est la **théorie de la généralisation réduite** de Plaisted (2001). Ce nouveau modèle soutient que, parce qu'ils ont une bonne perception des détails locaux, les individus ayant un TSA perçoivent moins les similarités entre les objets. Ils perçoivent mieux ce qui est différent entre les objets que ce qui est semblable. Cette théorie explique bien les

difficultés en catégorisation. Le fait de percevoir difficilement les ressemblances entre les objets (les attributs covariants) implique que les objets ne seront pas placés dans une même catégorie. Selon Plaisted (2001), les catégories chez les individus ayant un TSA seraient donc plus nombreuses et restreintes et les frontières seraient plus nettes, entraînant un effet de prototype réduit. De plus, l'auteure fait deux prédictions découlant de cette théorie : les individus ayant un TSA seront meilleurs que les individus DT à des tâches de discrimination difficiles (où les objets sont très semblables), mais ils rencontreront des difficultés pour des tâches de catégorisation. Puisque la PC est un effet survenant à la suite de l'apprentissage de catégories qui se répercute sur les capacités de discrimination, il est possible que l'effet de compression soit moins apparent chez les personnes ayant un TSA pour qui la discrimination est plus aisée, peu importe le niveau de difficulté, bien que l'auteure n'ait pas émis cette hypothèse directement.

La deuxième théorie faisant suite à la théorie de la faible cohérence centrale est le **modèle du surfonctionnement perceptif en autisme** (Mottron et Burack, 2001; Mottron et al., 2006). Les auteurs de ce modèle postulent que la préférence pour les attributs locaux mène à un traitement cognitif de bas niveau en perception plus efficace que chez les individus DT. Le traitement de haut niveau plus global serait possible, mais optionnel et moins automatique chez les individus ayant un TSA. De plus, les processus perceptifs de bas niveau seraient surutilisés pour remplacer plusieurs processus plus complexes. En apprentissage et en catégorisation, les individus ayant un TSA seraient ainsi moins dépendants des processus de haut niveau, l'effet descendant (*top-down*) des catégories en apprentissage serait restreint.

1.2.2.3 Corrélats corticaux de la perception en autisme

Un fonctionnement cérébral différent a également été noté en autisme. Par exemple, selon la théorie de la hiérarchie inversée en perception visuelle, des réseaux de rétroaction prospective (*feedforward*; débutant dans les zones visuelles primaires, puis se dirigeant progressivement au cortex préfrontal) permettraient la perception de l'aspect global d'une scène. Par la suite, des réseaux rétroactifs (de *feedback*) feraient le chemin inverse afin de permettre une perception plus consciente et détaillée de l'image. Un équilibre existerait, chez la majorité des individus, entre ces deux réseaux permettant une perception à la fois globale et des détails (Hochstein et Ahissar, 2002). Cet équilibre serait cependant affecté chez les personnes ayant un TSA (Wong et al., 2019). Par exemple, dans une étude d'imagerie effectuée par Samson et al. (2011), il est conclu qu'en ce qui concerne les tâches perceptives, les personnes ayant un TSA présentaient une activation accrue dans les régions occipitales et temporo-occipitales, ainsi qu'une baisse de l'activité dans les régions frontales et le gyrus fusiforme facial, par rapport aux sujets ne

présentant pas de trouble du spectre autistique. Cette différence était observable lorsque le matériel utilisé comportait ou non un contenu social (Samson et al., 2011). Ce qui appuierait l'idée d'un traitement perceptif des catégories favorisé, en remplacement d'un traitement de plus haut niveau, soit basé sur des représentations et des stratégies conscientes en lien avec les régions frontales.

Schipul et Just (2016) ont également abordé la question de l'implication des atypies cognitives en population d'individus ayant un TSA pour l'apprentissage implicite de catégories. Puisqu'il existerait une connectivité réduite entre les aires frontales et postérieures chez les individus ayant un TSA (Just et al., 2004, 2012; Schipul et al., 2011), cela pourrait sous-tendre des difficultés en apprentissage. Les auteurs ont donc demandé à des adultes ayant TSA et un groupe contrôle ne portant pas ce diagnostic d'exécuter des tâches d'apprentissage de catégories dans une machine d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Les résultats ont montré une activation dans les mêmes zones pour les deux groupes (aires occipitales, lobules pariétaux, aires frontales et le gyrus précentral bilatéral). Toutefois, c'est le changement d'activité dans le temps qui a différé entre les groupes : les individus ayant un TSA ont vu leur activation augmenter dans plusieurs zones (lobe frontal, gyrus précentral droit, gyrus supramarginal droit, lobe temporal, putamen droit, sulcus olfactif gauche), et diminuer dans l'amygdale gauche. L'activité générale a diminué chez les individus DT, pour leur part, dans plusieurs zones (thalamus et hippocampe droit, gyrus postcentral, lobules pariétaux, gyrus temporal inférieur droit, ainsi que dans les lobes frontaux et occipitaux) et a augmenté dans quelques-unes seulement (le gyrus occipital médian droit, le précunéus, et le gyrus frontal médian droit). Selon les auteurs, ces résultats indiqueraient que l'activité cérébrale chez les individus DT tendrait à se modifier avec le temps pendant une tâche, lorsque celle-ci devient davantage automatisée et acquise, nécessitant moins de ressources cognitives, alors que ce serait moins le cas chez les personnes ayant un TSA. Le degré d'atypie des patrons d'activité des zones corticales serait toutefois médié par la sévérité des symptômes autistiques (évaluée par les scores à l'ADOS). Les individus ayant un TSA avec une symptomatologie plus sévère auraient une activation plus atypiques (et une moins bonne performance à la tâche) que les individus ayant un TSA ayant moins de symptômes. Il est à noter que pour la tâche de cette étude, les individus ayant un TSA avaient appris les catégories plus lentement que les individus DT, mais que le taux de réussite final était semblable dans les deux groupes.

Par ailleurs, il a également été démontré que les atypies dans l'activité et la structure du cerveau des personnes ayant un TSA seraient reliées à l'âge chronologique, avec des particularités différentes chez les enfants, les adolescents et les adultes (Wang et al., 2024).

Récemment, l'équipe de Warren et al. (2025) ont étudié l'activité cérébrale d'adultes tout-venant effectuant une tâche de catégorisation. Les participants, bien que ne présentant aucun diagnostic, avaient au préalable été classés en deux groupes selon leurs résultats à un questionnaire mesurant l'intensité de traits relatifs au TSA (un groupe ayant une grande intensité de traits autistiques et un groupe en ayant très peu). Les résultats obtenus soutiennent les constats des études présentées précédemment en montrant, notamment, un moins grand appui des régions frontales chez les sujets ayant davantage de traits relatifs au TSA associé à des difficultés à la tâche de catégorisation (particulièrement une trop grande sélectivité en ce qui a trait aux membres de la catégorie). Bien qu'il ne s'agisse pas d'une étude menée auprès de personnes ayant reçu un diagnostic de TSA, il est intéressant de noter que, même dans une population générale, la présence de traits indiquant un fonctionnement cognitif similaire à celui observé chez les personnes présentant un TSA peut entraîner des comportements caractéristiques, comme en témoigne l'activité cérébrale.

1.2.3 Études d'apprentissage de catégories visuelles en autisme

Les études sur la catégorisation en autisme en sont encore à leurs débuts. Depuis le début du siècle, seulement vingt et une études, recensées par l'auteure, ont porté sur l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles en autisme. Parmi celles-ci, la vaste majorité (quinze) aborde la catégorisation en étudiant la formation de prototypes (Bott et al., 2006; Church et al., 2010,2015; Froehlich et al., 2012; Gastgeb et al., 2009, 2011, 2012; Klinger et al., 2007; Klinger et Dawson, 2001; Mercado et al., 2015, Molesworth et al., 2005,2008; Schipul et Just, 2016; Vladusich et al., 2010; Warren et al., 2025), deux études portent sur les catégories probabilistes (Brown et al., 2010; Nader et al., 2022), une porte sur la PC (Soulières et al., 2007), dans une autre, les auteurs ne se prononcent pas sur la théorie de catégorisation utilisée (Carmo et al., 2017) et finalement, deux études seulement utilisent la théorie classique de la catégorisation (Sapey-Triomphe et al., 2018; Soulières et al., 2011). D'autres études ont également paru durant cette période concernant la catégorisation en autisme dans une définition plus large, soit avec des méthodes incluant diverses tâches impliquant la catégorisation dans d'autres contextes que l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles, dont certains auteurs ont fait des recensions récentes (Mercado et al, 2020; Patry et Horn, 2019; Vanpaemel et Bayer, 2021; Wimmer et al, 2024).

Tableau 1.1 Études portant sur l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles en autisme depuis l'année 2000

Étude	Théorie de la catégorisation	Stimuli	Nombre d'exemplaires	Population
Klinger et Dawson, 2001	Prototypes	Animaux avec attributs variant sur un continuum	8	Enfants, adolescents et jeunes adultes (5-21 ans)
Molesworth et al., 2005	Prototypes	Monstres et insectes avec attributs variant sur un continuum	16 (entraînement) 32 (phase de test)	Enfants (8-14 ans)
Bott et al., 2006	Prototypes	Rectangles (continuum/morphing)	10 (entraînement) 6 (phase de test)	Adultes
Klinger et al., 2007	Prototypes	Séquences de formes régies par une grammaire artificielle	15 séquences	Enfants
Soulières et al., 2007	PC	Ovales (continuum/morphing)	10	Enfants et adultes (11-29 ans)
Molesworth et al., 2008	Prototypes	6 catégories d'animaux avec 6 attributs variant selon un continuum	48 (8 par catégorie)	Enfants et adolescents (9-15 ans)
Gastgeb et al., 2009	Prototypes	Visages avec 5 attributs dont 3 varient selon un continuum	14 + 3 prototypes	Enfants et adultes (8-53 ans)
Brown et al., 2010	Catégories probabilistes	Mr. Patates avec une possibilité de 4 attributs binaires (présents ou absents)	14	Enfants et adolescents (8-14 ans)
Church et al., 2010	Prototypes	Formes géométriques distordues basées sur un prototype (air de famille)	30 (entraînement) 60 (phase de test)	Enfants (7-12 ans)
Vladusich et al., 2010	Prototypes	Regroupement de points basés sur un prototype	128	Adultes et adolescents (15-27 ans)
Gastgeb et al., 2011	Prototypes	Six ensembles de visages basés sur un prototype	120 (20 par catégorie)	Adultes (17-39 ans)
Soulières et al., 2011	Classique	Animaux composés de 5 attributs binaires	16	Enfants et adultes (11-29 ans)
Froehlich et al., 2012	Prototypes	Regroupement de points basés sur un prototype	45	Adultes (21-31 ans)
Gastgeb et al., 2012	Prototypes	Regroupement de points basés sur un prototype	121	Adultes (17-42 ans)
Church et al., 2015	Prototypes	Formes géométriques distordues basées sur un prototype (air de famille)	40 membres et 90 non-membres	Enfants (7-12)
Mercado et al., 2015	Prototypes	Formes géométriques distordues basées sur un prototype (air de famille)	30 (entraînement) 60 (phase de test)	Enfants (7-13 ans)
Schipul et Just, 2016	Prototypes	Regroupement de points basés sur un prototype	30	Adultes (16-42 ans)
Carmo et al., 2017	Non identifiée	Regroupements de points (dans une tâche same-different catégorielle)	26	Adultes

Sapey-Triomphe et al., 2018	Classique	Figures abstraites (basées sur 9 points au hasard sur une ellipse reliés ensemble) catégorisables selon l'orientation (continuum)	520 (en 5 catégories)	Adultes (23-43 ans)
Nader et al., 2022	Catégories probabilistes	M. Patates avec une possibilité de 4 attributs binaires (présents ou absents)	14	Enfants (6-14 ans)
Warren et al., 2025	Prototypes	Regroupement de points basés sur un prototype	41	Adultes neurotypiques avec ou sans traits associés au TSA (19-34 ans)

1.2.3.1 Études sur les prototypes

Généralement, les auteurs des études portant sur les prototypes produisent un certain nombre de stimuli visuels dérivés d'un prototype pour chaque catégorie. L'appartenance à la catégorie est donc déterminée par un certain degré de ressemblance avec le prototype de base, plutôt qu'à une règle verbalisant les attributs qui distinguent les membres des non-membres. Certaines études ont comparé ainsi la facilité à catégoriser des items plus près ou plus éloignés du prototype, indiquant un effet de prototype en catégorisation.

Dans l'une des études sur les prototypes, celle de Bott et al. (2006), ce sont plutôt des stimuli sous forme de continuum bidimensionnel (rectangles avec un continuum de longueur et largeur) qui sont utilisés. Bott et al. ont trouvé, en comparant des adultes ayant un TSA à un groupe contrôle DT, que les individus ayant un TSA ont tendance à utiliser moins de dimensions pour catégoriser que les individus DT, ce qui diminuerait leurs performances et augmenterait le temps nécessaire à l'apprentissage de catégories. Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence, puisque la tâche d'apprentissage utilisée comportait une grande part de mémorisation et que la règle de catégorisation ne comportait que deux dimensions, menant possiblement la tâche à une tâche de jugement de similarité si toutes les dimensions ne sont pas utilisées. Les auteurs utilisaient également un item « d'exception » qui devait être obligatoirement mémorisé, car il ne correspondait pas à la règle générale de la catégorie. Il est donc difficile, à partir de cette étude, de déterminer si cette tendance est aussi retrouvée dans un contexte de catégorisation véritable, et quelles en seraient les répercussions.

Plus récemment, dans les dernières années, une suite d'études d'un groupe de recherche (Church et al, 2010, 2015; Mercado et al., 2015) ont établi deux profils d'apprentissage de catégories chez les individus ayant un TSA en utilisant une tâche A/Non A, c'est-à-dire une tâche de catégorisation avec des membres d'une catégorie et des non-membres de la catégorie. Les membres de la catégorie étaient des formes avec

une certaine distorsion à partir d'un prototype (forme abstraite à partir de 9 points au hasard dans l'espace, reliés entre eux et colorée de différentes couleurs), alors que les non-membres étaient également des formes abstraites du même type, mais avaient été jugées comme suffisamment différentes (par un panel de juges) pour ne pas appartenir à la catégorie. Dans la première étude de ce groupe (Church et al., 2010), ils ont comparé vingt enfants ayant un TSA à vingt enfants contrôles (7-12 ans) appariés sur le sexe, l'âge et le QI. Ils ont évalué la tendance à « endosser » les stimuli présentés comme membre d'une catégorie en fonction de la distance avec le prototype réel. Les enfants ayant un TSA avaient moins tendance à endosser les stimuli comme faisant partie de la catégorie que le groupe contrôle pour les membres (surtout pour le prototype et les membres près du prototype) et plus que le groupe contrôle pour les non-membres. Cela indique une capacité généralement moins bonne à catégoriser et un effet de prototype réduit, mais dans un contexte où l'appartenance à la catégorie était déterminée par le jugement subjectif des chercheurs de l'étude.

Dans une seconde étude (Church et al., 2015), trente-six enfants ayant un TSA ont participé à une tâche semblable à la première, mais, à la suite d'une prédiction d'un réseau de neurones d'une étude précédente (Dovgopoly et Mercado, 2013), deux types d'entraînement à la catégorisation ont été testés. Un premier consistait à catégoriser seulement des prototypes et des non-membres de la catégorie et un deuxième semblable à celui de l'étude précédente avec des versions distordues du prototype et des non-membres de la catégorie. Tous les enfants ont fait les deux types d'entraînement. Le réseau avait également proposé un modèle de deux types d'enfants ayant un TSA : un type A1, qui endosserait les catégories de façon semblable aux DT et un type A2, qui aurait un patron d'endossement semblable à celui retrouvé par le groupe d'enfants ayant un TSA dans l'étude de Church et al. (2010). Dans la présente étude, ils ont donc classé les enfants en type A1 ou bien A2 selon le patron d'endossement à la phase d'entraînement de la condition distorsion. Les résultats montrent que les enfants de type A2 (endoscent de façon typique aux TSA) ont un patron d'endossement normalisé à la phase de test avec un entraînement de type prototypique, alors que les enfants de type A1 catégorisent moins bien avec un type d'entraînement prototypique qu'avec les distorsions.

Une troisième étude à ce jour (Mercado et al., 2015) a répliqué la méthode en utilisant cette fois quatre conditions d'apprentissage des catégories avec treize enfants ayant un TSA et treize enfants d'un groupe contrôle. Encore une fois, les enfants ayant un TSA ont moins bien performé de façon générale aux tâches de catégorisation. Les auteurs ont réutilisé les groupements en type A1 et A2 et ont découvert qu'un même

enfant TSA pouvait être classé comme A1 pour un type d'entraînement et changer à A2 pour un autre et vice-versa. Cette instabilité (non systématique) compromettrait donc l'utilisation de ce type de taxonomie pour qualifier l'apprentissage des enfants ayant un TSA et indiquerait une hétérogénéité en population autistique concernant les processus d'apprentissage des catégories qui pourraient entraver les tentatives de systématisation. Il est également à noter que les études basées sur les prototypes ne permettent pas d'évaluer les véritables capacités de catégorisation, car elles prennent la forme de tâches de jugement de similarité plutôt que de tâches comportant une appartenance à des catégories objectives (basées sur des règles, qu'elles soient implicites ou explicites).

Finalement, l'équipe de Warren et al. (2025) a étudié l'impact des traits autistiques (mesurés à l'aide d'un questionnaire) sur les performances à une tâche de catégorisation et de formation de prototypes. Ce sont 61 sujets adultes entre 19 et 34 ans qui ont participé en effectuant une tâche de catégorisation de formes géométriques basées sur un assemblage de points. Dans cette étude, les adultes démontrant davantage de traits autistiques ont présenté davantage de difficultés à identifier des images comme membres de la catégorie lorsque comparés aux participants ayant démontré moins de traits autistiques. Cela rejoint les théories expliquant la formation de catégories plus restreintes chez les personnes autistes.

1.2.3.2 Perception catégorielle

Une seule étude existante à ce jour, à la connaissance de l'auteure, traite de la PC de nouvelles catégories visuelles en autisme (les études traitant de catégories impliquant un phénomène partiellement inné comme les couleurs ou les expressions faciales ont été écartées de cette recension), soit du phénomène de changement perceptif suivant l'apprentissage de catégories (Soulières et al., 2007). La PC, pour les auteurs, était un moyen de vérifier l'influence des processus perceptifs de haut et bas niveau chez les individus ayant un TSA. Dix stimuli visuels, des ovales variant sur une dimension unique (la largeur), ont été utilisés. Les participants (seize enfants et adultes ayant TSA entre 11 et 29 ans et un groupe contrôle apparié) devaient catégoriser les ellipses comme semblables à la plus large ou la plus mince ellipse, les deux modèles (les extrêmes du continuum) ayant été montrés au début de la tâche. Une tâche *same-different* a également été effectuée par les participants avant la catégorisation. Les participants devaient alors comparer deux ellipses et indiquer si elles leur semblaient identiques ou non. Les résultats montrent que le patron de catégorisation comme mince ou large selon les stimuli n'était pas différent chez les individus ayant un TSA ou le groupe contrôle. Les analyses de PC montraient une plus grande discrimination près de la frontière des catégories pour le groupe contrôle, mais pas pour les individus ayant

un TSA. Toutefois, les auteurs n'ont pas analysé les effets de l'apprentissage des catégories sur la PC, car les résultats à la tâche de discrimination ont été obtenus seulement avant la tâche de catégorisation. Les effets indiquent donc seulement une prédisposition à la discrimination des ellipses près de la frontière qu'auraient les individus DT. Pour observer l'effet de l'apprentissage de catégories sur la discrimination des stimuli, il faudrait comparer la discrimination des stimuli avant et après l'apprentissage, ainsi qu'utiliser des stimuli présentant des attributs binaires, et non distribués sur un continuum (afin d'éviter que la tâche n'en devienne une de discrimination ou d'association plutôt que de catégorisation).

1.2.3.3 Catégories probabilistes

L'étude des catégories probabilistes par les chercheurs est une tentative de réponse à la critique que les catégories déterministes, c'est-à-dire basées sur des règles objectives binaires, engendreraient un style d'apprentissage plus explicite qu'implicite. Le style d'apprentissage plus explicite étant facilité en autisme (Klinger et al., 2001), il serait plus pertinent alors de trouver une façon d'étudier l'apprentissage implicite en catégorisation qui serait plus difficile pour cette population (Brown et al., 2010).

Brown et al. (2010) ont créé des stimuli probabilistes, c'est-à-dire des stimuli qui ont une certaine probabilité de faire partie d'une catégorie. Les quatorze stimuli étaient sous la forme de M. Patates ayant quatre attributs binaires (présents ou absents) : chapeau, moustache, noeud papillon, lunettes. Les participants à cette étude étaient vingt-six enfants ayant un TSA de huit à quatorze ans et un groupe contrôle apparié pour l'âge et le QI. La tâche d'apprentissage des catégories était une tâche d'apprentissage supervisé avec une rétroaction (correct/incorrect) durant 214 essais. Lors de cette tâche, la rétroaction était donnée en fonction de la probabilité de faire partie de la catégorie. Ensuite venait une phase de test sans rétroaction de 70 essais (chaque stimulus était présenté 5 fois). Les réponses étaient considérées comme correctes si la probabilité de l'item de faire partie de la catégorie était supérieure à 50%. Les résultats montrent que les deux groupes ont appris au-delà du niveau de la chance (50%) pour la moyenne des stimuli et la différence entre les groupes (3,79%) n'était pas significative. Les auteurs soutiennent que ces résultats indiquent que l'apprentissage implicite de catégories est intact chez les enfants ayant un TSA.

Récemment, Nader et al. (2022) se sont penchés sur le contexte d'apprentissage pour les catégories probabilistes chez les enfants ayant un TSA en comparaison avec un groupe contrôle d'enfants DT (6-14 ans). Quatre situations d'apprentissage ont été testées : une situation d'apprentissage avec rétroaction

faible, une situation avec rétroaction forte, une situation sans rétroaction avec présentation individuelle d'information et une situation sans rétroaction avec présentation simultanée d'information. Les stimuli utilisés étaient adaptés de ceux de Brown et al. (2010). Les résultats montrent que les enfants ayant un TSA performent moins bien que les individus DT dans une situation d'apprentissage avec de fortes rétroactions (vidéos et sons), alors qu'ils tirent davantage profit d'un apprentissage avec présentation simultanée d'information.

Dans la réalité, les catégories probabilistes n'existent pas vraiment. Un objet peut faire partie de plusieurs catégories, mais son appartenance à une catégorie ne variera pas dans le temps selon une probabilité entre deux catégories, sinon ce type de phénomène ne serait pas catégorique. En conséquence, il est donc important d'étudier l'apprentissage implicite des catégories (non-verbalisables), mais les résultats à l'apprentissage de catégories probabilistes ne sont pas généralisables au monde réel et ainsi ne constituent pas la meilleure alternative. C'est pourquoi le laboratoire auquel appartient l'auteure a élaboré une méthode permettant un apprentissage implicite avec des catégories dichotomiques non verbalisables (voir la section méthodes de recherche en catégorisation; Perez-Gay et al., 2017).

1.2.3.4 Catégories basées sur des règles

À ce jour, deux études seulement ont porté sur l'apprentissage de catégories visuelles chez les individus ayant un TSA selon la théorie classique en catégorisation. En 2011, l'équipe de Soulières et al. a utilisé des animaux dessinés avec des attributs binaires afin d'étudier la catégorisation chez un groupe de seize enfants et adultes ayant un TSA et un groupe contrôle apparié. Le nombre d'attributs présents déterminait l'appartenance à la catégorie : deux ou trois et l'animal faisait partie de la première catégorie, autrement, l'animal faisait partie de la deuxième catégorie. Les résultats indiquent un apprentissage plus lent des catégories pour le groupe d'enfants ayant un TSA qui serait expliqué par une latence à élaborer une stratégie de catégorisation en comparaison avec le groupe contrôle. Toutefois, au terme de l'expérience, les deux groupes étaient équivalents dans leur niveau d'acquisition des catégories, indiquant une capacité des personnes ayant un TSA à apprendre de nouvelles catégories, s'ils ont davantage de temps.

Plus récemment, Sapey-Triomphe et al (2018) ont tenté de déterminer si les personnes ayant un TSA utilisaient préféablement une méthode de mémorisation des exemplaires de catégories plutôt qu'une méthode de catégorisation selon des attributs permettant une généralisation. Un groupe de vingt adultes ayant un TSA et un groupe contrôle de vingt adultes DT ont participé à l'étude. Trois tâches principales ont

été administrées : une tâche avec une stratégie optimale de catégorisation (l'appartenance des 64 formes géométriques présentées à une catégorie était associée à l'orientation de l'image, soit horizontale ou verticale), une tâche avec une stratégie optimale de mémorisation (les formes géométriques présentées étaient associées aléatoirement à une catégorie et une mémorisation devait être faite, les 8 formes étaient présentées 8 fois chacune) et une tâche mixte où les deux stratégies devaient être employées (la moitié des images présentées devaient être catégorisées selon l'orientation et pour l'autre moitié, l'appartenance à la catégorie devait être mémorisée). Les résultats indiquent que le groupe d'enfants ayant un TSA a moins bien performé à la tâche de catégorisation : ils ont appris les catégories significativement moins rapidement et ont bien catégorisé un moins grand nombre d'éléments que le groupe d'enfants DT. Néanmoins, à la tâche de mémorisation, les deux groupes ont performé de façon semblable. À la tâche mixte, les résultats ont été répétés avec une meilleure performance du groupe contrôle pour les items où la catégorisation était la meilleure stratégie, mais une performance semblable pour les items qui devaient être mémorisés. Il est toutefois à noter que la tâche de mémorisation était très difficile et seule une petite fraction des deux groupes ont performé au-delà du niveau de la chance. Il n'est donc ainsi possible que d'observer de moins bonnes performances en catégorisation chez les adultes ayant un TSA dans cette étude, et non une préférence pour les stratégies de mémorisation.

1.2.3.5 Critique et limites des études actuelles

Bien que les connaissances sur la catégorisation en autisme aient avancé avec ces études, des faiblesses méthodologiques et théoriques sont présentes, créant des lacunes dans l'état actuel de la littérature. Premièrement, très peu d'études ont utilisé des stimuli basés sur des règles en fonction d'attributs afin d'étudier la catégorisation chez les individus ayant un TSA, la grande majorité des études portant sur les prototypes. Les raisons généralement évoquées par les auteurs sont les résultats obtenus par Klinger et Dawson (2001) indiquant une réussite semblable aux DT pour des catégories à base de règles binaires, mais une plus grande difficulté pour des catégories prototypiques. Toutefois, la tâche utilisée pour tester l'apprentissage à la tâche de catégorisation à base de règles ne consistait que de trois présentations de paires de stimuli, ce qui n'est pas assez pour voir des différences réelles dans la profondeur de l'apprentissage des catégories. De plus, à la suite de cette étude, plusieurs auteurs ont confondu les catégories basées sur des règles et les catégories explicites, alors qu'il existe des catégories basées sur des règles qui sont non-verbalisables, telles les catégories basées sur la perception des attributs sensorimoteurs.

Une deuxième critique principale des études à ce jour est qu'elles ne présentent pas assez de stimuli pour éviter de possibles stratégies de mémorisation, plutôt qu'une réelle catégorisation. Pour étudier la catégorisation, il est avantageux d'utiliser des catégories pouvant théoriquement produire un nombre infini de stimuli. Dans un tel cas, la généralisation est assurée à même la tâche d'apprentissage, où il est possible de présenter un grand nombre de stimuli sans aucune répétition, tout en garantissant que la réussite provienne de stratégies de catégorisation (en fonction de la règle basée sur les attributs) plutôt que de la mémorisation de chacun des exemplaires.

Troisièmement, beaucoup d'études utilisent des stimuli basés sur des continuums afin d'observer la catégorisation. Les continuums peuvent être intéressants à étudier, mais ils sont généralement traités comme unidimensionnels, c'est-à-dire que le continuum n'est présent que sur un seul attribut en fonction d'un seuil qui divise le continuum en deux catégories. C'est un sujet intéressant en laboratoire, mais cela se généralise très mal à la vie quotidienne où les catégories comportent plusieurs attributs à traiter simultanément. Les catégories sur un continuum se trouvent généralement à chaque extrémité du continuum et se rejoignent au milieu. La tâche devient alors une tâche de jugement de jugement de similarité plutôt qu'une tâche de catégorisation (est-ce que le stimulus ressemble plus à cette extrémité du continuum ou bien à celle-là?).

Il y a également une grande hétérogénéité dans les études en catégorisation en ce qui a trait aux stimuli, aux paradigmes, et aux tâches utilisées. Il en devient extrêmement difficile de généraliser les résultats et de constater de façon claire si des difficultés sont effectivement présentes en catégorisation chez les personnes ayant un TSA.

Finalement, une importante lacune est présente en ce qui a trait à la PC visuelle en autisme. Il n'y a qu'une seule étude (Soulières et al., 2007) qui a abordé ce phénomène pour une population TSA, trouvant une moins grande discrimination près des frontières entre les catégories que le groupe d'enfants DT, mais d'une façon ne permettant pas une comparaison des capacités de discrimination avant et après l'apprentissage, car la tâche de discrimination a seulement été administrée avant l'apprentissage, et la question mériterait un traitement plus approfondi.

1.3 Méthodes de recherche en catégorisation

En lien avec ces critiques sur les études dans le domaine de la catégorisation, le laboratoire cognition/communication de l'UQAM a établi une méthode permettant de tester l'apprentissage de nouvelles catégories et la PC en comblant certaines des failles théoriques et méthodologiques des études citées précédemment. Jusqu'à présent, cette méthode a été testée chez des adultes DT avec des textures visuelles (Perez-Gay et al., 2017;2018), des images construites de poissons (Perez-Gay et al., 2018), des chants d'oiseaux et des sons complexes fabriqués à partir de composantes intercorrélées.

Les catégories utilisées dans ces études sont dichotomiques et mutuellement exclusives. Elles sont régies par une règle (explicite ou implicite) basée sur des attributs également dichotomiques et conjonctifs. Plusieurs centaines de stimuli différents sont utilisés pour la phase d'apprentissage, évitant ainsi la répétition d'items et la possibilité de mémorisation des items. Les participants doivent donc apprendre les attributs et les règles régissant les catégories pour performer. La mémorisation n'étant pas le processus étudié, il est important de prévenir que les catégories puissent être apprises de la sorte. La tâche de catégorisation est sous forme d'apprentissage supervisé par une série d'essais et erreurs avec correction par renforcement. Un stimulus est présenté au participant qui doit choisir une catégorie. Une rétroaction affichée à l'écran (correct ou incorrect) lui est ensuite donnée sur son choix.

La PC est mesurée en comparant les résultats à des tâches de discrimination (ABX) ou de jugement de similarité qui sont effectuées par les participants avant et après la tâche d'apprentissage de catégories. La comparaison du niveau de discrimination des paires de stimuli intracatégorielles ou intercatégorielles avant et après l'apprentissage permet d'obtenir un indice des effets de séparation et compression.

Perez-Gay et al. (2017) se sont aussi penchés sur les corrélats physiologiques associés avec les effets de PC. Dans cette étude, des participants apprenaient des catégories de textures visuelles, leur activité cérébrale étant mesurée par EEG. Si une majorité de participants ont réussi à apprendre les catégories, certains n'ont toutefois pas réussi. Une analyse des potentiels évoqués a été réalisée afin de comparer l'activité cérébrale des apprenants à celle des non-apprenants. Des changements synchronisés avec le stimulus visuel dans les composantes du potentiel évoqué (« Event-Related Potential (ERP) ») des apprenants sont corrélés avec l'effet de séparation obtenu après la catégorisation. Ces résultats indiquent que l'apprentissage de catégories provoque un changement concret dans l'activité cérébrale et que le fait d'apprendre des catégories a un impact sur la perception subséquente de l'environnement. Les résultats

ont été répétés dans une deuxième étude traitant de stimuli à attributs locaux dont la règle était explicite (Perez-Gay et al., 2018). Cette répétition des résultats confirmait les effets de PC, autant pour les catégories implicites que pour les catégories explicites.

Plusieurs types de stimuli peuvent se retrouver dans l'environnement et ont été utilisés dans les études du laboratoire. Ceux-ci peuvent être classifiés selon la capacité du sujet à verbaliser la règle ou non, ainsi que la façon dont les attributs peuvent être repérés sur l'image (l'aspect local ou global de l'attribut). Un attribut local peut ainsi être circonscrit dans une partie du stimulus utilisé, alors qu'un attribut global (ou distribué) est diffus et réparti dans la forme générale du stimulus. Il ne peut être délimité. Deux des quatre types de stimuli possibles sont utilisés dans la présente étude, soit des stimuli comportant des attributs locaux et verbalisables, et des stimuli composés d'attributs globaux et non-verbalisables, afin de comparer les performances des enfants DT et ayant un TSA concernant l'apprentissage de ces types de catégories et de le relier à leur fonctionnement perceptif et cognitif.

1.4 Questions et hypothèses de recherche

À la vue des études précédentes sur le sujet de la catégorisation en autisme, le projet portait ainsi sur l'apprentissage de catégories visuelles chez les enfants DT et ayant un TSA, en adaptant une méthode utilisée précédemment chez les adultes DT (Perez-Gay et al., 2017,2018) avec des catégories basées sur des règles (en fonction de multiples attributs). L'objectif principal était ainsi d'effectuer une comparaison descriptive du développement de l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles chez des enfants DT et ayant un TSA d'âge primaire. Pour ce faire, le projet s'est décliné en plusieurs questions de recherche qui suivent.

1.4.1 Catégorisation et Développement

La question de recherche suivante visait à mieux comprendre le développement des capacités à apprendre de nouvelles catégories : **la capacité d'apprentissage de nouvelles catégories visuelles est-elle une capacité immuable dans le développement ou bien y a-t-il une amélioration de cette capacité en fonction de l'âge?**

L'amélioration de la capacité de catégorisation avec l'âge serait expliquée par un effet développemental de cette capacité et par la maturation cognitive, la maturation de certaines fonctions cognitives, comme les fonctions exécutives, l'attention et la mémoire de travail pouvant avoir un lien avec le développement de

la catégorisation. De plus, la maturation du cerveau pourrait rendre plus efficaces les connexions permettant l'apprentissage (Galván, 2010). Cette issue était cohérente avec la littérature sur le sujet (Deng et Sloutsky, 2016; Owen et Barnes, 2021) et c'est ce qui s'est effectivement passé chez les enfants ayant un TSA de cette étude et pour les catégories à attributs locaux chez les enfants DT.

La stabilité de la capacité de catégorisation serait en lien avec le développement qui se produirait chez des enfants plus jeunes que l'échantillon de cette étude (le développement de cette capacité pourrait déjà avoir été achevé à l'âge de 8 ans) en raison de la nature de la tâche effectuée. En effet, certaines études ont retrouvé des tendances développementales dès l'âge préscolaire, suggérant une précocité du développement pour l'apprentissage de nouvelles catégories (Owen et Barnes, 2021).

Les effets développementaux auraient également pu être retrouvés seulement pour l'un des deux groupes ou pour l'un des deux types de stimuli utilisés (l'un basé sur l'analyse de détails locaux et l'autre basé sur une perception globale de l'image), et c'est ce qui s'est passé. Des résultats distincts entre les deux groupes d'enfants, ceux ayant un TSA et ceux DT, laissent croire qu'un développement différent se produit en ce qui a trait aux compétences d'apprentissage des catégories et de celles qui leur sont associées, comme le suggèrent Newell et ses collaborateurs. (2011), d'où la question de recherche suivante : **y a-t-il des différences dans la façon dont la capacité de catégorisation change selon l'âge chez les enfants ayant un TSA et les enfants DT ?** Cette question de recherche demeure plus exploratoire chez les individus ayant un TSA. Une seule étude répertoriée avait abordé la question d'un point de vue développemental. Gastgeb et al. (2006) avaient, en effet, observé un effet de développement semblable chez les enfants DT et ceux ayant un TSA entre neuf et seize ans dans une tâche de vérification de catégories où les participants devaient associer un item à une catégorie, le temps de réaction étant analysé. Puisque ce n'est pas l'apprentissage de catégories qui était étudié directement, il était difficile de prévoir si le développement serait semblable pour les tâches de la présente étude, mais il était possible de présumer que les deux capacités seraient reliées.

1.4.2 Facteurs impliqués dans les capacités d'apprentissage de catégories

De façon exploratoire, cette étude visait à découvrir les aptitudes pouvant prédisposer les enfants DT et ayant un TSA à de meilleures facultés d'apprentissage des catégories. Les facteurs étudiés étaient les suivants : l'intelligence (quotient intellectuel), la mémoire de travail spatiale, la flexibilité cognitive, l'abstraction, l'attention visuelle et le raisonnement visuospatial. Toutes ces fonctions avaient été

précédemment reliées à la catégorisation (Sloutsky, 2010; Sloutsky et al., 2015). Il était toutefois intéressant de comparer les résultats aux tâches évaluant ces fonctions et les performances dans l'apprentissage des catégories à attributs distribués ou locaux. Une autre question concernait la différence entre les deux groupes : **les aptitudes favorisant la catégorisation pour les deux groupes expérimentaux (DT ou TSA) sont-elles les mêmes ?** Cette question demeurait hautement exploratoire, n'ayant pas été traitée précédemment dans un contexte d'apprentissage de catégories.

1.4.3 Comparaison de la catégorisation chez les enfants ayant un TSA et les enfants DT

En plus du développement, un autre objectif du projet était de vérifier les différences dans l'apprentissage des catégories entre les deux groupes. La question de recherche était donc la suivante : **les enfants ayant un TSA ont-ils une capacité à apprendre de nouvelles catégories qui diffère de celle des enfants DT?**

Il était conforme avec la majorité des études précédentes de catégorisation chez les individus ayant un TSA, qu'ils performent moins bien que les enfants DT, soit pour la vitesse d'apprentissage (Bott et al., 2006; Carmo et al., 2017) ou bien l'acuité (Mercado et al., 2015), ou encore les deux (Schipul et Just, 2016). Cela serait alors dû à une trop grande perception des différences entre les objets, les détails, qui ralentirait la catégorisation des objets dans une même catégorie (Plaisted, 2001). L'absence de différence entre les groupes dans les résultats, pour sa part, était compatible avec les résultats obtenus par Brown et al. (2010), Klinger et Dawson (2001), Molesworth, et al. (2008) et Soulières et al.(2007). Alors que la théorie du surfonctionnement perceptif en autisme (Mottron et Burack, 2001; Mottron et al., 2006) aurait expliqué une meilleure performance des enfants ayant un TSA en comparaison avec les enfants DT aux tâches de catégorisation visuelles qui sont fortement reliées avec la perception.

D'après la littérature sur le sujet de la catégorisation en autisme, il était très probable que des différences soient retrouvées dans l'apprentissage des catégories chez les individus ayant un TSA en comparaison des enfants DT. Il était aussi possible que des différences entre les deux groupes soient retrouvées dans l'apprentissage des deux types de catégories (l'une plus globale et l'autre davantage basée sur l'analyse de détails), ce qui fut effectivement le cas (voir chapitre 3 : résultats). Selon les études précédentes du laboratoire effectuées sur des adultes DT (Perez-Gay et al., 2017), l'issue la plus probable aurait été que les stimuli à attributs locaux (basés sur l'analyse de détails) et verbalisables soient plus faciles à catégoriser que les attributs distribués et non-verbalisables (basés sur une analyse holistique de l'image) pour les enfants des deux groupes, ce qui ne fut finalement pas le cas dans la présente étude (voir chapitre 3). La

question de recherche était ainsi : **est-ce que les enfants ayant un TSA et DT ont un fonctionnement perceptif différent en lien avec la catégorisation de stimuli visuels?**

Trois issues à cette question étaient possibles. 1) Un fonctionnement semblable chez les individus ayant un TSA et les individus DT qu'indiquerait une absence d'effet d'interaction groupe/type de stimuli 2) les enfants DT auraient pu présenter un meilleur fonctionnement avec les attributs locaux et les enfants ayant un TSA avec les attributs globaux 3) et finalement les enfants DT auraient pu présenter un meilleur fonctionnement avec les attributs globaux et les enfants ayant un TSA avec les attributs locaux. De ces issues, deux sont survenues. En effet, les enfants ayant un TSA ont obtenu des résultats semblables à ceux des enfants DT pour la catégorisation avec des attributs locaux, alors que les enfants DT ont obtenu, de façon générale, de meilleures performances que les enfants ayant un TSA pour les catégories comportant des attributs distribués. Les théories de préséance locale dans la perception visuelle des individus ayant TSA, précisant un meilleur fonctionnement local que global chez ces derniers, et l'inverse chez les individus DT peuvent expliquer de tels résultats, soit des performances semblables avec les attributs locaux entre les deux groupes, et moindres chez les enfants ayant un TSA, avec les attributs distribués (de Jonge et al., 2007; Happe et Frith, 2006; Mottron et Burack, 2001; Mottron et al., 2006).

1.4.4 Perception catégorielle

La PC avait peu été étudiée chez une population de personnes portant un diagnostic de TSA. Seule l'étude de Soulières et al. (2007) s'était penchée sur la question en contexte de catégories visuelles, mais l'étude portait en fait davantage sur les capacités de discrimination que de catégorisation et aucune comparaison n'était effectuée avant et après la tâche d'apprentissage de catégories. Il demeurait donc à savoir : **le phénomène de PC est-il inhérent à l'apprentissage de catégories, ou bien le fonctionnement perceptif distinct des personnes ayant un TSA pourrait-il entraîner une expression différente de ce phénomène?**

Deux options étaient ainsi possibles : 1) une expression de la PC semblable chez les enfants portant un diagnostic de TSA et chez les enfants DT ou 2) des différences dans la manifestation de la PC pour les deux groupes. L'expression semblable de la PC pour les deux groupes, retrouvée dans cette étude, s'explique en considérant que la PC est la manifestation directe de l'apprentissage de catégorie et demeure une résultante de celle-ci, peu importe la façon dont elles ont été apprises. C'est la conclusion à laquelle arrive Perez-Gay et al. (2017). Dans leur article, les auteurs comparent l'apprentissage humain et de réseaux neuronaux afin d'expliquer l'origine de la PC. Les conclusions sont liées au concept de réduction de la

dimensionnalité. Un filtre perceptif serait créé afin que l'attention de l'apprenant soit dirigée vers les attributs pertinents à la catégorisation, et ce, autant pour les sujets humains, que pour les réseaux neuronaux. Au contraire, une distinction dans le phénomène de la PC entre les groupes d'enfants ayant un TSA et DT (qui n'est pas survenue) aurait été expliquée par un fonctionnement perceptif différent chez les personnes ayant un TSA et DT. C'est la prémissse que soutiennent Soulières et al. (2007) dans leur article. Dans la conclusion, les auteurs expliquent des différences retrouvées dans la tâche de discrimination chez le groupe de personnes ayant un TSA par une autonomie du système de discrimination qui serait moins influencé par les apprentissages précédents (les catégories déjà acquises). Le percept des personnes ayant un TSA serait ainsi plus « pur » que celui des personnes DT, pour qui l'interprétation du monde serait influencée par leurs conceptions (la banque de catégories déjà acquises).

1.4.5 Apports des modélisations par réseaux neuronaux

Finalement, l'objectif de l'ajout de réseaux neuronaux était double. D'une part, il s'agissait de comparer les effets de PC des réseaux à celle obtenue par les enfants dans les tâches de catégorisation et d'autre part, l'objectif était de vérifier les mécanismes d'apprentissage des réseaux selon le type de catégorie (à attributs distribués ou locaux) afin de trouver des liens entre le fonctionnement perceptif des enfants et les mécanismes d'apprentissage des réseaux.

CHAPITRE 2 MÉTHODE

Dans ce chapitre, le lecteur en apprendra davantage sur le recrutement, les processus opératoires du projet, ainsi que sur les analyses effectuées.

2.1 Participants et recrutement

Les participants à cette étude étaient 41 enfants provenant d'une école primaire située sur la Rive-Sud de Montréal. Le projet fut accepté par le comité institutionnel éthique de recherche avec les êtres humains (CIEREH) de l'université du Québec à Montréal (UQAM).

La commission scolaire ayant accepté le projet, la direction d'une école fut ciblée pour héberger l'étude. Une fois le projet expliqué et accepté par la direction, une présentation fut effectuée visant à faire participer certains enseignants ciblés, soit ceux enseignant dans les classes correspondant au groupe d'âge de 8 à 12 ans : de la troisième à la sixième année.

Au total, les enseignants de six classes acceptèrent de participer : une classe de 3^e année, une classe de 4^e année et deux classes de 6^e année. Une dernière classe multiniveau adressée pour les enfants ayant un TSA fut ajoutée. Le projet fut présenté aux élèves dans un langage qu'ils ont pu comprendre et une lettre explicative ainsi que des formulaires de consentement (établissant l'absence de risque, la confidentialité de la participation ainsi que le droit de retrait sans préjudice) furent envoyés aux parents contenant les coordonnées de la responsable de l'étude s'ils avaient des questions (Annexe E). Une feuille comportant des questions d'ordre sociodémographique fut également envoyée (Annexe F), notamment pour départager les enfants ayant un diagnostic de TSA de ceux n'en portant pas. Deux parents d'enfants distincts appelèrent pour poser des questions et obtenir davantage d'information sur le projet avant de signer le formulaire de consentement.

Au total, ce sont 72 parents qui acceptèrent que leur enfant participe à l'étude. Le profil des 72 enfants fut analysé, et 41 enfants correspondant aux critères de sélection du projet furent conservés pour participation. Ils furent distribués en deux groupes, soit un groupe d'enfants ne portant pas de diagnostic (groupe DT; DT, n = 20), et un groupe d'enfants ayant un diagnostic de TSA (n = 21) déclaré par les parents. Les 41 enfants furent choisis parmi les 72 applications, en conservant l'idée d'une certaine égalité des groupes en lien avec le genre et l'âge des enfants. L'étendue d'âge fut augmentée, étant désormais de 8 à

13 ans afin d'accepter un participant supplémentaire dans le groupe d'enfants ayant un TSA. Certains enfants du groupe d'enfants ayant un TSA portaient également d'autres diagnostics, les critères de sélection (enfants de 8 à 13 ans porteurs d'un diagnostic de TSA seul, ou aucun diagnostic, avec un potentiel intellectuel dans les normes à plus ou moins deux écarts-types) ayant été élargis, ne disposant pas suffisamment d'enfants ne portant que le diagnostic de TSA parmi les enfants dont les parents ont retourné le formulaire de consentement. Huit enfants du groupe porteur du diagnostic de TSA avaient aussi un diagnostic de trouble de déficit de l'attention avec/sans hyperactivité (TDAH) concomitant, un autre avait un diagnostic de TDAH et de trouble de langage, un avait un diagnostic de TDAH et de syndrome de Gilles de la Tourette, un avait un diagnostic de TDAH et de trouble développemental de la coordination et un avait un diagnostic de TDAH et de trouble d'opposition, pour un total de 12 enfants du groupe porteur d'un diagnostic de TSA ayant au moins un autre diagnostic (et neuf ne portant que le diagnostic de TSA). Les informations concernant la médication des enfants n'ont pas été récoltées. Dans le groupe d'enfants DT, aucun n'était porteur d'un autre diagnostic connu. La codification scolaire des enfants n'a pas été confirmée, la très grande majorité des enfants ayant un TSA de l'étude étant scolarisée en classe adaptée pour les élèves ayant un TSA, la démarche avait été jugée non nécessaire dans les circonstances.

Les participants furent rémunérés par des cartes-cadeaux de 5\$ pour chacune de leurs participations à des rencontres. Puisque le projet comportait normalement trois rencontres par enfant, ceux-ci pouvaient donc accumuler jusqu'à 15 \$ de cartes-cadeaux pour une librairie locale.

2.2 Procédure expérimentale

L'expérimentation s'est déroulée dans une pièce tranquille, à l'école de l'enfant, en trois séances d'une durée de 1h30 pour la première et de 45 minutes pour les deux suivantes. Les évaluations cognitives se sont déroulées en individuel sur une table encadrée par deux sièges, alors que les tâches de catégorisation se sont déroulées en groupe allant jusqu'à six enfants, chacun à un poste de travail avec un ordinateur portable. La phase de catégorisation se divisait en trois parties (une tâche ABX, qui sera décrite dans les sections suivantes, l'apprentissage de catégories qui sera également décrit ultérieurement, et une seconde tâche ABX).

2.2.1 Séance 1

La première rencontre avec l'enfant d'une durée d'approximativement 1h30 servait à faire l'évaluation des fonctions cognitives et intellectuelles du participant par une série de tests psychométriques après que

des explications soient données à l'enfant sur sa participation au projet et sur les objectifs. Les tests étaient toujours administrés dans l'ordre de leur importance pour le projet, car le temps d'administration était parfois trop court pour effectuer l'ensemble des tâches prévues. L'ordre était le suivant :

1. Sept sous-tests obligatoires de la cinquième édition de la batterie « Wechsler Intelligence Scale for Children » (WISC-V) pour obtenir l'échelle globale de quotient intellectuel (ÉGQI)
2. Sous-test « Empans spatiaux » de la WISC-V intégrée
3. Sous-tests « Recherche dans le ciel » et « Carte géographique » de la batterie « Test of Everyday Attention for Children » (TEA-Ch)
4. Sous-test « Les 20 questions » de la batterie « Delis-Kaplan Executive Function System » (D-KEFS)
5. Sous-test « Mondes contraires » de la TEA-Ch
6. Sous-test « Casse-têtes visuels » de la WISC-V

Une majorité des enfants ont pu effectuer l'entièreté des tâches, mais quatre enfants du groupe d'enfants ayant un TSA et quatre enfants du groupe d'enfants DT n'ont pas eu suffisamment de temps pour le dernier sous-test « Casse-têtes visuels ».

2.2.2 Séances 2 et 3

Les deuxièmes et troisièmes séances avec chaque enfant, d'une durée de 45 minutes chacune, avaient pour objectif d'administrer des tâches de discriminabilité (ABX), encadrant une tâche d'apprentissage de nouvelles catégories visuelles par essai-erreur avec rétroaction. Deux types de stimuli étaient utilisés : des stimuli à attributs locaux (des poissons) et des stimuli à attributs distribués (des textures), tous deux décrits à la section 2.3.1. Chaque enfant devait effectuer une séance d'apprentissage avec chacun des stimuli. L'ordre de passation des tâches de chacun des stimuli fut randomisé entre les enfants afin d'éviter un effet groupal d'apprentissage de la tâche. Les consignes de la tâche (à l'Annexe D) furent données verbalement aux enfants (certains ne sachant pas encore très bien lire) et inscrites à l'écran. Les tâches ABX et de catégorisation furent programmées en langage Python, en utilisant la librairie psychopy.

Tableau 2.1 Déroulement des séances 2 et 3

Séance 2	Séance 3
1. 20 essais d'ABX (textures ou poissons)	1. 20 essais d'ABX (textures ou poissons)
2. 270 essais de catégorisation séparés en trois blocs (textures ou poissons)	2. 270 essais de catégorisation séparés en trois blocs (textures ou poissons)
3. 20 essais d'ABX (textures ou poissons)	3. 20 essais d'ABX (textures ou poissons)

2.3 Instruments de mesure

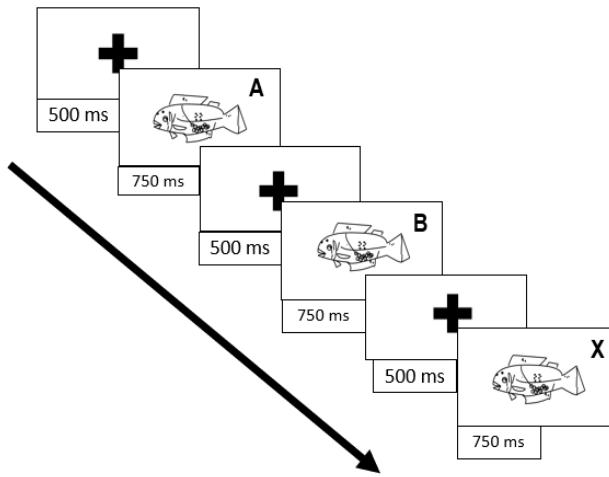
2.3.1 Tâches de mesure de la PC

2.3.1.1 Tâche ABX

La tâche ABX est une tâche de discrimination permettant d'obtenir des indices de PC en comparant les résultats avant et après l'apprentissage des catégories. Dans cette tâche, trois stimuli, dans ce cas des images, sont présentés séquentiellement pour une durée de 750 ms chacun, avec un intervalle de 500 ms entre les images. Dès que le troisième stimulus est apparu sur l'écran, le sujet a ensuite quatre secondes pour appuyer sur une touche du clavier afin d'indiquer si, selon lui, la dernière image présentée (X) était identique à la première image (A) ou bien à la deuxième image (B). S'il ne répond pas suffisamment rapidement, un message est affiché à l'écran demandant au participant d'ajuster son temps de réponse.

La moitié des paires (AB) de stimuli étaient des paires dont les deux éléments étaient de catégorie différente, un K et un L. Les stimuli et les catégories dans cette tâche étaient les mêmes que ceux dans la tâche de catégorisation. L'ordre de présentation fut contrôlé de façon qu'il y ait autant de triplets KLK, KLL, LKK et LKL. L'autre moitié des paires (AB) comprenait des paires dont les éléments appartenaient à la même catégorie. Encore une fois, l'ordre fut contrôlé de façon à avoir autant de triplets K₁K₂K₁ (dont le X est le même que le A), K₁K₂K₂ (dont le X est le même que le B), L₁L₂L₁ (dont le X est le même que le A), et L₁L₂L₂ (dont le X est le même que le B). Les mêmes triplets de stimuli furent présentés pour les deux tâches de ABX, mais l'ordre dans lequel ces derniers étaient présentés variait. La figure 2.1 ci-dessous illustre le déroulement de la tâche ABX. Cette tâche permet d'évaluer objectivement les différences entre la perception de paires d'items intra ou intercatégorielles, avant et après l'apprentissage, et ainsi, obtenir un indice de l'effet de PC. La façon d'analyser ces différences dans le niveau de discrimination sera expliquée dans la section sur les analyses statistiques de ce chapitre.

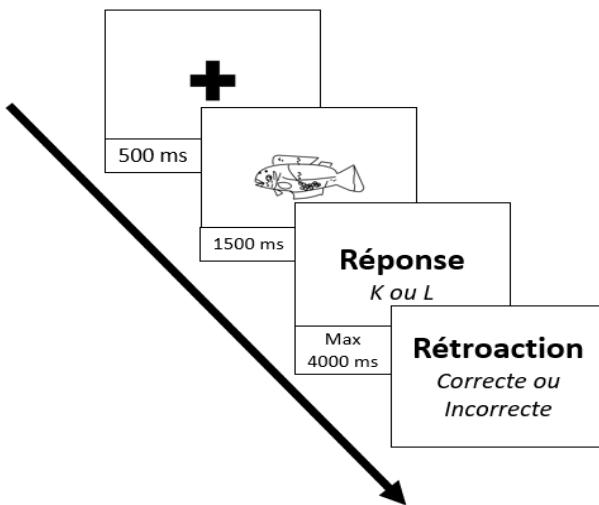
Figure 2.1 Déroulement de la tâche ABX



2.3.1.2 Tâche de catégorisation

La tâche de catégorisation consiste en la présentation d'un stimulus appartenant à l'une des deux catégories pour une durée de 1,5 seconde. Le nombre de stimuli de chaque catégorie fut rendu équivalent. Le participant avait ensuite 4 secondes pour appuyer sur la touche indiquant sa réponse (K ou L). Une rétroaction corrective était offerte pour une durée d'une seconde sous forme écrite accompagnée d'un pictogramme présentant un visage heureux ou triste afin de faciliter la compréhension d'enfants pour qui la lecture n'est pas entièrement acquise. Un second objectif du pictogramme était de permettre une assimilation immédiate de la rétroaction sans surcharger la mémoire de travail des enfants en rendant la tâche aussi ludique que possible. La tâche de catégorisation était divisée en trois parties de 90 essais entre lesquelles une pause était proposée au participant qui reprenait ensuite la tâche à son rythme. Le temps d'exposition des stimuli et le nombre d'essais et de blocs d'apprentissages avaient été déterminés par l'étude pilote effectuée sur huit enfants entre l'âge de 8 et 15 ans. La figure 2.2 ci-dessous illustre le déroulement de la tâche de catégorisation.

Figure 2.2 Déroulement de la tâche de catégorisation



2.3.1.3 Stimuli

Pour chaque stimulus visuel, les attributs permettant de le catégoriser peuvent être locaux, c'est-à-dire qu'ils sont verbalisables et disposés à des endroits précis dans l'image, ou bien ils peuvent être distribués. Dans ce dernier cas, ils sont diffus, difficilement verbalisables et répandus globalement dans l'image. La façon de percevoir et d'apprendre des catégories visuelles sera différente selon le type d'attributs, c'est pourquoi cette étude traite des attributs locaux et des attributs distribués.

2.3.1.3.1 Textures : kalamites et lakamites

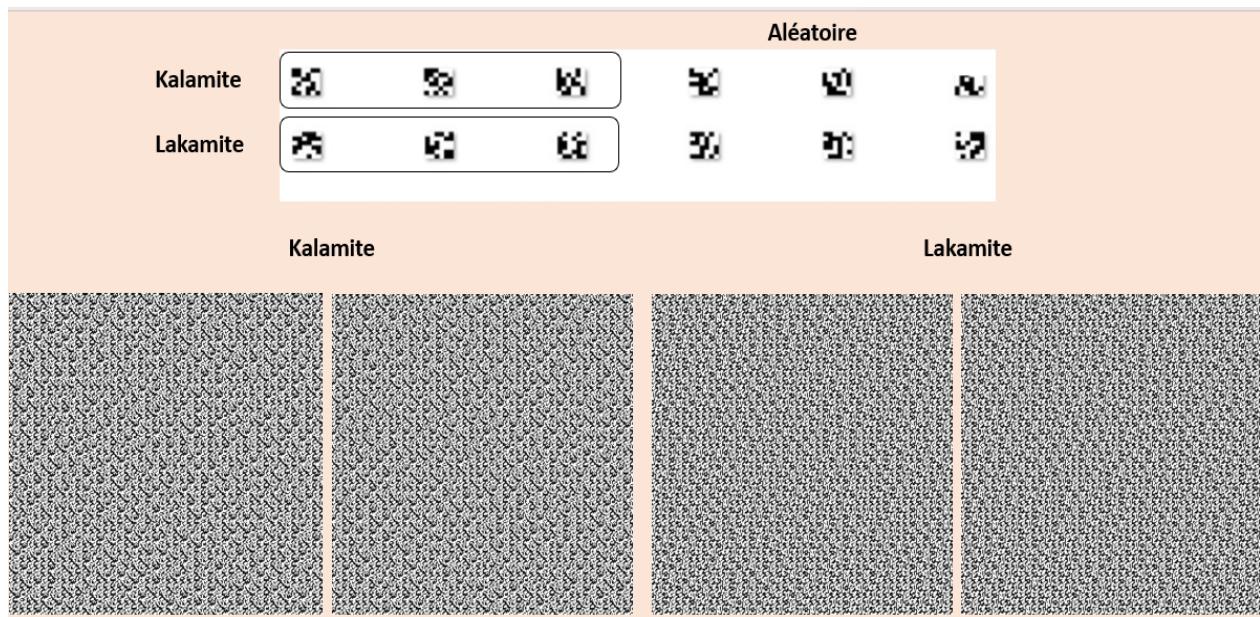
Les stimuli à attributs distribués, pour cette étude, étaient des textures en noir et blanc formées de microcomposantes tirées d'une étude de Perez-Gay et al. (2017). Une microcomposante est un petit carré formé de petits carrés noirs et blancs assemblés selon un modèle spécifique. Dans la texture, trois types de microcomposantes sont diagnostiques à la catégorie, ce sont les attributs covariants. Alors que trois autres types de microcomposantes sont laissées au hasard.

Selon Perez-Gay et al. (2017), il est plus facile d'apprendre les catégories de textures lorsque tous les attributs sont covariants et il devient de plus en plus difficile de le faire lorsque les attributs sont laissés au hasard. Dans une étude pilote effectuée sur huit enfants entre 8 et 15 ans, il a été possible d'observer que les enfants étaient généralement en mesure d'apprendre des catégories, dont seulement trois composantes covariant sur six.

Les participants étaient incapables de repérer directement les microcomposantes dans les textures, ce qui en faisait des items d'une catégorie à attributs distribués. L'enfant devait alors utiliser l'image entière et repérer les patrons qui covariaient avec les catégories. L'apprentissage était donc implicite, car le participant ne pouvait verbaliser la règle qui formait réellement les catégories. Dans cette étude, des items appartenant à deux catégories étaient présentés aux participants : les lakamites et les kalamites. La figure 2.3 présente la formation des textures des catégories par les microcomposantes.

Au total, 400 images de textures différentes avaient été générées pour la tâche. Chaque enfant ne voyait donc les images qu'une seule fois. Il était impossible pour le participant de mémoriser l'appartenance des images aux catégories, il devait ainsi véritablement comprendre de façon implicite la covariance des attributs avec l'appartenance à la catégorie.

Figure 2.3 Formation des textures en fonction des composantes



2.3.1.3.2 Poissons : kailfish et limfish

Dans cette étude, les stimuli à attributs locaux étaient des images de poissons possédant tous le même nombre d'attributs pouvant prendre des formes différentes. Ces stimuli provenaient d'une étude préliminaire de Pérez-Gay Juárez (2019) sur des adultes DT. Par exemple, chaque poisson avait une nageoire dorsale, latérale, une bouche et une queue. Chacun des attributs pouvait prendre plusieurs

formes (p. ex. nageoire plate, ou bombée) et ce sont ces formes qui permettaient d'associer le poisson à une catégorie. Chaque poisson possédait également des distracteurs sous forme de points qui variaient en termes de forme et emplacement et qui n'avaient aucun lien avec la catégorie. Dans cette étude, les poissons étaient divisés en deux catégories, les kailfish et les limfish.

Au niveau de difficulté utilisé pour cette étude, les limfish étaient caractérisés par une queue triangulaire, une nageoire dorsale arrondie et une bouche longue. Les kailfish avaient, quant à eux, une queue arrondie, une nageoire dorsale droite et une bouche courte. Chacun de ces trois attributs covariait à 100% avec la catégorie. Le participant pouvait donc utiliser n'importe lequel des trois attributs pour catégoriser adéquatement. La nageoire latérale, pour sa part, était laissée au hasard. Chaque poisson, peu importe sa catégorie, possédait également des points qui variaient en termes d'emplacement et de forme. Ils agissaient en tant qu'invariants distracteurs (ne covariant pas avec la catégorie). La distribution des attributs selon la catégorie est représentée à la figure 2.4 ci-dessous.

Figure 2.4 Distribution des attributs selon la catégorie

	Kailfish	Limfish
1. Queue		
2. Nageoire dorsale		
3. Nageoire latérale		
4. Bouche		
5-6. Forme et emplacement des points		

2.3.2 Tâches psychométriques

Les tâches suivantes ont été utilisées afin de corrélérer les résultats à l'apprentissage de catégories au développement d'habiletés cognitives (qui sont nommées dans la littérature comme possiblement en lien avec le développement de la catégorisation).

2.3.2.1 Weschler Intelligence Scale for Children

Le WISC-V (Wechsler, 2014) est une mesure de potentiel intellectuel permettant d'extraire une échelle globale de quotient intellectuel (à partir de sept sous-tests obligatoires). Dans cette étude, l'Échelle globale de quotient intellectuel du WISC-V était utilisée comme variable d'intérêt. Un sous-test supplémentaire « Casse-têtes visuels » a été utilisé chez certains enfants pour qui la passation a été plus courte. À partir de ces huit sous-tests (blocs, similitudes, matrices, séquences de chiffres, code, vocabulaire, balances et casse-têtes visuels), l'indice visuospatial (IVS) pouvait être également extrait en supplément.

2.3.2.2 Empans spatiaux

Le sous-test des empans spatiaux du WISC-V étendu (Wechsler, 2014) servait à évaluer la mémoire de travail visuospatiale chez l'enfant. La tâche consiste à reproduire des séquences de plus en plus complexes, montrées par un expérimentateur en touchant des blocs sur une planche. L'enfant devait les reproduire à l'endroit, puis à l'envers dans un deuxième temps.

2.3.2.3 Recherche dans le ciel

La tâche chronométrée consiste, pour l'enfant, à encercler des cibles sur une planche parmi des distracteurs. Ensuite, un contrôle moteur est effectué en demandant à l'enfant d'encercler toutes les images (il n'y a plus de distracteurs). Ce sous-test du Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant (TEA-Ch; Manly et al., 2006) permet d'évaluer l'attention sélective en modalité visuelle en obtenant un indice pondéré de vitesse par cible. Cette tâche attentionnelle est structurée en ce sens où les images sont organisées en colonnes et en rangées pour faciliter la recherche.

2.3.2.4 Le test des 20 questions

Le test des 20 questions du Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS; Delis et al., 2001) a été utilisé afin d'évaluer le niveau d'abstraction dont une personne est capable de faire preuve pour résoudre un problème. Une planche avec trente images était présentée au sujet et celui-ci devait trouver l'image

choisie par l'expérimentateur en posant le moins de questions possible, dont la réponse devait être seulement oui ou non. Pour cette tâche, la stratégie optimale est de poser des questions avec un haut niveau d'abstraction, car elles éliminent un plus grand nombre d'éléments à la fois.

2.3.2.5 Mondes contraires

Ce sous-test du Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant (TEA-Ch; Manly et al., 2006) mesure la flexibilité cognitive, mais les capacités d'inhibition et la vitesse de traitement de l'information sont également importantes pour réussir la tâche. L'enfant devait, dans un premier temps, nommer des séries de chiffres, entre un et deux, imagées sur une planche par un chemin à suivre avec le doigt. Ensuite, la consigne changeait et il devait nommer l'inverse des chiffres qu'il voyait (dire un s'il s'agissait de deux et vice-versa).

2.3.2.6 Carte géographique

Ce sous-test du Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant (TEA-Ch; Manly et al., 2006) mesure l'attention sélective en modalité visuelle, ainsi que la vitesse d'exploration oculaire et la capacité de différenciation figure-fond. L'enfant devait encercler le plus de cibles possible sur une carte en un temps donné. Le résultat représentait le nombre de cibles que l'enfant avait correctement encerclées. Cette tâche était moins structurée que la tâche de recherche dans le ciel, car les cibles étaient distribuées aléatoirement sur la page, augmentant la difficulté d'effectuer une recherche organisée.

2.4 Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques de ces études ont été effectuées à l'aide du logiciel statistique IBM SPSS 27. Un seuil de significativité de $p = 0.05$ a été utilisé.

2.4.1 Développement

L'analyse du développement est effectuée à partir de corrélations entre l'âge de l'enfant au moment de l'expérimentation (opérationnalisée en nombre de mois de vie pour plus de précision) et la performance dans la tâche de catégorisation. Celle-ci est mesurée par le pourcentage de réussite au troisième et dernier bloc de 90 essais de la tâche d'apprentissage de catégories. Les analyses de corrélation sont effectuées séparément pour chaque groupe, en tenant compte des deux tâches exécutées par les participants : une

tâche de catégorisation avec des attributs distribués (textures) et une autre tâche de catégorisation avec des attributs locaux (poissons).

2.4.2 Précurseurs à l'apprentissage de catégories

Afin de vérifier la présence de liens entre l'intelligence globale et la performance en catégorisation pour chacun des deux types de catégories visuelles, des corrélations de Pearson sont effectuées. Des régressions hiérarchiques sont utilisées par la suite afin d'examiner les liens possibles entre : 1) les fonctions attentionnelles et visuospatiales, 2) les fonctions exécutives, et les performances aux tâches de catégorisation, et ce, pour chacun des deux groupes individuellement.

Un choix a été effectué pour l'utilisation des scores bruts aux tâches. Bien que l'utilisation des scores pondérés et les avantages reliés (normalisation des données, retrait du bruit relié à l'âge des sujets) ait été considérés, ce choix est expliqué par un soucis de conserver un niveau de variance suffisant à l'obtention de résultats d'intérêt dans le contexte où la puissance statistique est très faible. L'utilisation des scores bruts (sauf pour l'indice visuospatial, qui est par définition un score pondéré) est aussi justifiée par l'aspect normal de la distribution des données brutes concernant les résultats aux tâches cognitives et à l'aspect plus descriptif et exploratoire du devis concernant cette question de recherche. L'utilisation des données brutes est aussi permise en raison des tests utilisés qui demeurent les mêmes dans la tranche d'âge étudiée, sans que le niveau de difficulté ne varie ou que le format change avec l'âge de l'enfant.

Huit régressions sont effectuées au total : 2 groupes x 2 types de catégories x 2 types de fonctions. Les fonctions attentionnelles et visuospatiales comprennent les résultats aux tâches Recherche dans le ciel (TEA-Ch) et Carte géographique (TEA-Ch), ainsi que l'indice visuospatial (WISC-V) constitué des résultats aux tâches des Blocs et Casse-têtes visuels. Les fonctions exécutives, pour leur part, comprennent les résultats aux tâches Mémoire de travail spatiale (WISC-V intégré), Mondes Contraires (TEA-Ch) et Le test des vingt questions (D-KEFS).

Une approche utilisant l'interprétation des tailles d'effet, plutôt que la significativité seule, appuyée par un courant statistique prenant davantage d'ampleur dans les dernières années (Cumming, 2014; Halsey et al., 2015; Sullivan et Feinn, 2012) est utilisée dans un contexte où la puissance statistique de ces analyses est faible, mais qu'il est tout de même intéressant d'interpréter les tendances qui sont extraites. Dans l'objectif de clarifier les effets développementaux, des corrélations de Pearson sont recensées entre les

résultats aux tests évaluant les différentes fonctions cognitives et l'âge des enfants. Finalement, des corrélations de Pearson sont aussi effectuées en tenant en compte la performance aux deux tâches de catégorisation afin de vérifier si la réussite à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués serait liée à la performance à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux. La significativité de l'ensemble des analyses corrélationnelles est vérifiée en utilisant une correction de type *False Discovery Rate* (Benjamini et Hochberg, 2000).

2.4.3 Fonctionnement perceptif

Une ANOVA factorielle mixte globale est effectuée prenant pour variable dépendante la réussite à la tâche de catégorisation (performance au dernier bloc de catégorisation, en pourcentage) et pour variable indépendante intrasujet, le type de stimuli utilisé (stimuli à attributs distribués ou stimuli à attributs locaux). La variable indépendant intersujet utilisée fut le groupe d'appartenance (TSA ou DT).

Afin d'approfondir les effets d'interaction présents, deux autres ANOVAS factorielles ont été effectuées, cette fois, en divisant les types de stimuli en deux analyses distinctes, l'une portant sur les stimuli à attributs distribués et l'autre concernant les stimuli à attributs locaux. Chaque ANOVA prenait pour variable indépendante intrasujet, le temps de mesure (premier ou troisième bloc de la tâche d'apprentissage de catégories) et la variable indépendante intersujet était le groupe d'appartenance (TSA ou DT). La variable dépendante concernait la réussite à la tâche de catégorisation (performance au bloc de catégorisation, en pourcentage).

L'objectif de ces analyses était de vérifier si les enfants des deux groupes à l'étude avaient performé différemment aux tâches de catégorisation selon le type de stimuli utilisé (à attributs distribués ou locaux).

2.4.4 Perception catégorielle

La PC est mesurée en comparant les habiletés de discrimination entre les membres d'une même catégorie et de catégories différentes avant et après l'apprentissage des catégories. Les résultats à la tâche ABX sont transformés sous forme d'indice d' . Le d' est un indice de discrimination tiré de la théorie de détection de signal qui peut être utilisé afin d'évaluer la PC (Green et Swets, 1966; Macmillan et Creelman, 2005), tel que dans la thèse de Véronneau (2023). Il est calculé en soustrayant le score Z du taux de faux positifs (correspondant à la notion de bruit, d'erreur), au score Z du taux de vrais positifs (bonnes réponses données). Plus le d' est élevé, plus la capacité de discrimination est bonne. Le d' peut être un nombre

positif ou négatif. Dans la présente étude, les moyennes de d' intercatégoriel et intracatégoriel ont été comparées avant et après l'apprentissage pour chaque groupe (TSA et DT) par une ANOVA à mesure répétée. Il a été alors possible d'observer un effet de séparation (s'il y a une augmentation de la discriminabilité des paires intercatégorielles) et de compression (s'il y a une diminution de la discriminabilité des paires intracatégorielles) et de comparer ceux-ci entre les groupes. Un indice global de PC a également été calculé en additionnant les effets de compression et de séparation.

2.5 Réseaux neuronaux

Un réseau neuronal provenant d'un autre projet est utilisé afin de vérifier des correspondances possibles avec les résultats d'apprentissage et de PC des participants DT et ceux ayant un TSA pour les attributs locaux et distribués. La méthode utilisée est celle présentée dans l'étude de Thériault et al. (2018) et détaillée à l'annexe C.

Les résultats et graphiques (aussi présentés à l'Annexe C) obtenus proviennent d'études indépendantes effectuées au sein du laboratoire (par Nicolas Goulet et Christian Thériault) qui ne font pas encore l'objet de publication et ne sont pas, à proprement parler, issus de la présente étude. Il s'agit d'une utilisation subséquente de ces données pour approfondir la compréhension des résultats des sujets humains, et non d'une étude sur les réseaux neuronaux.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Dans ce chapitre, le lecteur aura une vue d'ensemble des résultats obtenus aux différentes analyses statistiques effectuées afin de mieux comprendre les données collectées au cours de ce projet de recherche.

3.1 Comparaison des données des enfants des deux groupes

Le tableau ci-dessous (tableau 3.1) présente les caractéristiques des deux groupes d'enfants à l'étude, ainsi que les comparaisons statistiques effectuées pour vérifier leur équivalence concernant les variables sociodémographiques principales. Une égalité est présente entre les groupes concernant l'âge et la distribution du genre des participants. Toutefois, une différence significative est retrouvée en ce qui a trait à l'ÉGQI, avec une moyenne plus élevée dans le groupe d'enfants DT que pour les enfants ayant un TSA.

Tableau 3.1 Données descriptives des deux groupes d'enfants à l'étude et comparaisons statistiques

Variables	DT (n = 20)	TSA (n = 21)	Comparaison
	n (%) ou M (ET)	n (%) ou M (ET)	$\chi^2(1)$ ou $t(1)$
Genre			0,90
Masculin	16 (80%)	19 (91,5%)	
Féminin	4 (20%)	2 (9,5%)	
Âge	10,10 (1,44)	10,58 (1,47)	-1,05
ÉGQI (WISC-V)	102,20 (10,76)	91,24 (11,56)	3,14**

**p < 0,01.

3.2 Description des données d'apprentissage aux tâches de catégorisation

Pour poursuivre, il est utile à la compréhension du lecteur d'exposer les détails des enfants des deux groupes aux tâches d'apprentissage pour les deux types de stimuli utilisés.

3.2.1 Apprentissage de catégories à attributs distribués

Le tableau ci-dessous représente les données de participation des deux groupes à la tâche de catégorisation pour les stimuli à attributs distribués. Les participants sont classifiés en deux sous-groupes selon leur résultat à la tâche, soit les apprenants et les non-apprenants. Les apprenants sont les enfants qui ont réussi à atteindre le critère d'apprentissage avant la fin de la tâche (270 essais divisés en 3 blocs de 90 essais). Le critère d'apprentissage consistait en une moyenne de 80% de bonnes réponses, prolongée sur au moins 20 essais. Les 20 enfants du groupe d'enfants DT ont participé à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués, alors que 2 enfants sur les 21 enfants du groupe d'enfants ayant un TSA ont été absents lors de la passation, ce sont donc 19 enfants du groupe d'enfants ayant un TSA qui y ont participé. La vitesse d'apprentissage correspond au nombre d'essais avant d'atteindre le critère de réussite. Elle ne peut ainsi être calculée que pour les apprenants. Une moyenne de vitesse d'apprentissage est calculée pour les deux groupes distinctement.

Tableau 3.2 Tableau descriptif des résultats à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués

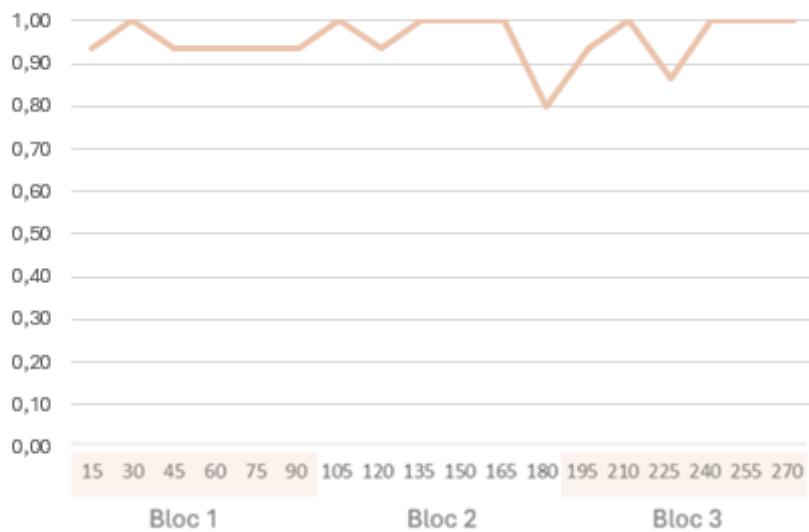
	Groupe d'enfants ayant un TSA (n = 19)	Groupe d'enfants DT (n= 20)	
Apprenants (n = 9)	Non-apprenants (n = 10)	Apprenants (n = 15)	Non-apprenants (n = 5)
Vitesse d'apprentissage	M = 100,22 ET = 99,24	M = 107,53 ET = 87,79	

Il y a ainsi 47% d'apprenants pour le groupe d'enfants ayant un TSA et 75% pour le groupe d'enfants DT. Un test de chi-carré montre l'absence relative de différence dans la distribution des apprenants et des non-apprenants entre les deux groupes ($\chi^2[1]=3,14$, $p=0,08$). La vitesse d'apprentissage moyenne est aussi très similaire dans les deux groupes, soit au début du deuxième bloc de la tâche de catégorisation. Le test de comparaison de moyenne confirme également l'absence de différence dans la vitesse d'apprentissage entre les deux groupes ($t(22)=0,19$, $p=0,85$).

Les mécanismes d'apprentissage des catégories à attributs distribués peuvent varier selon l'enfant. Certains enfants réussissent à identifier très rapidement l'appartenance des stimuli aux catégories. Ils sont ce qui pourrait être nommé comme des « apprenants immédiats » (5 enfants du groupe d'enfants ayant un TSA et 5 enfants du groupe d'enfants DT sont apprenants-immédiats). La figure 3.1 ci-dessous représente un exemple de courbe d'apprentissage d'un enfant apprenant immédiat. Il est possible d'y

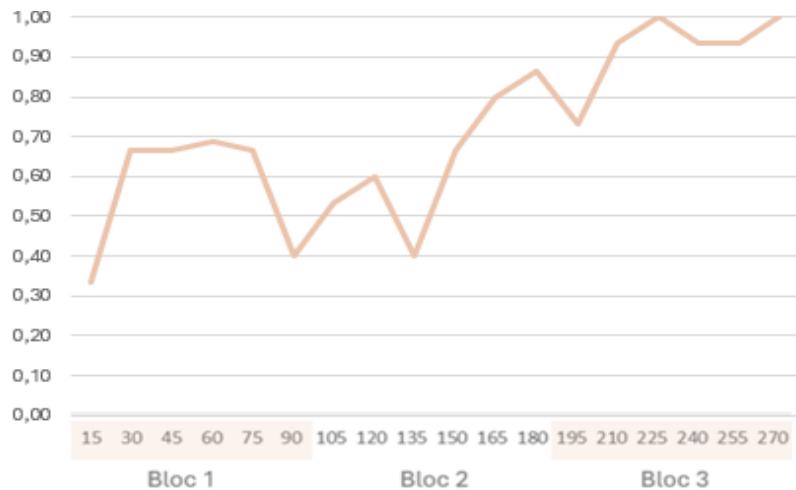
observer une atteinte immédiate du critère de réussite (au-delà de 80% de réponses exactes) avec tout de même certains creux qui demeurent au-dessus du critère de réussite, indiquant que, malgré l'apprentissage des attributs pertinents, en raison de l'aspect perceptif, implicite et non-verbalisable de ceux-ci, l'enfant peut tout de même offrir des réponses erronées par moment au cours des 270 essais de la tâche.

Figure 3.1 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant immédiat à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués



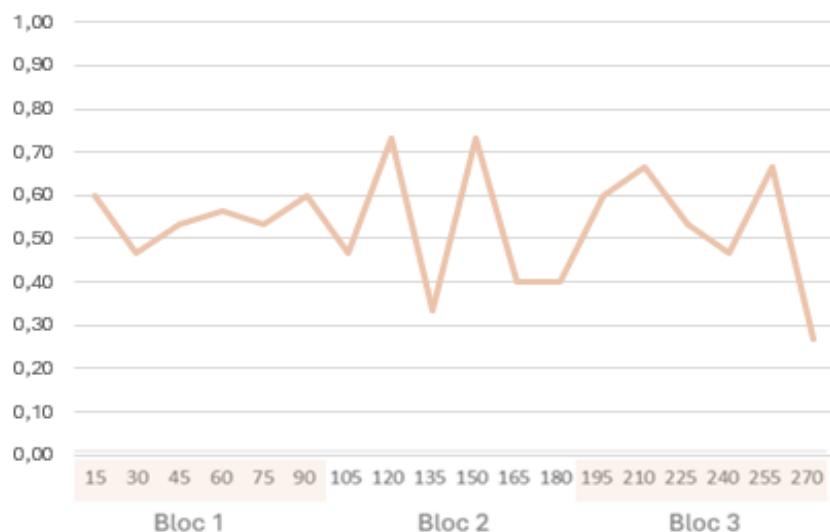
Un second graphique (figure 3.2) représente une courbe d'apprentissage d'un apprenant qui ne peut pas être qualifié d'apprenant immédiat. L'apprentissage, pour cet enfant en exemple, est plus graduel et l'atteinte maintenue du critère d'apprentissage survient vers la moitié du troisième bloc de la tâche de catégorisation (210^e essai).

Figure 3.2 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués



Certains enfants (38% des enfants de l'échantillon) n'ont également pas réussi à atteindre le critère d'apprentissage au cours de la tâche de catégorisation comme à la figure 3.3.

Figure 3.3 Exemple de courbe d'apprentissage d'un non-apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués



3.2.2 Apprentissage de catégories à attributs locaux

Les données d'apprentissage sont également compilées pour les catégories à attributs locaux. Cette fois, un enfant du groupe d'enfants ayant un TSA n'a pas participé à la tâche, alors que tous les enfants du groupe d'enfants DT y ont participé.

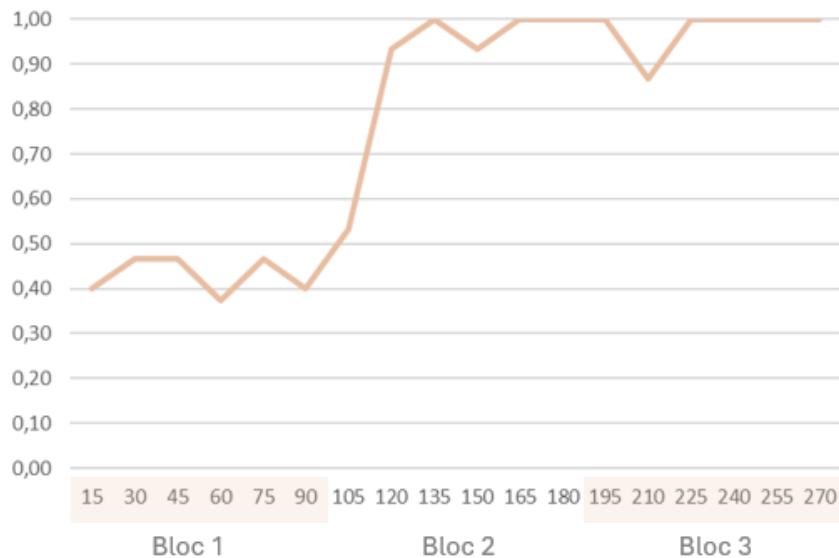
Tableau 3.3 Tableau descriptif des résultats à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux

Groupe d'enfants ayant un TSA (n = 20)		Groupe d'enfants DT (n= 20)	
Apprenants (n = 5)	Non-apprenants (n = 15)	Apprenants (n = 5)	Non-apprenants (n = 15)
Vitesse d'apprentissage	M = 126,00 ET = 92,22		M = 153,00 ET = 28,85

Les deux groupes comptent 25% d'apprenants seulement, indiquant la grande difficulté de cette tâche de catégorisation pour les enfants. Le test de comparaison de moyennes effectué indique une absence de différence dans la vitesse d'apprentissage des deux groupes ($t(8)=0,63$, $p=0,56$) de cette étude et une absence évidente de différence dans la distribution des apprenants et des non-apprenants ($\chi^2(1)=0,00$, $p=1,00$). Il n'y a aucun apprenant-immédiat pour les catégories à attributs locaux.

L'étude des courbes d'apprentissage des enfants permet également d'approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents. Le graphique ci-dessous (figure 3.4) représente une courbe d'apprentissage typique d'un apprenant pour les catégories à attributs locaux faisant partie du groupe d'enfants DT. Il est possible d'y observer un tâtonnement en début de tâche avec des résultats près du niveau de la chance, puis une amélioration très rapide après le début du deuxième bloc de la tâche d'apprentissage avec l'atteinte du critère d'apprentissage après 120 essais. L'amélioration très soudaine se fait en raison du caractère plus dichotomique de cette tâche. Lorsque l'enfant comprend la règle (identifie l'attribut covariant et peut le verbaliser), il arrive à fournir des réponses exactes presque à tout coup.

Figure 3.4 Exemple de courbe d'apprentissage d'un apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux



Un second graphique (figure 3.5) représente une courbe d'apprentissage typique d'un enfant non-apprenant. Des fluctuations sont alors observées, qui demeurent toutefois, tout au long de la tâche, autour ou sous le niveau de la chance, l'enfant n'ayant pas réussi à déterminer les attributs permettant d'identifier l'appartenance à la catégorie.

Figure 3.5 Exemple de courbe d'apprentissage d'un non-apprenant à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux

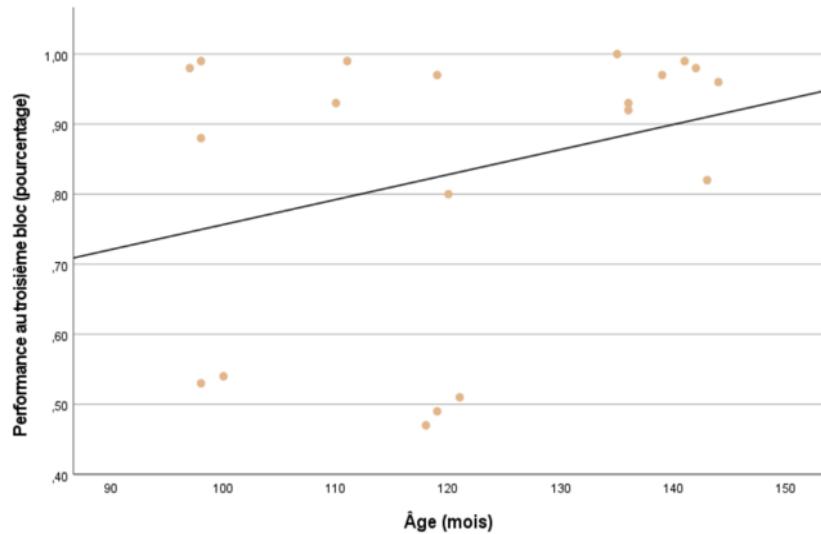


3.3 Le développement des habiletés de catégorisation

Deux des questions de recherche posées concernent le développement des habiletés de catégorisation. Comme mentionné précédemment, des corrélations ont donc été faites entre la réussite aux tâches de catégorisation (modélisée par la performance au troisième bloc de la tâche de catégorisation, soit les 90 derniers essais) et l'âge des enfants (en mois).

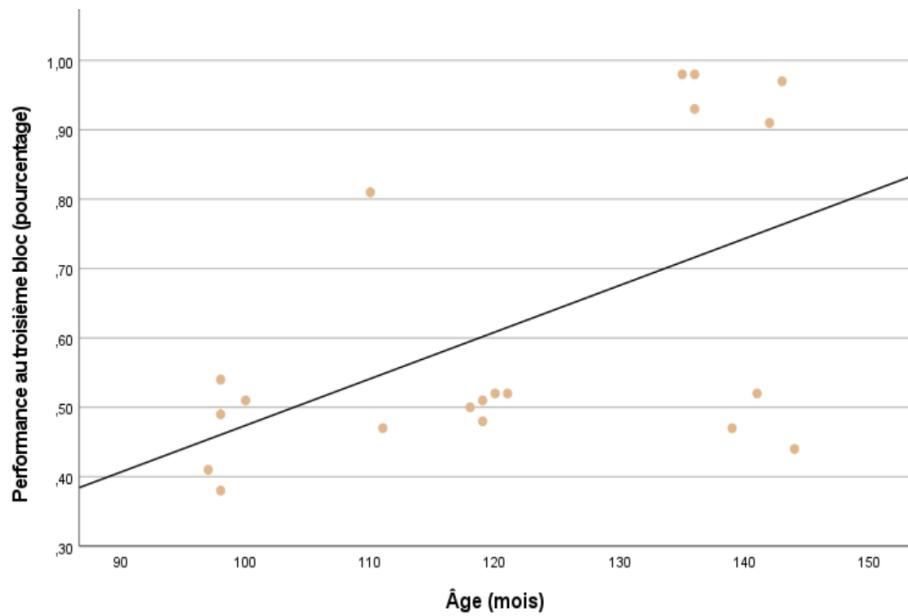
3.3.1 Développement des enfants à développement typique

Figure 3.6 Performance en catégorisation de textures selon l'âge de l'enfant DT



La corrélation entre la performance en catégorisation au troisième bloc (pourcentage) et l'âge de l'enfant (en mois) est positive, mais non significative ($r=0.31$; $p=0.19$; $n=20$). Il n'y aurait pas d'effet développemental significatif (amélioration avec l'âge) pour ce qui est de l'apprentissage de catégories à attributs distribués pour les enfants DT d'âge primaire.

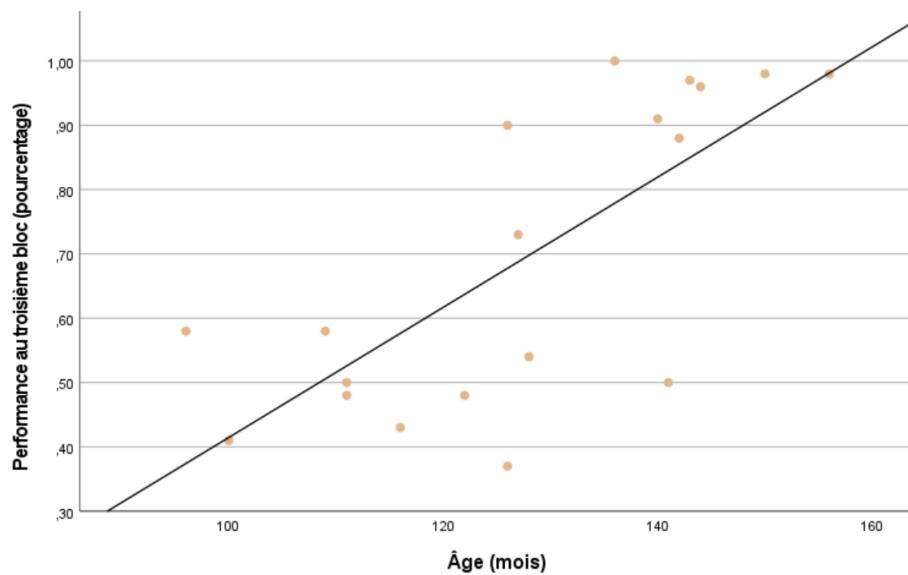
Figure 3.7 Performance en catégorisation de poissons selon l'âge de l'enfant DT



La corrélation entre l'âge des enfants DT en mois et leur performance au troisième (dernier) bloc de la tâche de catégorisation est positive et significative ($r=0.54$; $p=0.02$; $n=20$). Les enfants DT plus âgés de cette étude présentent ainsi de meilleures capacités pour apprendre les catégories que les enfants plus jeunes pour ce qui est des stimuli à attributs locaux (poissons).

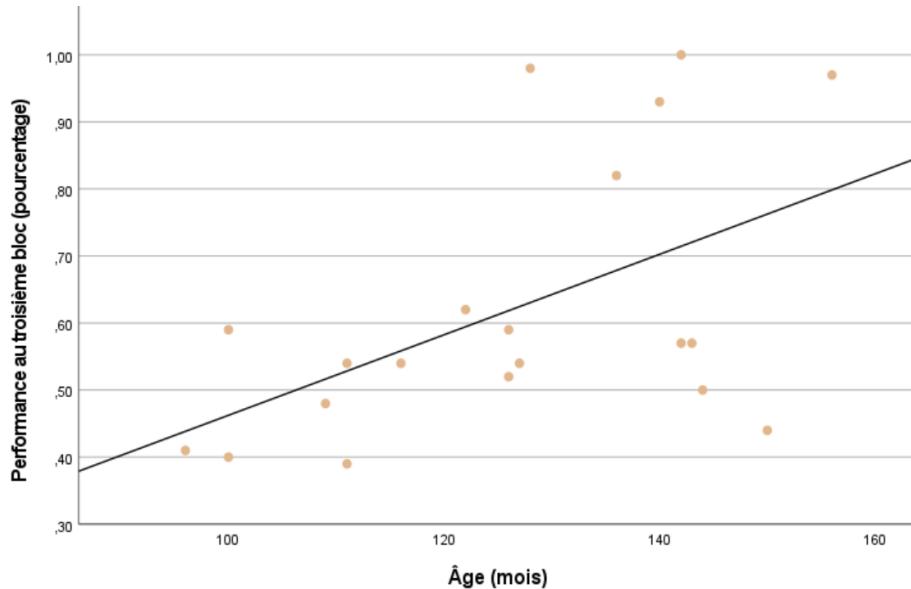
3.3.2 Développement des enfants ayant un TSA

Figure 3.8 Performance en catégorisation de textures selon l'âge de l'enfant TSA



L'âge des participants ayant un TSA (en mois) est positivement corrélé de façon significative à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués ($r=0.73$; $p<0.01$; $n=19$). Ceci signifie que les capacités d'apprentissage de catégories de stimuli à attributs distribués s'accroissent avec l'âge chez les enfants ayant un TSA de cette étude.

Figure 3.9 Performance en catégorisation de poissons selon l'âge de l'enfant TSA



Chez les enfants ayant un TSA, l'âge en mois est positivement corrélé à la performance au dernier bloc de la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux (poissons), et ce, de façon significative ($r=0.53$; $p=0.02$; $n=20$). Cela indique que les capacités à apprendre de nouvelles catégories à attributs locaux s'améliorent avec l'âge chez les enfants ayant un TSA.

Un effet développemental est donc retrouvé chez les enfants ayant un TSA pour les deux types de catégories, alors que ce n'est le cas que pour les catégories à attributs locaux chez les enfants DT.

3.4 Les précurseurs à l'apprentissage de catégories

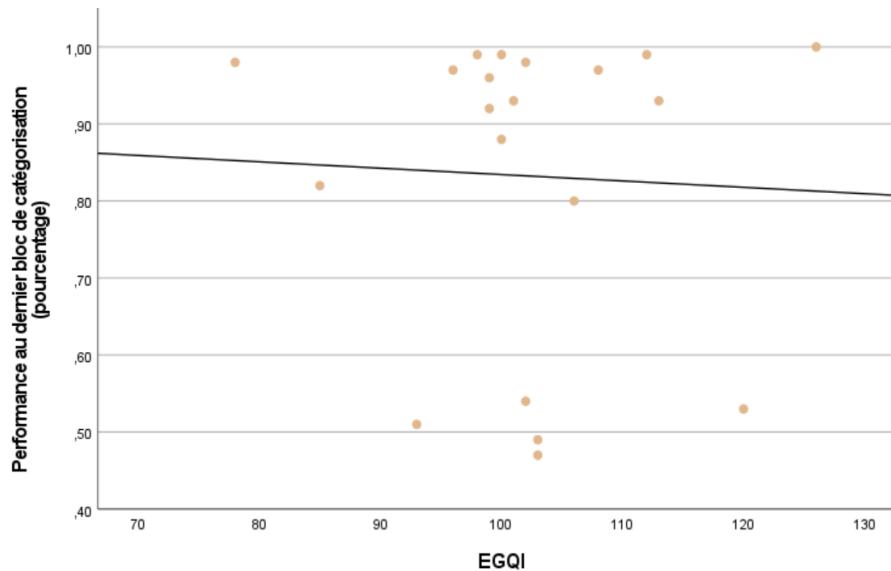
3.4.1 Intelligence

L'intelligence est mesurée chez les participants par un test de fonctionnement intellectuel, le WISC-V (Wechsler, 2014). L'échelle globale est tirée des résultats à sept sous-tests. Des corrélations sont faites pour vérifier les liens possibles entre l'intelligence des enfants (Échelle globale de quotient intellectuel;

ÉGQI) et leur capacité à apprendre de nouvelles catégories (modélisé par la réussite en pourcentage au troisième et dernier bloc de 90 essais de la tâche d'apprentissage de catégories) à attributs distribués ou à attributs locaux.

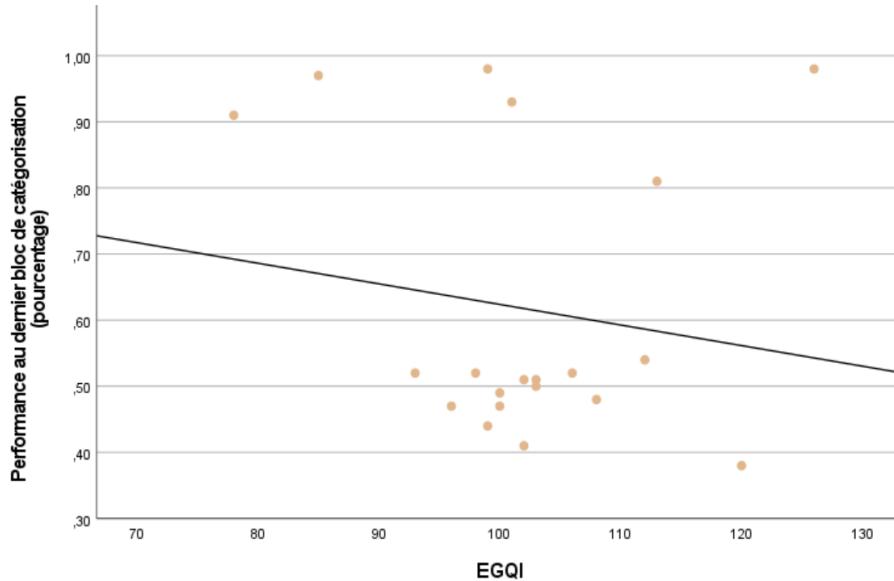
3.4.1.1 Groupe d'enfants à développement typique

Figure 3.10 Performance en catégorisation des textures selon l'ÉGQI (groupe d'enfants à développement typique)



La corrélation négative ($r=-0.05$; $p=0.85$; $n=20$) retrouvée entre l'ÉGQI et la performance au dernier bloc de catégorisation des textures n'est pas significative. Il ne semble ainsi pas avoir de lien, chez les enfants DT d'âge scolaire du présent échantillon, entre l'intelligence et la capacité à apprendre les catégories à attributs distribués.

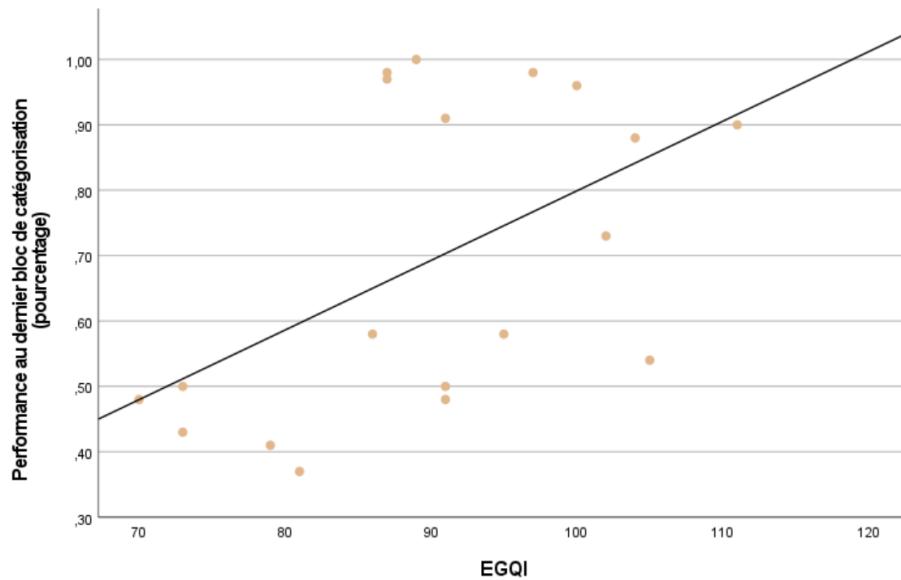
Figure 3.11 Performance en catégorisation des poissons selon l'ÉGQI (groupe d'enfants à développement typique)



Encore une fois, la corrélation négative ($r=-0.16$; $p=0.51$; $n=20$) entre l'apprentissage des catégories à attributs locaux (poissons) et l'ÉGQI n'est pas significative. Il semblerait ainsi que l'ÉGQI n'ait pas de poids significatif dans la capacité des enfants DT d'âge scolaire à apprendre des catégories à attributs locaux. Il est probable que la direction des deux précédentes corrélations soit due à un biais en raison de la faible taille de l'échantillon.

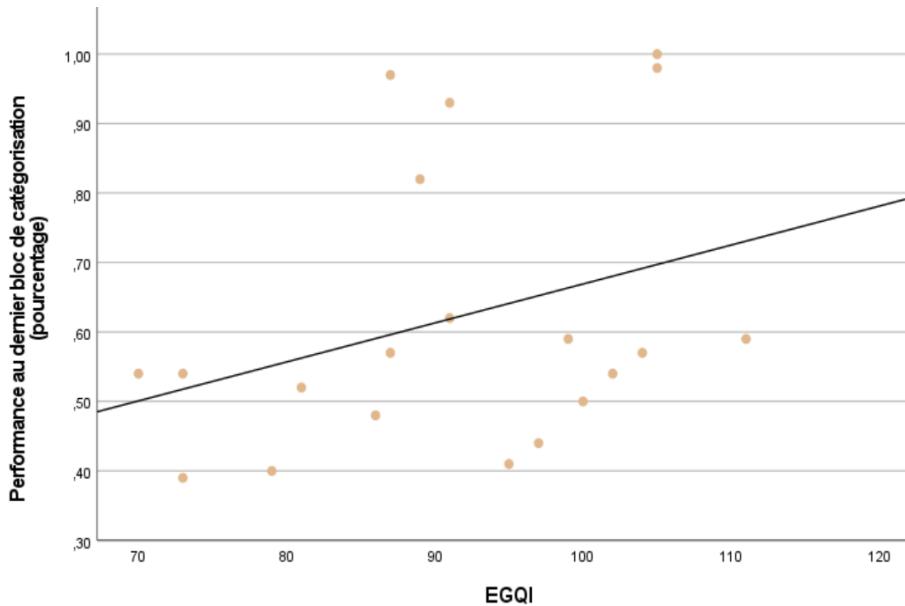
3.4.1.2 Groupe d'enfants ayant un TSA

Figure 3.12 Performance en catégorisation des textures selon l'ÉGQI (groupe d'enfants ayant un TSA)



La corrélation positive de taille modérée entre l'ÉGQI et la performance au dernier bloc de catégorisation est significative ($r=0.52$; $p=0.02$; $n=19$). Cela souligne un lien entre l'intelligence et la capacité à apprendre de nouvelles catégories visuelles à attributs distribués chez les enfants ayant un TSA d'âge scolaire.

Figure 3.13 Performance en catégorisation des poissons selon l'ÉGQI (groupe d'enfants ayant un TSA)



La corrélation positive entre l'ÉGQI et la performance au dernier bloc de catégorisation n'est pas significative ($r=0.33$; $p=0.16$; $n=20$). Cela n'indique pas de lien entre l'intelligence et la capacité d'apprentissage de catégories visuelles à attributs locaux chez les enfants ayant un TSA d'âge scolaire.

Il est donc intéressant de noter qu'un effet de l'intelligence (ÉGQI) sur les capacités d'apprendre des nouvelles catégories est seulement retrouvé chez les enfants ayant un TSA lorsqu'il s'agit des catégories à attributs distribués, et que cet effet n'est pas du tout retrouvé chez les enfants DT du présent échantillon.

3.4.2 Fonctions cognitives

Le tableau suivant (tableau 3.4) répertorie les résultats des deux groupes aux différentes mesures cognitives et les comparaisons statistiques effectuées.

Tableau 3.4 Résultats des deux groupes d'enfants concernant les résultats aux tâches cognitives effectuées

Variables	DT	TSA	Comparaison
	$M (\bar{E}T), n$	$M (\bar{E}T), n$	$t(1)$
Mémoire de travail spatiale (WISC-V intégré)	17,10 (3,46), 20	13,95 (3,50), 21	2,89*
Flexibilité cognitive (TEA-Ch)	31,35 (5,75), 20	38,19 (14,59), 21	-1,96
Abstraction (D-KEFS)	13,45 (2,78), 20	12,63 (4,02), 19	0,74
Recherche visuelle structurée (TEA-Ch)	4,04 (0,97), 20	4,89 (2,33), 21	-1,51
Recherche visuelle aléatoire (TEA-Ch)	23,90 (8,49), 20	32,33 (10,10), 21	-2,89*
Raisonnement visuospatial (IVS; WISC-V)	103,44 (12,68), 16	100,18 (15,79), 17	0,65

* $p < 0,05$

Il y aurait absence de différence significative entre les deux groupes à l'étude concernant les mesures d'abstraction, de flexibilité cognitive, de recherche visuelle structurée et de raisonnement visuospatial. Le groupe d'enfants ayant un TSA présente des résultats significativement plus élevés, en moyenne, que le groupe d'enfants DT concernant la recherche visuelle aléatoire, alors que l'inverse est vrai concernant la mémoire de travail spatiale (avec des résultats, en moyenne, plus élevés pour le groupe d'enfants DT que le groupe d'enfants ayant un TSA).

Le lien entre les fonctions attentionnelles, visuospatiales et exécutives, et la performance à la tâche de catégorisation (pourcentage de réussite au troisième bloc) est examiné par des régressions linéaires hiérarchiques. Les variables indépendantes sont divisées en deux parties, soit les fonctions attentionnelles et visuospatiales d'une part, et les fonctions exécutives de l'autre. Cette division des variables est effectuée en raison du petit nombre de participants (entre 16 et 21 dans les groupes). Tous les résultats détaillés et les interprétations sont retrouvés à l'annexe A. Voici un tableau (tableau 3.5) résumé des fonctions et des tâches y étant associées :

Tableau 3.5 Fonctions évaluées et tâches y étant associées

Regroupement pour les analyses de régression	Fonction	Tâche
Fonctions exécutives	Mémoire de travail spatiale	Empans spatiaux (WISC-V intégré)
	Flexibilité cognitive	Mondes contraires (TEA-Ch)
	Abstraction	Test des vingt questions (D-KEFS)
Fonctions attentionnelles et visuospatiales	Recherche visuelle structurée	Recherche dans le ciel (TEA-Ch)
	Recherche visuelle aléatoire	Carte géographique (TEA-Ch)
	Raisonnement visuospatial	Indice visuospatial (WISC-V)

Pour ce qui est des fonctions cognitives, une présentation différentielle est observée dans le groupe d'enfants DT et le groupe d'enfants ayant un TSA. Chez les enfants DT, aucune corrélation significative n'est trouvée entre les fonctions cognitives évaluées et les performances de catégorisation pour ce qui est des catégories à attributs distribués. Une corrélation positive significative ($r=0.58$; $p<0.05$; $n=20$) associée à un résultat significatif à la régression ($\beta=0.58$; $p<0.05$; $n=20$) est toutefois trouvée entre la mémoire de travail spatiale et la performance pour l'apprentissage de catégories à attributs locaux.

Chez les enfants ayant un TSA, la flexibilité cognitive est positivement corrélée (la direction de la corrélation est négative, car il s'agit d'un temps d'exécution de la tâche qui diminue) à l'apprentissage des deux types de catégories (à attributs locaux : $r=-0.47$; $p<0.05$; $n=18$ et distribués : $r=-0.54$; $p<0.05$; $n=17$). Aux résultats de régression, une grande taille d'effet est retrouvée pour la flexibilité cognitive concernant l'apprentissage de catégories à attributs locaux ($\beta=-0.70$; $p>0.05$; $n=18$) et une moyenne taille d'effet pour les catégories à attributs distribués ($\beta=-0.34$; $p>0.05$; $n=17$). Les résultats aux régressions ne sont toutefois pas significatifs. Le raisonnement visuospatial est aussi positivement et significativement corrélé ($r=0.58$;

$p<0.05$; $n=16$) à de meilleures performances en ce qui a trait à l'apprentissage de catégories à attributs locaux. La taille d'effet à la régression est grande, mais non significative ($\beta=0.55$; $p>0.05$; $n=16$). Ces résultats comportant des corrélations significatives et des tailles d'effet de moyenne ou de grande taille aux analyses de régression effectuées sont répertoriés dans le tableau 3.6 ci-dessous.

Tableau 3.6 Recension des fonctions cognitives reliées à l'apprentissage des catégories selon le type d'attributs et le groupe expérimental

Groupe d'enfants DT		Groupe d'enfants ayant un TSA	
Attributs distribués (textures)	Attributs locaux (poissons)	Attributs distribués (textures)	Attributs locaux (poissons)
	Mémoire de travail spatiale*	Flexibilité cognitive	Flexibilité cognitive
		Recherche visuelle structurée	Raisonnement visuospatial

* $p < 0.05$ à l'analyse de régression

Les résultats, présentés dans les deux tableaux ci-dessous (tableau 3.7 pour le groupe d'enfants DT et tableau 3.8 pour le groupe d'enfants ayant un TSA), servent à illustrer les corrélations entre les différentes fonctions cognitives et l'âge des participants dans l'objectif d'approfondir l'analyse des effets développementaux possibles de ces facteurs.

Tableau 3.7 Corrélations entre les fonctions cognitives à l'étude, entre elles, et l'âge pour le groupe d'enfants DT

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Âge (en mois)	—	0.64*	-0.46	0.16	-0.17	0.56	-0.39	-0.45
2. Mémoire de travail spatial		—	-0.38	0.35	-0.31	0.16	-0.15	-0.03
3. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)			—	-0.11	0.09	-0.34	0.09	-0.42
4. Abstraction				—	-0.15	-0.19	-0.49	-0.03
5. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)					—	-0.13	-0.25	-0.16
6. Recherche visuelle aléatoire						—	0.07	-0.42
7. Raisonnement visuospatial							—	0.71*
8. Intelligence globale (ÉGQI)								—

(n= 20, sauf pour le raisonnement visuospatial où n = 16) *p < .05 Les fonctions significativement corrélées avec l'âge et les résultats associés sont colorés.

Pour le groupe d'enfants DT, il est possible d'observer une corrélation positive significative avec l'âge pour la mémoire de travail spatiale ($r=0.64$; $p<0.01$; $n=20$). Parmi les fonctions évaluées, seul le raisonnement visuospatial est lié de façon positive et significative à l'intelligence globale ($r=0.71$; $p<0.01$; $n=16$).

Tableau 3.8 Corrélations entre les fonctions cognitives à l'étude, entre elles, et l'âge pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Âge (en mois)	—	0.53*	-0.61*	0.53*	-0.58*	0.41	0.32	0.34
2. Mémoire de travail spatial		—	-0.64**	0.37	-0.42	0.78**	0.56*	0.39
3. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)			—	-0.70**	0.53*	-0.56*	-0.45	-0.62**
4. Abstraction				—	-0.64**	0.39	0.20	0.40
5. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)					—	-0.41	-0.55*	-0.57*
6. Recherche visuelle aléatoire						—	0.58*	0.42
7. Raisonnement visuospatial							—	0.68**
8. Intelligence globale (ÉGQI)								—

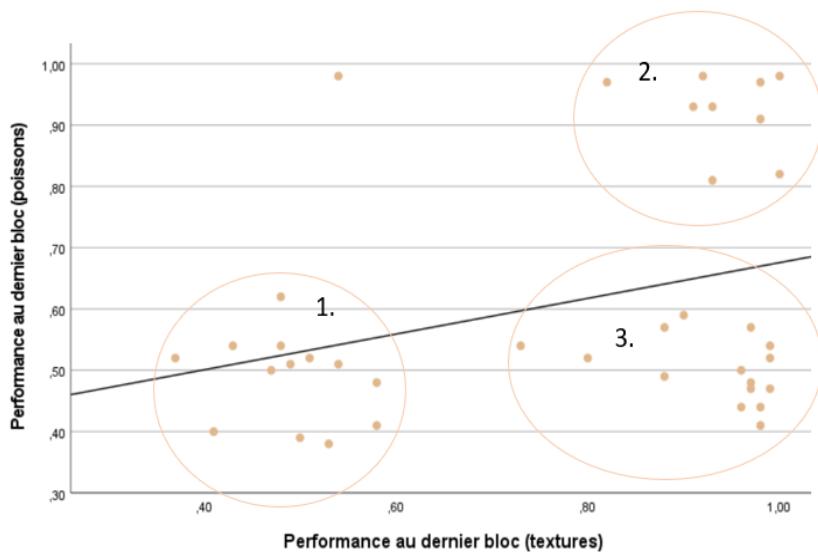
(n= 20, sauf pour le raisonnement visuospatial où n = 17 et l'abstraction où n = 19) *p < .05, **p < 0.01.

Pour le groupe d'enfants ayant un TSA, l'âge est positivement et significativement corrélé à la mémoire de travail spatial ($r=0.53$; $p<0.05$; $n=20$) et à l'abstraction ($r=0.53$; $p<0.05$; $n=19$). Des corrélations négatives sont aussi retrouvées entre l'âge et la recherche visuelle en contexte structuré ($r=-0.58$; $p<0.05$; $n=20$) et la flexibilité cognitive ($r=-0.61$; $p<0.05$; $n=20$), mais elles indiquent tout de même un accroissement de ces fonctions, car elles représentent une diminution des temps d'exécution. La flexibilité cognitive ($r=-0.62$; $p<0.01$; $n=20$), la recherche visuelle structurée ($r=-0.57$; $p<0.05$; $n=20$) et le raisonnement visuospatial ($r=0.68$; $p<0.01$; $n=17$) sont significativement corrélés à l'intelligence globale. Cette dernière ne serait pas significativement corrélée à l'âge des participants du groupe d'enfants ayant un TSA ($r=0.34$; $p>0.05$; $n=20$).

3.4.3 Types d'apprentissages

Les corrélations ont été calculées entre les deux types d'apprentissages, soit l'apprentissage de catégories à attributs distribués et l'apprentissage de catégories à attributs locaux.

Figure 3.14 Lien entre la performance aux deux types de stimuli à la tâche de catégorisation



Il est possible d'observer sur le graphique trois groupes distincts : (1) un groupe n'ayant ni appris les textures ni les poissons (2) un groupe ayant appris les textures et les poissons et (3) un troisième groupe n'ayant pas appris les poissons, mais ayant appris les textures. Un seul sujet a appris les poissons sans avoir appris les textures.

La corrélation positive de petite taille entre l'apprentissage aux deux types de stimuli est significative ($r=0.32$; $p=0.05$; $n=38$). Les enfants ayant appris les catégories à attributs distribués (textures) ont été significativement meilleurs pour apprendre les catégories à attributs locaux (poissons).

3.5 Comparaison des performances en catégorisation (enfants DT et ayant un TSA) et du fonctionnement perceptif

Une ANOVA factorielle mixte est utilisée pour vérifier les différences dans les performances à la fin de la tâche d'apprentissage de catégories selon le type de stimuli (poissons ou textures) et le groupe (enfants DT ou ayant un TSA). Les résultats sont imaginés dans la figure suivante et précisés au tableau 3.9.

Figure 3.15 Représentation graphique de l'apprentissage au dernier bloc de la tâche de catégorisation selon le groupe et le type de catégories utilisées

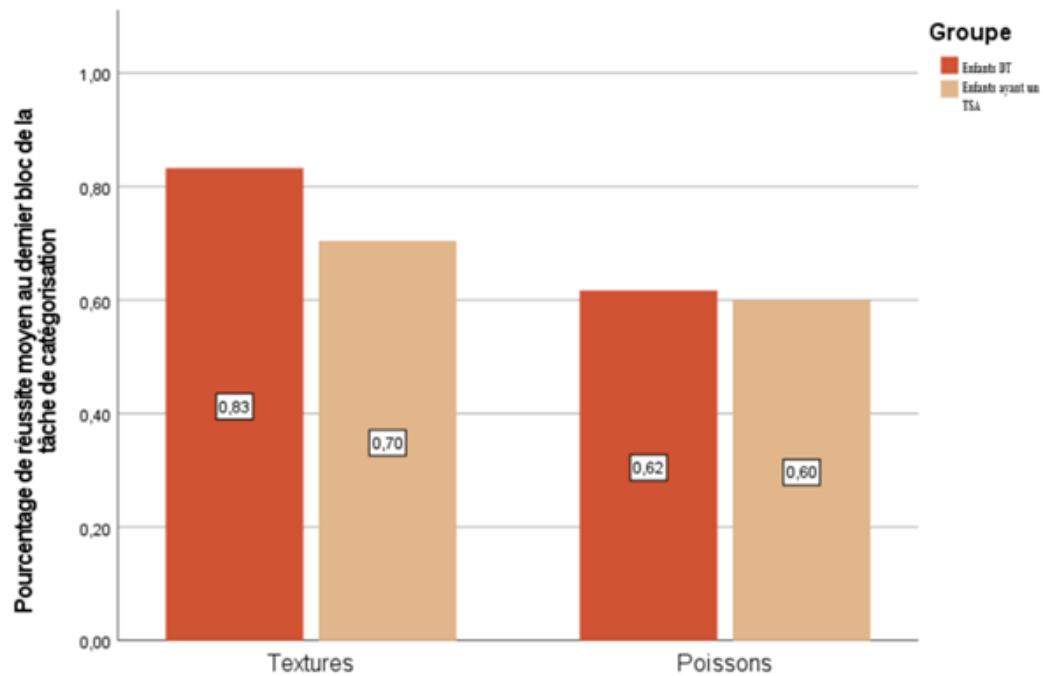


Tableau 3.9 Statistiques descriptives (pourcentage moyen de réussite au 3^e bloc de catégorisation) de l'analyse de l'interaction entre le groupe et le type de stimuli utilisé

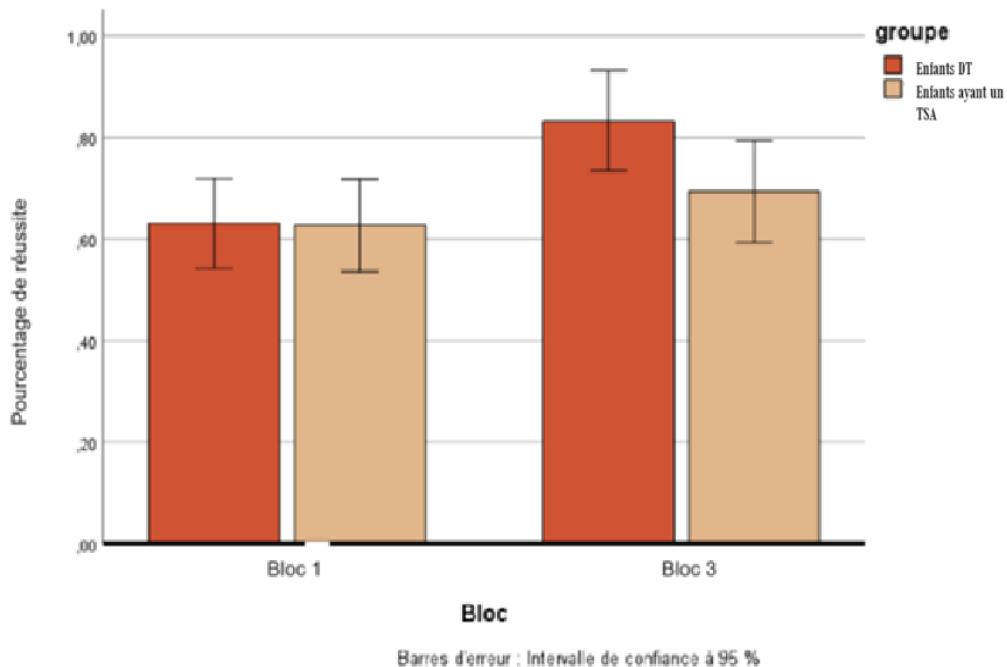
Variable	Enfants DT (n=20)		Enfants ayant un TSA (n=18)	
	M	ET	M	ET
Poissons	0,62	0,23	0,60	0,19
Textures	0,83	0,20	0,70	0,24

L'effet d'interaction entre le groupe d'appartenance du participant (TSA ou DT) et le type de stimuli (poissons ou textures) utilisé pour l'apprentissage de catégorie n'est pas significatif ($F_{(1,38)}=1.95$, $p=0.17$, $\eta^2=0.05$) avec une taille d'effet petite à modérée. Il y aurait toutefois un effet principal significatif pour ce qui est du type de stimuli utilisé ($F_{(1,38)}=15.93$, $p<0.01$, $\eta^2=0.31$), les textures ayant été globalement mieux apprises que les poissons pour les deux groupes de façon confondue. La taille de cet effet est grande.

Même si l'effet d'interaction n'est pas significatif, puisque la taille d'effet est presque modérée et que l'observation du graphique ci-dessus semble tout de même démontrer une tendance, il est intéressant d'aller explorer davantage l'origine de cet effet. Une ANOVA à mesure répétée est effectuée pour chacun des types de stimuli de façon distincte afin d'aller observer l'apprentissage différentiel des groupes.

3.5.1 Stimuli à attributs distribués (textures)

Figure 3.16 Apprentissage des catégories à attributs distribués (textures) pour les deux groupes

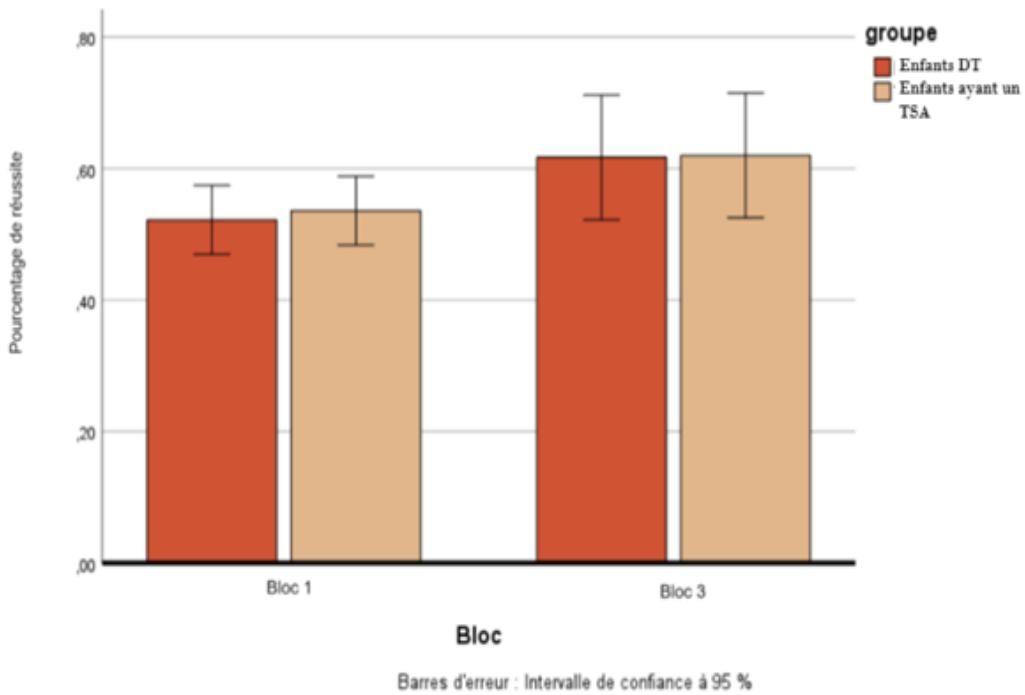


Il existe un effet d'interaction significatif ($F_{(1,38)}=5.19$, $p=0.03$, $\eta^2=0.12$) entre l'apprentissage des catégories et le groupe d'appartenance des participants. Cela indique que les participants DT ont significativement mieux appris les catégories que les participants ayant un TSA entre le premier et le dernier bloc de la tâche de catégorisation pour les catégories à attributs distribués.

Il existe également un effet principal significatif ($F_{(1,38)}=20.79$, $p<0.01$, $\eta^2=0.36$) pour ce qui est du temps de mesure (premier et dernier bloc de catégorisation). Cet effet de large taille indique un phénomène d'apprentissage pour les deux groupes, bien que beaucoup plus prononcé du côté du groupe d'enfants DT avec une amélioration de 20,2%, que du groupe d'enfants ayant un TSA qui s'est amélioré de 6,7% en moyenne.

3.5.2 Stimuli à attributs locaux (poissons)

Figure 3.17 Apprentissage des catégories à attributs locaux (poissons) pour les deux groupes



Une ANOVA mixte est utilisée pour vérifier l'évolution des groupes dans le temps en ce qui a trait à l'apprentissage de catégories à attributs locaux (poissons). L'effet d'interaction entre les groupes et la performance selon le temps de mesure n'est pas significatif ($F_{(1,38)}=0.03$, $p=0.86$, $\eta^2<0.01$). Une différence des deux groupes confondus est toutefois présente entre le premier et le troisième bloc ($F_{(1,38)}=710.18$, $p<0.01$, $\eta^2=0.94$), signalant un effet d'apprentissage des catégories pour les deux groupes entre le premier bloc et le dernier bloc de la tâche de catégorisation, et ce, même si le progrès général est plutôt faible (9,5% pour le groupe d'enfants DT et 8,4% pour le groupe d'enfants ayant un TSA).

Une interprétation plus qualitative des résultats obtenus permet le constat d'un apprentissage plus rapide et efficace des catégories à attributs distribués chez les enfants DT de l'échantillon que chez les enfants ayant un TSA, alors que les catégories à attributs locaux semblent avoir été également difficiles pour les deux groupes. Cela rejoint l'idée de difficultés de perception globale chez les enfants ayant un TSA, sans présence d'une force particulière en ce qui a trait à la perception des détails (dans un contexte d'apprentissage de catégories à attributs locaux).

3.5.3 Apprentissage non supervisé

Concernant les catégories à attributs distribués, les résultats au tableau 3.10 indiquent que les enfants DT qui s'avèrent meilleurs à la tâche ABX intercatégorielle avant la catégorisation sont également meilleurs au premier bloc de catégorisation, ayant bénéficié davantage durant l'apprentissage non supervisé (par exposition passive pendant la tâche ABX) de cette première phase. Le même constat est présent chez les enfants du groupe d'enfants ayant un TSA : ceux qui s'avèrent meilleurs à la tâche ABX intercatégorielle avant la catégorisation étant également meilleurs au premier bloc de catégorisation. Ce n'est pas le cas pour les catégories à attributs locaux, ni chez les individus DT ni chez les individus ayant un TSA. Il ne semble pas y avoir d'effet d'apprentissage non supervisé pour les poissons à partir du ABX alors que ce serait le cas pour les textures.

Tableau 3.10 Liens entre le résultat intercatégoriel à la première tâche ABX et le premier bloc de catégorisation

	Enfants DT		Enfants ayant un TSA	
	r(n)	p	r(n)	p
Poissons	0.19 (20)	0.42	0.36 (20)	0.12
Textures	0.47 (20)	0.04	0.47 (19)	0.05

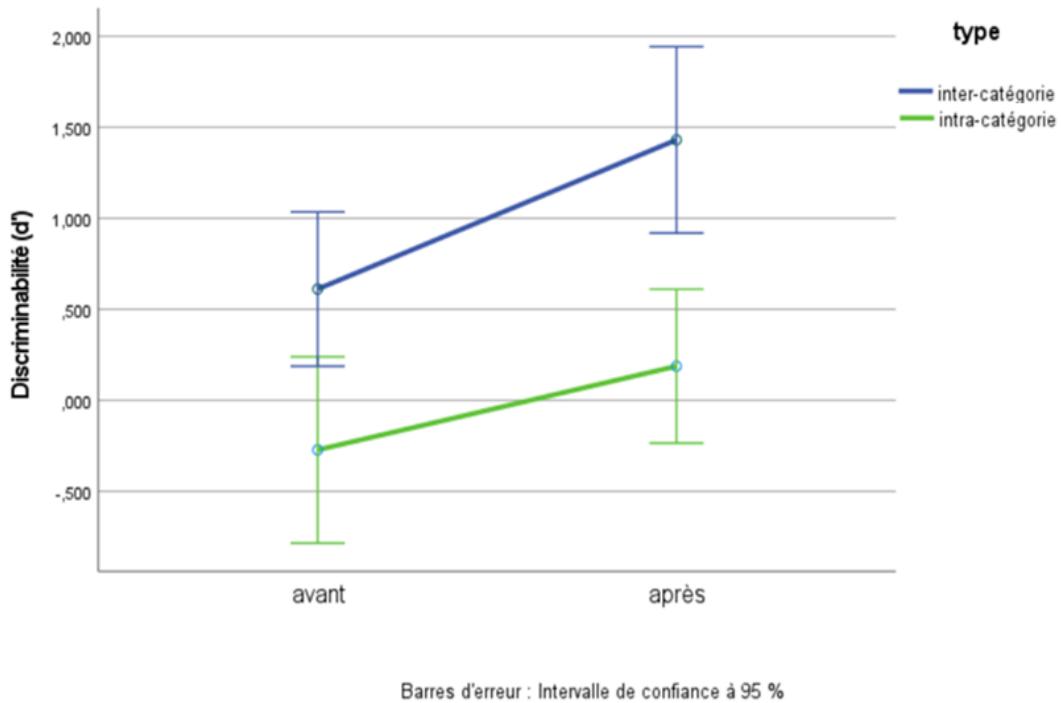
3.6 Perception catégorielle

Il est utile de rappeler que la PC est un phénomène survenant à la suite de l'apprentissage de nouvelles catégories. La tâche ABX administrée avant et après l'apprentissage permet de comparer la discriminabilité des stimuli pour ces deux temps de mesure et d'ainsi observer l'effet de PC. Une ANOVA à mesure répétée a été utilisée pour chaque groupe et chaque type de stimuli avec en variable dépendante, la capacité de discriminer les stimuli, opérationnalisée par le d' (voir section 2.4 pour davantage d'explications sur le calcul du d') et en variables indépendantes, le type de paires de stimuli (intercatégorielle ou intracatégorielle), ainsi que le temps de mesure (avant ou après l'apprentissage de catégories).

3.6.1 Stimuli à attributs distribués (textures)

3.6.1.1 Groupe d'enfants à développement typique

Figure 3.18 Effet de PC des textures (groupe d'enfants à développement typique)



L'effet d'interaction n'est pas significatif ($F_{(1,19)}=0.73$, $p=0.40$, $\eta^2=0.04$), probablement, parce qu'un certain niveau de séparation est déjà présent avant même l'apprentissage des catégories (les paires d'images de différentes catégories sont plus facilement discriminables que les paires de la même catégorie). En effet, l'analyse visuelle du graphique permet tout de même d'observer un effet de séparation subséquent où les participants DT sont devenus encore plus performants pour différencier les paires de stimuli qui sont dans des catégories différentes. Il n'y a toutefois pas d'effet de compression. Les enfants DT sont également devenus meilleurs pour différencier les paires appartenant à la même catégorie, mais moins que pour les paires de catégories différentes, signalant un effet de PC bel et bien présent.

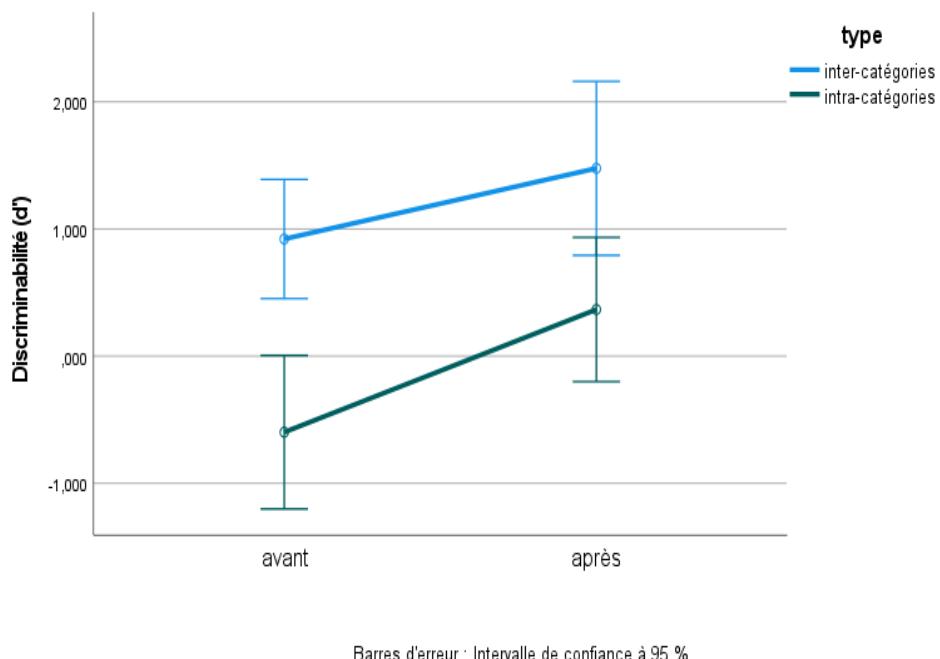
Il y a d'ailleurs un effet d'apprentissage significatif ($F_{(1,19)}=11.54$, $p<0.01$, $\eta^2=0.38$), indiquant une amélioration autant pour la discrimination intercatégorielle qu'intracatégorielle après l'apprentissage des catégories, ainsi qu'un effet significatif ($F_{(1,19)}=22.21$, $p<0.01$, $\eta^2=0.54$) en lien avec la différence entre la réussite à la tâche de discrimination inter et intracatégorielle aux deux temps de mesure. Cet effet

confirme que le niveau de discriminabilité des paires de deux catégories différentes est plus grand que le niveau de discriminabilité des paires d'une même catégorie avant et après l'apprentissage des catégories.

Il est possible d'aller plus loin dans l'exploration des effets de PC en analysant les liens entre la discriminabilité initiale des paires de même catégorie ou de catégories différentes et les effets de PC après l'apprentissage des dites catégories. Une corrélation négative significative est retrouvée ($r=-0.64$; $p=0.002$; $n=20$), indiquant qu'une plus grande difficulté initiale à discriminer les images de catégories différentes par rapport aux images de la même catégorie entraîne un plus grand effet de PC après l'apprentissage des catégories.

Il est ensuite possible de diviser les sujets selon l'orientation initiale de leurs résultats à la tâche de discriminabilité (si la discriminabilité des paires de catégories différentes est plus grande ou plus faible que la discriminabilité des paires de même catégorie).

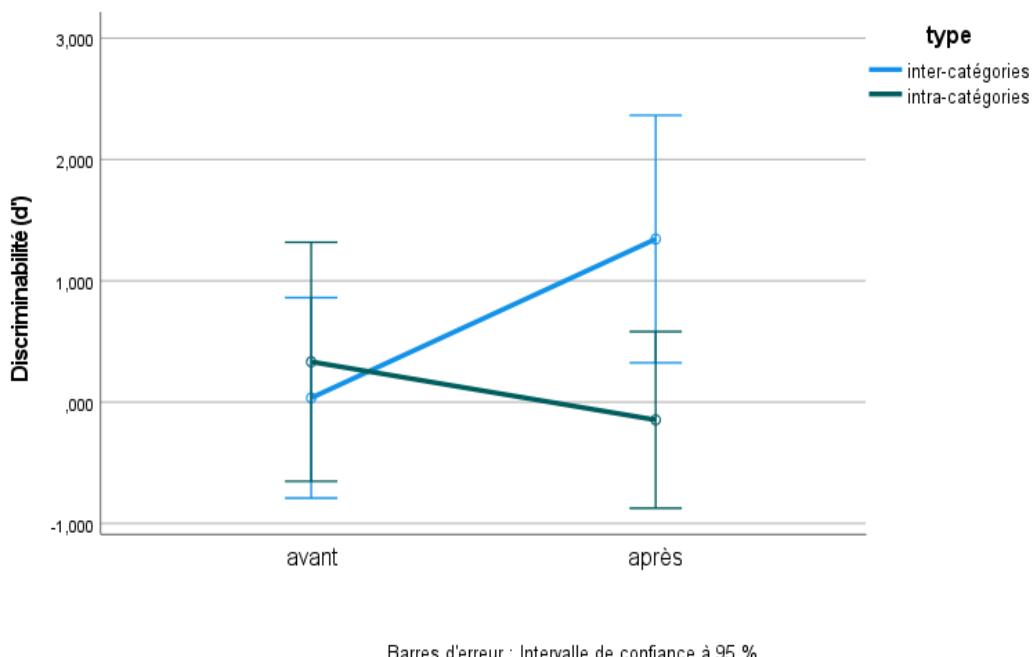
Figure 3.19 Effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs distribués



Note : enfants DT , $n = 13$

Lorsque la discriminabilité des paires de catégories différentes est meilleure que la discriminabilité des paires de même catégorie au départ (donc une séparation initiale est déjà présente), une analyse visuelle du graphique indique un effet de séparation à la suite de l'apprentissage, mais également une amélioration de la discrimination des paires de même catégorie, possiblement en lien avec un effet d'apprentissage perceptif général tel que décrit par Gibson (Pick, 1992). L'effet d'interaction entre l'apprentissage et le type de paires de stimuli n'est ainsi pas significatif ($F_{(1,12)}=0.802$, $p=0.39$, $\eta^2=0.06$). L'apprentissage entraîne toutefois une amélioration significative de la discriminabilité ($F_{(1,12)}=10.82$, $p<0.01$, $\eta^2=0.47$) et les paires de stimuli de catégories différentes sont généralement mieux discriminées que les paires de même catégorie, avant et après l'apprentissage ($F_{(1,12)}=22.42$, $p<0.001$, $\eta^2=0.65$).

Figure 3.20 Effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs distribués

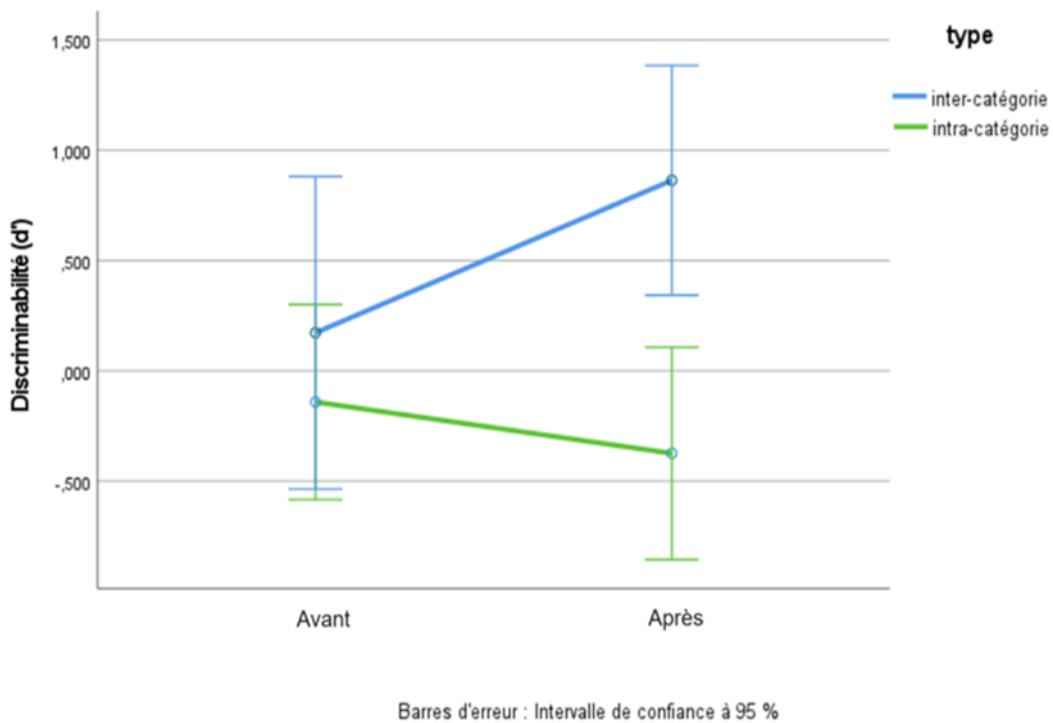


Note : enfants DT, $n = 7$

Lorsque la discriminabilité initiale des paires de catégories différentes est plus faible ou renversée, il est possible d'observer un effet de PC significatif beaucoup plus important ($F_{(1,6)}=10.37$, $p=0.02$, $\eta^2=0.63$) avec la présence d'effets de séparation et de compression. Les effets d'apprentissage ($F_{(1,6)}=1.58$, $p=0.26$, $\eta^2=0.21$) et de type de paires de stimuli ($F_{(1,6)}=3.01$, $p=0.13$, $\eta^2=0.33$) ne sont pas significatifs, pour leur part.

3.6.1.2 Groupe d'enfants ayant un TSA

Figure 3.21 Effets de PC des textures (groupe d'enfants ayant un TSA)



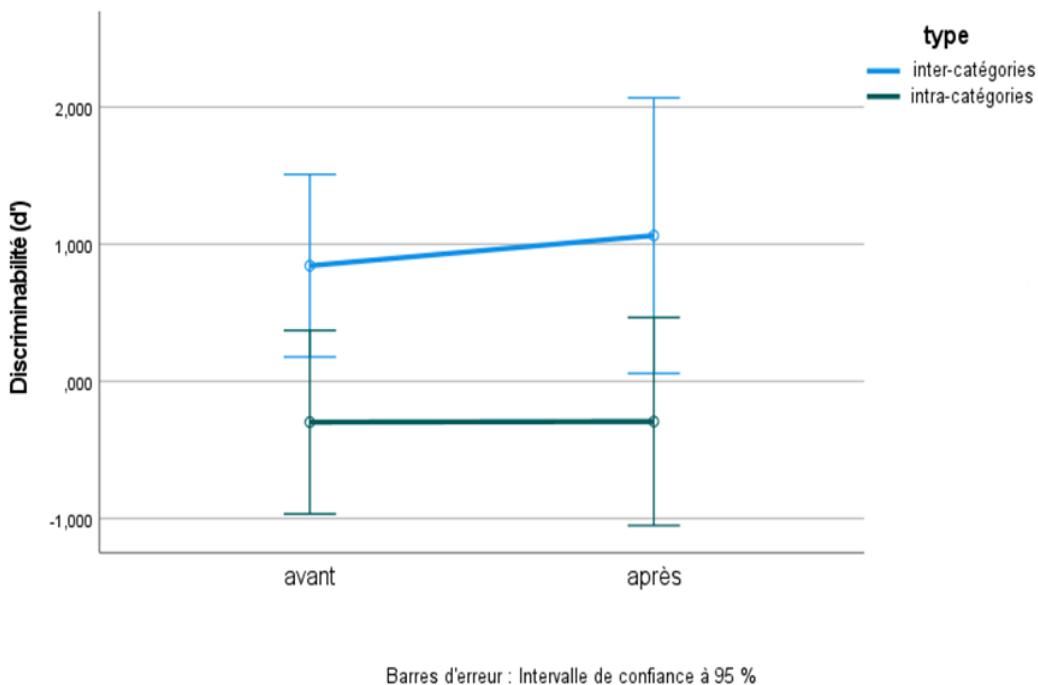
L'analyse visuelle du graphique montre des effets de séparation et de compression prononcés. Il y a augmentation de la discriminabilité intercatégorielle et diminution de la discriminabilité intracatégorielle. Confirmant ce fait, il y a présence d'un effet d'interaction significatif ($F(1,18)=7.02$, $p=0.02$, $\eta^2=0.28$) entre le temps de mesure (avant ou après l'apprentissage) et la discriminabilité inter ou intracatégorielle. Cet effet est de grande taille.

L'effet principal de type de discrimination (intra ou intercatégorielle) est également significatif ($F_{(1,18)}=11.13$, $p<0.01$, $\eta^2=0.38$), indiquant une différence entre la discrimination des paires intracatégorielles et intercatégorielles avant et après l'apprentissage des catégories. L'effet principal d'apprentissage, pour sa part, n'est pas significatif ($F_{(1,18)}=1.05$, $p=0.32$, $\eta^2=0.06$), signalant une absence de différence entre les résultats de discriminabilité avant et après l'apprentissage, toutes paires de stimuli combinées.

Des effets de PC sont ainsi retrouvés dans les deux groupes, impliquant que l'effet de PC peut apparaître chez une population d'individus ayant un TSA, malgré les différences dans le fonctionnement perceptif observées dans la littérature sur le sujet.

Une corrélation négative ($r=-0.67$; $p=0.002$; $n =20$) entre la discriminabilité initiale et les effets de PC montre que la PC est plus forte lorsque les catégories ont été peu distinctes avant qu'elles aient été apprises. Les effets de PC peuvent aussi être davantage explorés chez les enfants ayant un TSA en analysant distinctement les cas de figure où une séparation initiale est présente (la discriminabilité des paires de catégories différentes est plus grande que pour les paires de même catégorie) et où ce n'est pas le cas. Il est à noter qu'un sujet a été écarté, car la discriminabilité initiale des paires de même catégorie et de catégories différentes était égale, il n'entrait ainsi dans aucun des deux cas de figure suivants.

Figure 3.22 Effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs distribués

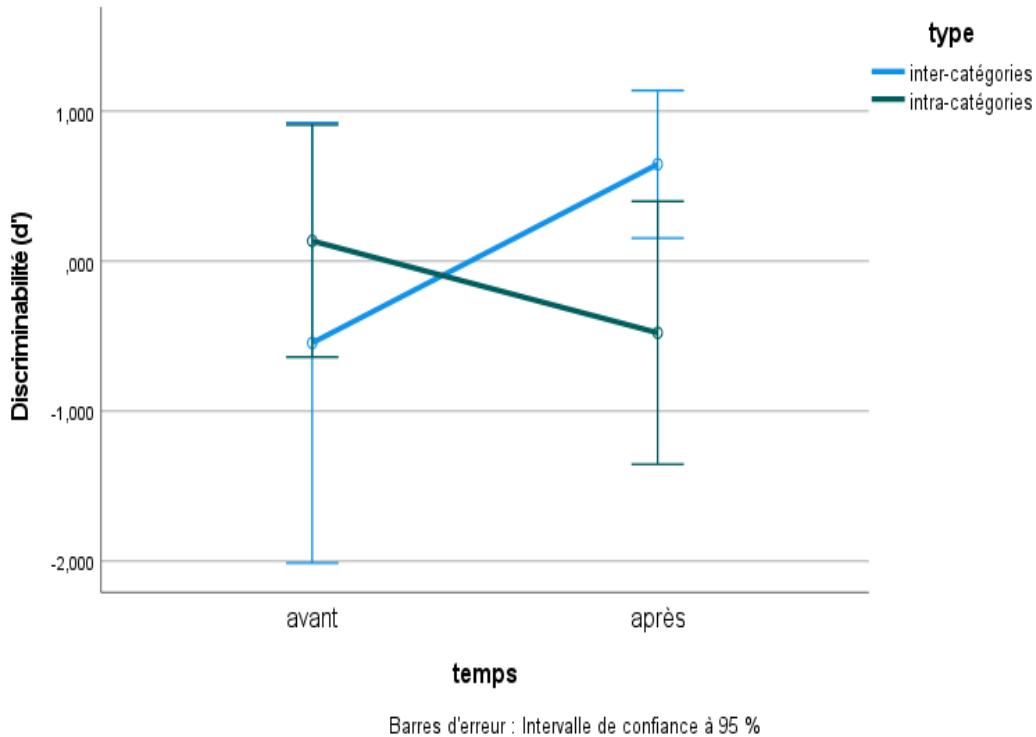


Note : enfants ayant un TSA, $n = 10$

Pour le groupe d'enfants ayant un TSA, de la même façon que pour les enfants du groupe DT, des effets de séparation sont retrouvés, mais moins prononcés lorsqu'une séparation initiale est déjà

observée au départ (avant l'apprentissage des catégories). L'effet d'interaction en lien avec la PC n'est ainsi pas significatif ($F(1,9)=0.32$, $p=0.59$, $\eta^2=0.03$) et les items appartenant à des catégories différentes sont plus facilement discriminés ($F(1,9)=14.86$, $p=0.004$, $\eta^2=0.62$) avant et après l'apprentissage des catégories, l'effet d'apprentissage n'étant ainsi pas significatif ($F(1,9)=0.18$, $p=0.68$, $\eta^2=0.02$).

Figure 3.23 Effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs distribués



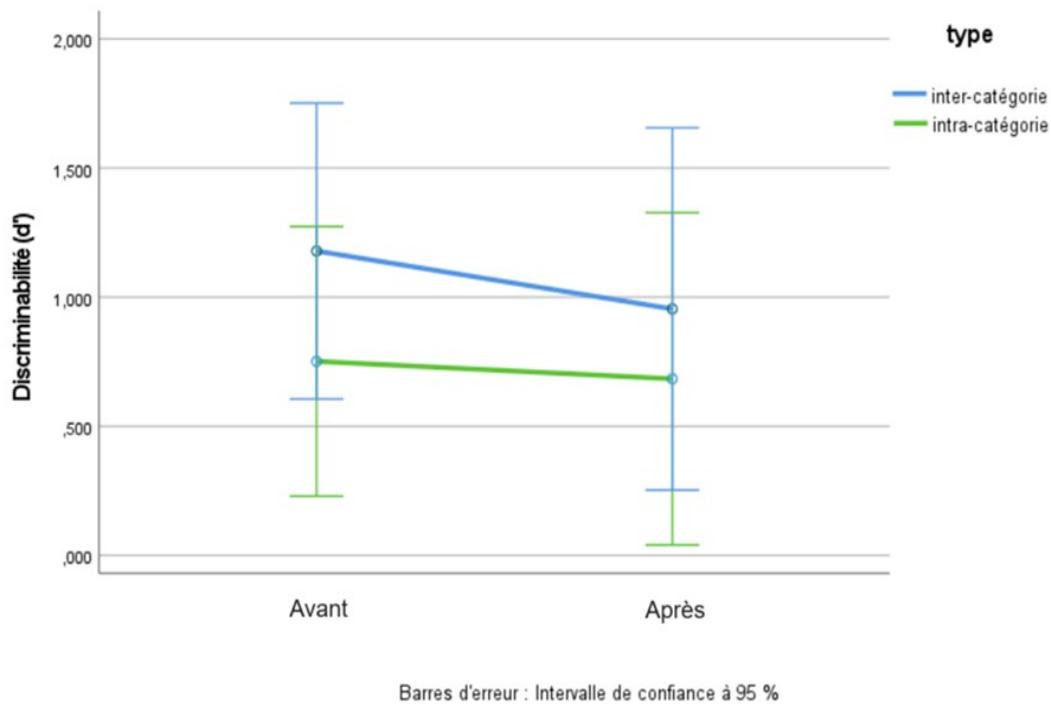
Note : enfants ayant un TSA, $n = 10$

Dans le cas où la discriminabilité initiale est meilleure pour les items appartenant à la même catégorie que pour les items de catégories différentes, l'effet de PC obtenu est beaucoup plus important et significatif ($F(1,7)=10.60$, $p=0.01$, $\eta^2=0.60$). Les effets d'apprentissage ($F(1,7)=0.47$, $p=0.52$, $\eta^2=0.06$) et de type de paires de stimuli ($F(1,7)=0.64$, $p=0.45$, $\eta^2=0.08$) ne sont pas significatifs. Le profil retrouvé dans les effets de PC pour les catégories à attributs distribués est très semblable chez les enfants ayant un TSA et DT (des effets de PC prononcés lorsque la séparation initiale est faible ou inversée, et des effets beaucoup plus modestes lorsque la séparation initiale est importante).

3.6.2 Stimuli à attributs locaux (poissons)

3.6.2.1 Groupe d'enfants à développement typique

Figure 3.24 Effets de PC des poissons (groupe d'enfants DT)



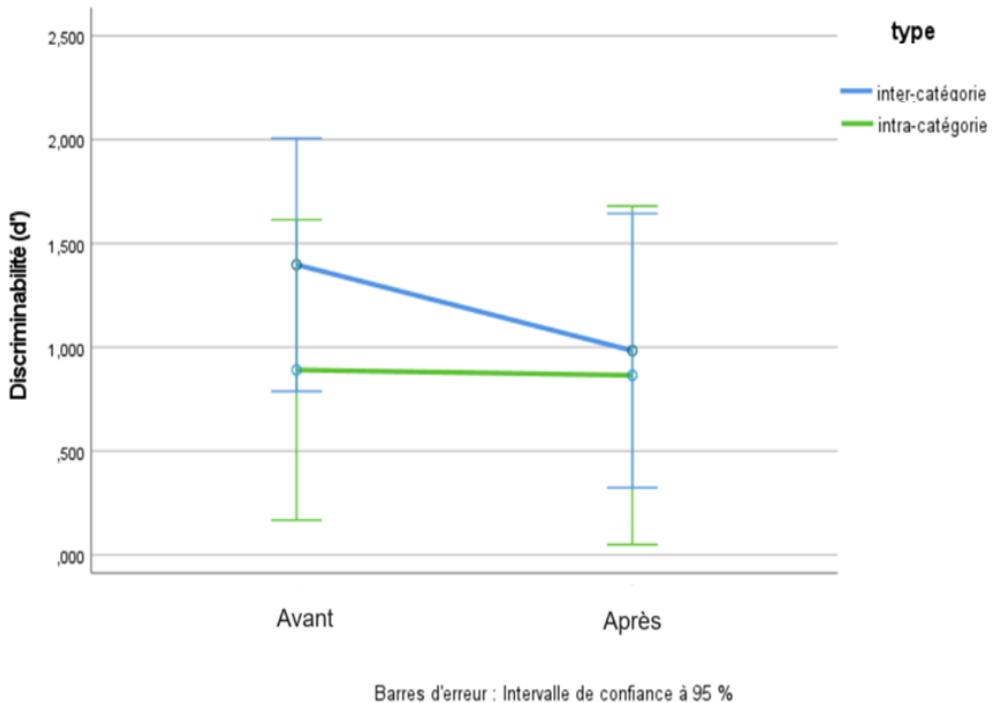
L'analyse visuelle du graphique indique une diminution non significative de la discriminabilité intercatégorielle et aucun changement en discriminabilité intracatégorielle. L'effet d'interaction entre le temps de mesure et le type de paires de stimuli n'est pas significatif ($F_{(1,19)}=0.16$, $p=0.69$, $\eta^2=0.01$).

Les effets principaux de l'apprentissage de catégories ($F_{(1,19)}=0.29$, $p=0.59$, $\eta^2=0.02$) et de types de discriminabilité, soit intra ou intercatégorielle ($F_{(1,19)}=3.27$, $p=0.09$, $\eta^2=0.15$) ne sont également pas significatifs.

Une corrélation négative non significative est retrouvée entre la séparation initiale des résultats à la tâche de discrimination et les effets de PC globaux après l'apprentissage des catégories ($r=-0.39$; $p=0.09$; $n=20$). Les analyses distinctes de PC selon le niveau de séparation initiale ne seront ainsi pas rapportées pour les catégories à attributs locaux pour le groupe d'enfants DT.

3.6.2.2 Groupe d'enfants ayant un TSA

Figure 3.25 Effets de PC des poissons (groupe d'enfants ayant un TSA)



L'effet d'interaction entre le type de discriminabilité (intracatégorielle ou intercatégorielle) et le temps de mesure (avant ou après l'apprentissage) n'est pas significatif ($F_{(1,19)}=2.53$, $p=0.13$, $\eta^2=0.12$). Les effets principaux d'apprentissage ($F_{(1,19)}=3.11$, $p=0.09$, $\eta^2=0.14$) et de types de discriminabilité ($F_{(1,19)}=1.41$, $p=0.25$, $\eta^2=0.07$) ne sont également pas significatifs, signalant que, globalement, il n'y a pas de changement en lien avec la discriminabilité avant et après l'apprentissage, et qu'il n'y a pas de différence significative entre la discriminabilité intra et inter catégorielle lorsque l'on tient compte des deux temps de mesure de façon confondue.

Les deux groupes sont ainsi semblables dans l'absence d'effet de PC pour ce qui est des catégories à attributs locaux dans la présente étude. Une corrélation négative significative est toutefois retrouvée pour le groupe d'enfants ayant un TSA entre le degré de séparation initiale et les effets de PC obtenus après l'apprentissage ($r=-0.53$; $p=0.02$; $n=20$). Lorsque des analyses distinctes sont effectuées, selon le type de séparation initiale (discriminabilité des items de même catégorie plus grande ou plus petite que la

discriminabilité des items de catégories différentes), cependant, les résultats obtenus ne signalent aucun effet significatif. Les résultats peuvent être retrouvés à l'annexe B.

3.6.3 Développement et perception catégorielle

Des corrélations de Pearson sont faites entre l'âge des participants et l'effet de PC (voir la section 2.4 Analyses statistiques pour le calcul) pour vérifier la présence ou l'absence d'effet développemental de celle-ci (l'absence de lien étant l'hypothèse prédictive par la littérature).

3.6.3.1 Groupe d'enfants à développement typique

Les corrélations positives retrouvées entre l'âge des participants et l'effet de PC (indice global de PC prenant en compte l'addition des effets de compression et de séparation) ne sont pas significatives, autant pour ce qui est des stimuli à attributs distribués ($r=-0.30$; $p=0.20$; $n=20$) que des stimuli à attributs locaux ($r=0.20$; $p=0.41$; $n=20$). Il n'y a pas d'indication que la PC évoluerait selon l'âge chez les enfants DT d'âge primaire.

3.6.3.2 Groupe d'enfants ayant un TSA

Comme pour le groupe d'enfants DT les corrélations entre l'âge des participants ayant un TSA et l'effet de PC ne sont pas significatives pour les stimuli à attributs distribués ($r=-0.33$; $p=0.17$; $n=19$) ou locaux ($r=0.05$; $p=0.83$; $n=20$). Chez les enfants ayant un TSA d'âge primaire, n'y a également pas d'effet développemental de la PC.

3.6.4 Apprentissage et perception catégorielle

La présence d'un lien possible entre le niveau d'apprentissage (pourcentage de réussite au troisième bloc de catégorisation) et les effets de séparation et de compression a été vérifiée par des corrélations de Pearson de façon distincte pour les deux groupes de participants. Les tableaux ci-dessous montrent les résultats de ces corrélations.

3.6.4.1 Groupe d'enfants à développement typique

Tableau 3.11 Liens entre l'apprentissage et les effets de séparation et de compression pour les deux types de stimuli du groupe d'enfants DT

	Textures		Poissons	
	r(n)	p	r(n)	p
Apprentissage - effet de séparation	0.30 (20)	0.20	-0.23 (20)	0.32
Apprentissage - effet de compression	-0.10 (20)	0.66	-0.42 (20)	0.06

Il n'y aucune corrélation significative entre le niveau d'apprentissage des catégories et les effets de séparation et de compression pour les deux types de stimuli chez les enfants DT.

3.6.4.2 Groupe d'enfants ayant un TSA

Tableau 3.12 Liens entre l'apprentissage et les effets de séparation et de compression pour les deux types de stimuli du groupe d'enfants ayant un TSA

	Textures		Poissons	
	r(n)	p	r(n)	p
Apprentissage - effet de séparation	-0.09 (19)	0.70	0.42 (20)	0.07
Apprentissage - effet de compression	0.16 (19)	0.51	0.26 (20)	0.28

Encore une fois, aucune corrélation significative entre le niveau d'apprentissage des catégories et les effets de séparation et de compression pour les enfants ayant un TSA d'âge primaire.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Ce chapitre permet de faire l'intégration de tous les résultats obtenus et d'en analyser la teneur et les implications pour les connaissances sur l'apprentissage de catégories chez les enfants.

4.1 Catégorisation et développement

Pour résumer, le nombre moyen d'essais pour atteindre le critère d'apprentissage était de 100 pour le groupe d'enfants ayant un TSA (47% des enfants du groupe ont réussi à atteindre ce critère) et de 108 pour le groupe d'enfants DT (75% des enfants du groupe ont réussi à atteindre ce critère), soit au début du deuxième bloc. Les catégories à attributs locaux sont plus longues (126 essais pour le groupe d'enfants ayant un TSA et 153 essais pour le groupe d'enfants DT ont été nécessaires en moyenne) et plus difficiles à apprendre pour les enfants des deux groupes (25% des enfants seulement ont atteint le critère d'apprentissage pour chacun des deux groupes).

Le tableau suivant permet une présentation visuelle sommaire des corrélations significatives entre l'âge des enfants et les résultats à la fin des tâches de catégorisation pour chacun des deux groupes. Un effet développemental significatif (corrélation positive et significative entre l'âge et le résultat en fin de tâche de catégorisation) est indiqué en vert.

Tableau 4.1 Résumé des effets développementaux

	Groupe d'enfants DT		Groupe d'enfants ayant un TSA	
	r	p	r	p
Poissons	0.54 (n=20)	0.02	0.53 (n=20)	0.02
Textures	0.31 (n=20)	0.19	0.73 (n=19)	0.01

4.1.1 Développement chez les enfants à développement typique

Un effet développemental des capacités d'apprentissage de nouvelles catégories visuelles est présent chez les enfants DT lorsqu'il s'agit d'apprendre des catégories à attributs locaux, mais la tendance n'est pas

significative en ce qui a trait aux catégories à attributs distribués. Il est possible que les stimuli à attributs distribués étant plus faciles à apprendre pour le présent échantillon, l'effet développemental ait été masqué chez les enfants DT. Les enfants DT, même les plus jeunes, ont souvent réussi à apprendre les catégories avant même le troisième et dernier bloc de catégorisation.

En effet, les résultats des enfants du présent échantillon sont comparables à ceux obtenus par Pérez-Gay Juárez et al. (2017) pour l'apprentissage de catégories à attributs distribués (des textures très similaires à celles de la présente étude) par des adultes tout-venant. Chez les adultes, 80% des dix participants ayant effectué la tâche au même niveau de difficulté (3 attributs covariants sur 6) ont atteint le critère d'apprentissage en, en moyenne, 138 essais, alors que 75% des 20 enfants DT de la présente étude l'ont atteint en, en moyenne, 108 essais.

Sloutsky (2010) émet l'hypothèse que les catégories plus denses (qui ont un plus grand ratio d'attributs covariants) et avec un fondement plus perceptif (donc plus implicites, comme les textures) sont plus faciles à apprendre pour les enfants plus jeunes que des catégories plus éparses (dont les attributs covariants sont noyés parmi d'autres attributs au hasard) et basées sur des attributs verbalisables. En se basant sur cette théorie, il est possible que le développement pour la catégorisation avec des attributs distribués, qui sont, dans le cas de la présente étude, plutôt denses et perceptifs, se fasse plus tôt que huit ans chez les enfants DT, l'âge minimal de l'échantillon. D'après cette hypothèse, l'effet développemental serait masqué chez des enfants plus âgés, comme c'est le cas pour la présente étude.

Une hypothèse semblable est nommée dans un article de Ashby et al. (1998) qui prédisent une différence entre les catégories implicites (non-verbalisables), telles que les catégories à attributs distribués (textures) de la présente étude, et les catégories explicites (verbalisables) comme le sont les catégories à attributs locaux (poissons). Ces auteurs posent l'hypothèse que la maturation différentielle des circuits neuronaux entraîne un développement différent selon le type de catégories avec un délai pour les catégories explicites et verbalisables (comme les poissons de cette étude) dont une partie des circuits davantage impliqués (préfrontaux) se développeraient plus tardivement. Cela viendrait également appuyer l'idée d'un développement se produisant plus tôt que l'âge primaire pour les catégories implicites (comme les textures).

Cela étant dit, malgré ces possibles explications, puisque l'absence d'effet développemental, même à l'âge scolaire, entre tout de même en contradiction avec la littérature au sujet du développement de

l'apprentissage de catégories, force est d'envisager un artefact dû au faible nombre de participants dans le groupe d'enfants à développement typique ($n = 20$).

4.1.2 Développement chez les enfants ayant un TSA

Puisqu'il n'a pas été possible de trouver de fondement dans la littérature sur des changements selon l'âge en apprentissage de nouvelles catégories visuelles chez les enfants ayant un TSA, la présente étude en devient une des premières explorations de ce sujet. Gastgeb et al. (2006) ont étudié un sujet limitrophe en vérifiant un possible effet développemental (selon l'âge des participants) dans une tâche de catégorisation d'items typiques et moins familiers, mais dont les catégories sont déjà connues des participants (ex. des exemplaires de chats, de chiens ou de meubles), contrairement au présent projet où la tâche requérait l'apprentissage de nouvelles catégories, et ce sont les temps de réaction qui étaient mesurés et comparés. Les résultats démontrent un ralentissement pour la catégorisation adéquate d'items typiques et moins familiers chez les enfants ayant un TSA de neuf à 12 ans, ainsi que pour la catégorisation d'items moins familiers chez les adolescents ayant un TSA entre 13 et 16 ans, lorsque comparés à des enfants DT du même âge. Les auteurs en concluent à des déficits persistants en catégorisation au fil du développement TSA, mais les ralentissements pourraient tout de même être dus à d'autres facteurs, comme une vitesse de traitement de l'information plus faible, par exemple. Ils observent cependant une amélioration développementale de la vitesse de catégorisation chez les enfants ayant un TSA et le groupe contrôle DT entre l'âge de neuf et 16 ans.

Newell et al. (2011), pour leur part, ont fait l'étude de la catégorisation de visages humains typiques et moins familiers appartenant au genre féminin ou masculin par des enfants, des adolescents et des adultes ayant un TSA, accompagnés d'un groupe contrôle. Les enfants ayant un TSA accusent un retard sur les enfants DT dans la catégorisation des visages dès l'âge de huit ans, où les enfants DT atteignent des performances semblables aux groupes d'adolescents et d'adultes, alors que les enfants ayant un TSA présentent des difficultés concernant les visages moins familiers. Cela se poursuit tout au long du développement, alors que les adolescents et les adultes du groupe d'enfants ayant un TSA présentent également des déficits en comparaison des groupes contrôles. Un effet développemental de la catégorisation des visages est tout de même présent chez les enfants ayant un TSA, mais seulement entre l'âge de cinq et huit ans où les visages typiques sont catégorisés de plus en plus efficacement. La catégorisation des visages demeure toutefois un cas de figure particulier en raison des processus cognitifs

distincts y étant reliés (Brosh et al., 2010). Les deux études décrites précédemment sont également mises en commun et analysées dans l'article de Gastgeb et Strauss (2012).

Dans la présente étude, un effet développemental est observé chez le groupe d'enfants ayant un TSA autant pour ce qui est de l'apprentissage de catégories à attributs distribués (textures) que des catégories à attributs locaux (poissons). Dans un cas comme d'en l'autre, les enfants ayant un TSA plus jeunes ont généralement moins aisément appris les nouvelles catégories que les enfants plus âgés. Cela reste en cohérence avec l'effet développemental observé par Gastgeb et al. (2006) en catégorisation. La catégorisation des visages, pour sa part, étant un acte nécessaire à l'enfant très jeune (nourrisson), il est ainsi cohérent que l'effet développemental ait lieu plus tôt (avant l'âge de huit ans).

4.1.3 Comparaison du développement

Il y a présence d'un effet développemental (augmentation des capacités avec l'âge) en ce qui a trait aux catégories à attributs locaux, mais pas pour ce qui est des catégories à attributs distribués chez les enfants DT. Il est postulé que l'effet développemental des catégories à attributs distribués (textures) serait vraisemblablement survenu plus tôt que l'âge de l'échantillon de la présente étude (avant l'âge de huit ans). Chez les enfants ayant un TSA, un effet développemental est observé autant pour les catégories à attributs distribués que pour les catégories à attributs locaux. Il est en cohérence avec les résultats de Newell et al. (2011), que les effets développementaux pourraient survenir plus tôt chez les enfants DT que chez les enfants ayant un TSA, comme il semble être le cas ici pour les catégories à attributs distribués. Les enfants DT auraient ainsi tendance à apprendre ce type de catégories, davantage perceptives et moins explicites (mais aussi avec un aspect plus global dans la catégorisation, à l'inverse de l'identification d'attributs locaux) plus aisément, plus jeunes, que les enfants ayant un TSA.

4.2 Comparaison des aptitudes de catégorisation

Plusieurs questions sont posées dans cette étude concernant les aptitudes de catégorisation. Existe-t-il des habiletés cognitives favorisant l'apprentissage de catégories, autant chez les enfants DT que TSA? Y a-t-il un type de stimulus plus aidant qu'un autre (local ou global) pour la catégorisation, chez les enfants DT? Et chez les enfants ayant un TSA ? Certaines de ces questions peuvent être partiellement résolues par les résultats obtenus et seront décrites dans les sections suivantes.

4.2.1 Apprentissage de nouvelles catégories et le fonctionnement perceptif en catégorisation

Le tableau suivant illustre un résumé des résultats obtenus par les deux groupes à la fin des tâches de catégorisation pour les deux types de catégories.

Tableau 4.2 Résumé des pourcentages moyens de réussite à la dernière partie des tâches de catégorisation pour les deux groupes

	Groupe d'enfants DT	Groupe d'enfants ayant un TSA
	M	M
Poissons	62%	60%
Textures	83%	70%

Les résultats de cette étude indiquent que les enfants ayant un TSA performent moins bien que les enfants DT pour apprendre des catégories visuelles à attributs distribués. Il s'agit de textures dont les attributs sont globaux (distribués dans l'ensemble de l'image) et non verbalisables. C'est probablement l'aspect global de ce type de stimulus qui a produit un impact sur l'apprentissage des enfants ayant un TSA. En effet, certains auteurs (de Jonge et al., 2007; Frith, 1989; Happe et Frith, 2006; Mottron, et Burack, 2001; Mottron et al., 2006) expriment dans la littérature que les personnes ayant un TSA présenteraient une préférence pour la perception des détails (comme dans les cas des attributs locaux), et rencontreraient parfois des difficultés à percevoir adéquatement les aspects globaux d'une image. Certains auteurs associent cette faiblesse avec un surfonctionnement perceptif dans certains contextes (p. ex. Mottron, 2016). Dans la présente étude, les enfants ayant un TSA ont performé de façon semblable aux enfants DT pour ce qui est de l'apprentissage de catégories à attributs locaux. Cela signale des aptitudes locales (ou des difficultés) similaires aux enfants DT en perception dans le cadre de la tâche administrée.

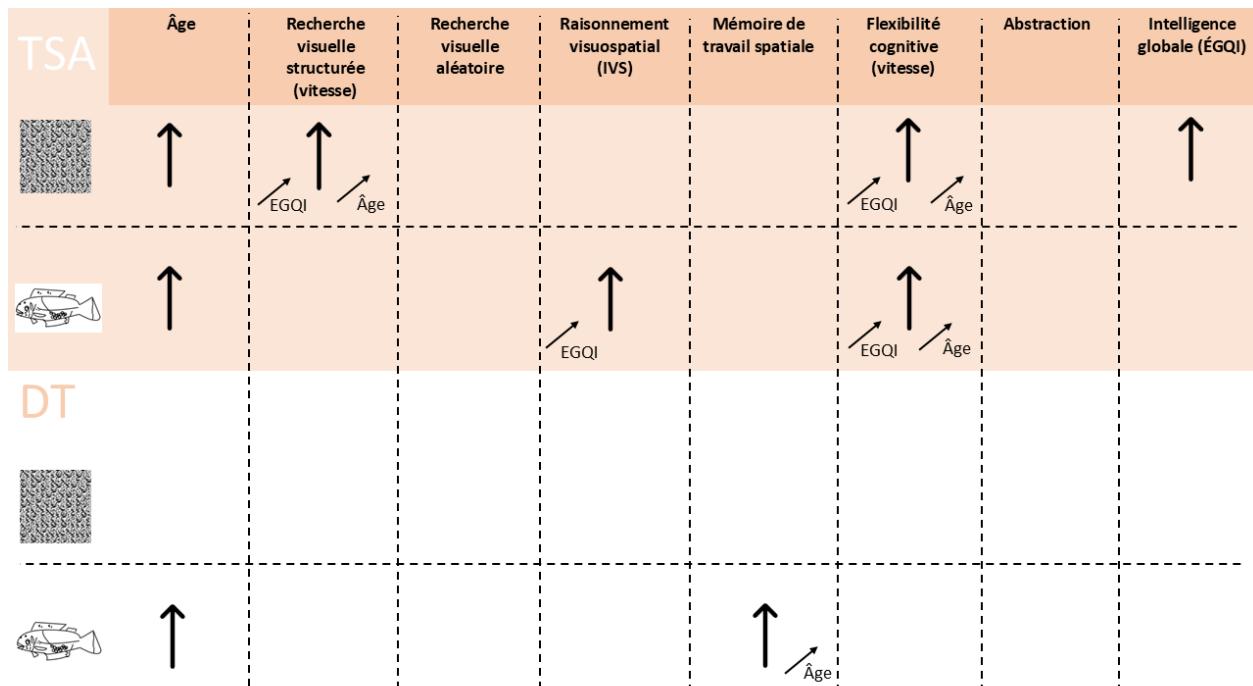
Tous groupes confondus (enfants ayant un TSA et enfants DT), les enfants ont appris significativement plus rapidement et profondément (ont atteint un pourcentage de bonnes réponses plus élevé en fin de tâche) les catégories à attributs distribués (les textures) que les catégories à attributs locaux (les poissons). Zettersten et Lupian (2020), pour leur part, ont trouvé qu'il est plus facile d'apprendre des catégories verbalisables et explicites que celles qui sont implicites pour une population d'adultes DT. Cela pourrait correspondre avec certains résultats obtenus par Pérez-Gay Juárez (2019), ainsi qu'avec les résultats

obtenus dans les simulations des réseaux neuronaux décrits à l'Annexe C, mais pas avec les données des enfants de la présente étude. Cela dit, ces études ont été effectuées avec un échantillon d'adultes. Comme mentionné précédemment, il est possible qu'un effet développemental différentié selon le type de catégorie soit présent et que les catégories implicites (dont les attributs ne sont pas verbalisables) telles que les textures, soient plus faciles à apprendre pour de jeunes enfants que les catégories explicites (dont les attributs sont verbalisables).

4.2.2 Précurseurs à l'apprentissage de catégories

Des résultats significatifs aux analyses de corrélations et de régressions sont obtenus concernant les fonctions cognitives pouvant expliquer les résultats aux deux tâches de catégorisation pour chacun des deux groupes à l'étude. Le tableau 4.1 ci-dessous permet d'en faire une recension. Une description des tâches utilisées pour mesurer les différentes fonctions est offerte à la section 2.3 du chapitre sur la méthode.

Figure 4.1 Représentation schématique des résultats aux corrélations et régressions effectuées relativement aux tâches de catégorisation



Note : Les flèches pointant vers le haut dans la colonne de l'âge et de l'intelligence globale représentent des corrélations positives significatives. Les flèches pointant vers le haut dans les autres colonnes sont présentes lorsqu'il existe une corrélation positive significative entre les tâches de catégorisation et la fonction cognitive, et que les résultats aux régressions effectuées démontrent une taille d'effet minimalement modérée. Les flèches diagonales dans le bas des cases à droite indiquent qu'une corrélation positive significative existe entre l'âge et le résultat à ce test pour

l'échantillon (enfants DT ou ayant un TSA). Les flèches diagonales dans le bas des cases à gauche indiquent qu'une corrélation positive significative existe entre l'intelligence globale (ÉGQI) et le résultat à ce test pour l'échantillon (enfants DT ou ayant un TSA).

4.2.2.1 Chez les enfants ayant un TSA

Il est ainsi observé que les enfants ayant un TSA de cet échantillon se reposent davantage sur leurs habiletés de flexibilité cognitive dans les deux conditions. Pour les stimuli à attributs distribués, la tâche de recherche visuelle structurée est aussi impliquée, alors que, pour les stimuli à attributs locaux, c'est le raisonnement visuospatial qui est engagé.

Cette portion de l'étude était plus exploratoire, surtout en ce qui a trait aux enfants présentant un TSA. En effet, aucune étude répertoriée n'avait encore mesuré les corrélats psychométriques de l'apprentissage des catégories chez les enfants de cette population, alors que certaines études s'y sont penchées pour ce qui est de la population d'enfants et d'adultes DT. Des corrélations positives entre le développement de ces fonctions et la catégorisation avaient été retrouvées en ce qui a trait à la mémoire, aux fonctions exécutives et à l'attention pour la population DT (Fisher, 2019; Fisher et al., 2015; Rabi et Minda, 2014; Sloutsky, 2010; Sloutsky et al., 2015; Smith, 1989). Il est toutefois intéressant de noter l'implication de la flexibilité cognitive (corrélation positive significative avec moyenne à grande taille d'effet dans les régressions) dans la présente étude chez les enfants ayant un TSA ayant mieux réussi aux tâches de catégorisation, autant avec les attributs locaux que distribués, alors que ce n'était pas le cas pour les enfants du groupe d'enfants DT. Il serait pertinent d'investiguer davantage un rapport possible avec les comportements de rigidité qui ont, dans certaines circonstances, un impact sur les capacités d'apprentissage des enfants ayant un TSA, particulièrement ceux dont la symptomatologie est plus handicapante (D'Cruz et al., 2013). Considérant les résultats des régressions effectuées (corrélations significatives entre la flexibilité cognitive et la réussite aux tâches de catégorisation pour les deux types de catégories dans le groupe d'enfants ayant un TSA), cela amène à croire possible (en toute spéculation toutefois, car les symptômes relatifs au TSA, dont la rigidité, n'ont pas été mesurés dans le présent échantillon) que les enfants ayant mieux réussi les tâches de catégorisation dans le groupe d'enfants ayant un TSA soient ceux qui ont fait preuve de moins de rigidité en étant capables de modifier leur stratégie lorsque celle-ci ne fonctionne pas, en d'autres mots, ceux ayant une meilleure flexibilité cognitive. Ces hypothèses rejoignent également les résultats de Maintenant et Blaye (2008) chez les enfants DT d'âge préscolaire qui lient le développement de la flexibilité cognitive et de la catégorisation. Il serait ainsi pertinent de se questionner sur l'influence de l'âge sur ces différentes fonctions qui ont été liées aux performances en catégorisation dans l'objectif de relier la maturation des circuits neuronaux (et donc des

fonctions cognitives) et de meilleures compétences en lien avec l'apprentissage de catégories. L'attention visuelle dans un contexte organisé (liée à la catégorisation de stimuli avec attributs distribués) et la flexibilité cognitive (liée à la catégorisation des deux types de stimuli de cette étude) présentent une amélioration significative avec l'âge, indiquant un lien de ces capacités avec la maturation.

Le raisonnement visuospatial n'est pas intrinsèquement relié avec l'âge (aucune corrélation significative), toutefois, il s'agit d'un indice obtenu en effectuant une normalisation des données selon l'âge dans un calcul précédent. Lorsque les corrélations des constituants individuels de cet indice sont analysées par rapport à l'âge, des corrélations positives significatives sont apparentes (sous-test blocs : $r=-0.65$; $p<0.01$; $n=21$; Sous-test casse-têtes visuels : $r=-0.63$; $p<0.01$; $n=17$), soutenant l'idée qu'il existe en effet un processus de maturation associé avec le raisonnement visuospatial chez les enfants ayant un TSA d'âge primaire. La corrélation positive entre les fonctions reliées à la performance en catégorisation et l'âge suggère (1) la présence d'un effet de maturation cognitive avec le temps qui améliore les capacités d'apprentissage de nouvelles catégories chez les enfants ayant un TSA et aussi que (2) il ne s'agit pas seulement d'un effet cumulatif des connaissances engrangées qui faciliterait l'apprentissage de nouvelles catégories chez les enfants ayant un TSA.

4.2.2.2 Chez les enfants à développement typique

Les résultats de la présente étude chez les enfants DT indiquent une corrélation positive et significative, ainsi qu'une grande taille d'effet significative aux analyses de régressions, entre la mémoire de travail spatiale et les performances (pourcentages de bonnes réponses) en fin de tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux chez les enfants DT d'âge primaire. Une explication possible de cette corrélation serait que plus les enfants se souvenaient précisément des poissons qu'ils observaient dans la tâche d'apprentissage de catégories, plus facile il devait être de repérer les attributs covariants avec les catégories, car les stimuli n'apparaissaient que pour une durée de 1,5 seconde et l'enfant devait ainsi conserver l'image en mémoire, n'ayant pas suffisamment de temps pour effectuer une recherche exhaustive dans l'image. Les enfants DT pouvaient ainsi poursuivre leur analyse mentale de l'image une fois celle-ci disparue de l'écran.

Une étude précédente par Louis et al. (2021), avait comparé les performances à des tâches psychométriques (indice de raisonnement perceptif du WAIS-IV et Doors Test) à la performance d'adultes à une tâche d'apprentissage de catégories visuelles à attributs distribués (similaire à celle de la présente

étude). Des corrélations partielles positives et significatives ont été rapportées entre la mémoire visuelle ainsi que le raisonnement perceptif, avec l'apprentissage de catégories visuelles à attributs distribués chez une quinzaine de jeunes adultes universitaires.

Il est intéressant de noter l'effet de l'âge sur les fonctions cognitives qui sont significativement corrélées à de meilleures capacités de catégorisation pour les stimuli à attributs locaux, chez les enfants du groupe d'enfants DT. En effet, une amélioration significative des capacités de mémoire de travail visuelle est retrouvée avec l'âge. Cela suggère que, comme chez les enfants du groupe d'enfants ayant un TSA, un effet de maturation cognitive est à l'œuvre.

4.2.3 Perception catégorielle

Les résultats aux analyses de PC sont résumés dans le tableau ci-dessous pour les enfants DT et TSA.

Tableau 4.3 Résumé des effets significatifs de PC

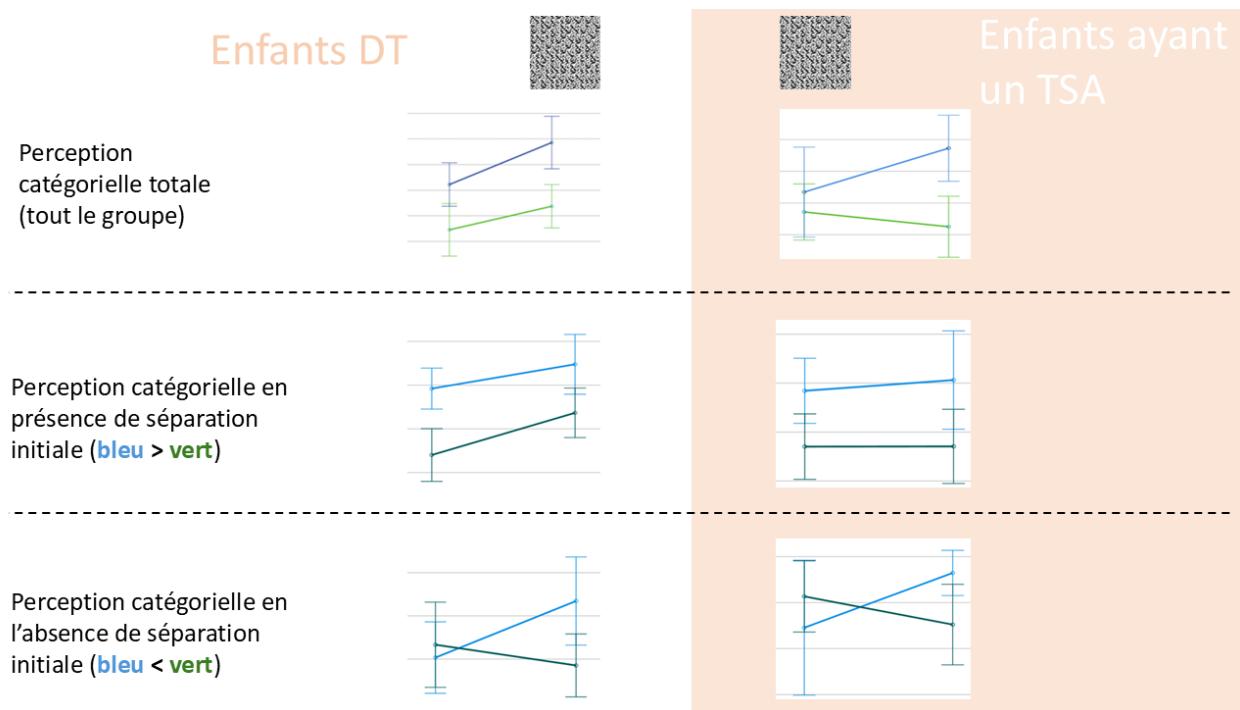
	Groupe d'enfants DT		Groupe d'enfants ayant un TSA	
	Effet de séparation	Effet de compression	Effet de séparation	Effet de compression
Poissons	Non	Non	Non	Non
Textures	Oui	Non	Oui	Oui

La présente étude permet de confirmer que les personnes ayant un TSA, du moins les enfants ayant un TSA d'âge primaire, sont capables de réelle PC apprise. Une seule autre étude (Soulières et al., 2007) avait traité de ce sujet (la PC de catégories visuelles acquises en autisme), mais les auteurs n'avaient pas comparé les tâches de discrimination avant et après l'apprentissage. Ils ne pouvaient ainsi trouver de réel effet de PC apprise, ce qui est un phénomène qui survient après l'apprentissage de nouvelles catégories. La présente étude est ainsi la première à comparer l'effet de PC à la suite de l'apprentissage de catégories visuelles chez les enfants ayant un TSA et DT.

Des effets de PC (séparation pour le groupe d'enfants DT et séparation et compression pour le groupe d'enfants ayant un TSA; Tableau 4.3) sont présents pour les catégories à attributs distribués (textures), mais pas pour les catégories à attributs locaux (poissons). Cela s'explique probablement par la difficulté qu'a posée l'apprentissage de ce deuxième type de catégories. En effet, seuls cinq enfants dans chacun de

nos deux groupes ont atteint le critère d'apprentissage de Pérez-Gay et al. (2017) de 80% de bonnes réponses maintenues sur 20 essais, ce qui consiste en une minorité des participants. Alors que, pour les catégories à attributs distribués, une majorité d'enfants des deux groupes confondus (62% des enfants) ont atteint ce seuil. Les deux groupes présentent également de plus grands effets de PC (pour les catégories à attributs distribués) lorsque la discriminabilité initiale des paires provenant de mêmes catégories est plus difficile, impliquant qu'il n'y ait pas de séparation des catégories avant l'apprentissage de celles-ci. La PC serait ainsi plus grande lorsque les enfants distinguent moins bien les catégories au départ. La fonction principale de la PC étant de permettre de différentier plus aisément les membres de catégories de catégories distinctes afin d'interagir adéquatement avec chacun, il est ainsi logique que de moins grands effets de PC soient nécessaires si cette différentiation est déjà présente avant même l'apprentissage. Une synthèse visuelle de ce patron de résultats est illustrée à la figure ci-dessous.

Figure 4.2 Représentation visuelle des effets de PC moyens obtenus pour les catégories à attributs distribués selon le niveau de séparation initiale



Note : Il est possible d'observer un schéma répétitif dans les résultats pour les deux groupes où les effets de PC sont beaucoup plus prononcés (graphiques de la dernière ligne en bas) lorsqu'il n'y a pas de séparation initiale (lorsque les éléments de catégories différentes sont plus difficiles à discriminer) que lorsque les éléments des catégories différentes sont déjà plus distincts au départ les uns des autres (graphiques de la ligne du milieu).

Pérez-Gay Juárez (2019) a également mesuré la PC de catégories à attributs locaux dans un groupe d'adultes DT. Elle a obtenu des résultats semblables en termes de proportion d'apprenants. Dans cette

étude, sur un total de 18 participants, seuls six d'entre eux ont réussi à apprendre les catégories (donc 33,3%) pour un niveau de difficulté équivalent (avec 3 attributs covariants). Alors que, dans le présent projet, 10 enfants ont appris les catégories à attributs locaux sur un total de 40 participants, soit 25% de l'échantillon total. La tâche de catégorisation utilisée par Pérez-Gay Juárez (2019) était plus brève et comportait 4 blocs de 50 essais, soit 200 essais au total, alors que la tâche de catégorisation de cette étude comportait 270 essais divisés en 3 blocs. La vitesse moyenne d'atteinte du critère de réussite pour les apprenants est toutefois similaire dans les deux études (moyenne de 143 essais pour les adultes et 140 essais pour les enfants). Contrairement aux résultats de la présente étude sur les enfants (qui ne trouvait pas de PC, ni la séparation intercatégorielle ni la compression intracatégorielle, après l'apprentissage des catégories à attributs locaux chez les enfants), Pérez-Gay Juárez (2019) en a trouvé chez les adultes. La tâche de discrimination utilisée était toutefois le jugement de dissimilarité, ce qui est plus subjectif que la discriminabilité ABX. Ces résultats n'expliquent tout de même pas l'absence de PC dans la présente étude. Il a donc été jugé pertinent de vérifier la présence d'un lien entre le degré d'apprentissage (pourcentage de réussite au troisième bloc de la tâche de catégorisation) et les effets de séparation et de compression obtenus chez les enfants de la présente étude. Aucune corrélation ne s'est avérée significative. Ce ne serait donc pas le manque d'apprentissage des catégories qui a entraîné l'absence d'effet de PC pour les catégories à attributs locaux, autant chez les enfants ayant un TSA que DT.

4.3 Constats des réseaux neuronaux

L'étude descriptive des mécanismes d'apprentissage des réseaux neuronaux (Annexe C) amène au constat d'une spécialisation graduelle vers les attributs pertinents dans le cas des attributs locaux. Cela peut se rapporter au concept de la réduction de la dimensionnalité (décrit par une analyse des réseaux neuronaux par Thériault et al., 2018), retrouvée en lien avec la PC. Il s'agit d'acquérir, par l'apprentissage supervisé, une sorte de filtre attentionnel : un détecteur sélectif de ces attributs sensoriels qui distinguent les membres des non-membres de la catégorie et qui supprime ou ignore les attributs que ne sont pertinents à la catégorisation. Dans le cas des catégories à attributs distribués, il est plus difficile pour le réseau d'effectuer ce travail, car il n'est pas possible de délimiter les attributs pertinents dans l'espace sur le stimulus. Avec les attributs distribués, le réseau semble tenter de repérer des macro-composantes (soit des motifs répétitifs dans l'image) permettant une possible catégorisation. Il est intéressant de noter que, lorsque questionnés sur leurs stratégies de catégorisation avec des stimuli à attributs distribués similaires à ceux de la présente étude (et similaires aux stimuli utilisés pour les simulations avec les réseaux neuronaux), les participants de l'étude de Pérez-Gay Juárez (2019) ont aussi rapporté des stratégies

s'apparentant à la recherche de macro-composantes. Cela, chez les adultes humains, pourrait être une tentative d'identifier une règle de catégorisation verbalisable (et donc de pouvoir recruter davantage les circuits cognitifs reliés à l'apprentissage explicite des catégories) dans un contexte où les attributs en eux-mêmes ne sont pas verbalisables. L'impossibilité de localiser les attributs réels permettant de catégoriser dans le cas des catégories à attributs distribués pourrait aussi expliquer la difficulté supplémentaire que pose ce type de catégories pour les réseaux neuronaux. Cela ressemble davantage aux résultats obtenus par Pérez-Gay Juárez (2019) avec les adultes, où un plus grand nombre d'essais moyen est nécessaire pour l'apprentissage des catégories à attributs distribués, que pour les attributs locaux. L'inverse est toutefois observé chez les enfants de la présente étude dans les deux groupes. Ces observations soutiennent la présence de deux processus de catégorisation distincts (l'un pour les attributs locaux, lié davantage aux capacités verbales et à la localisation précise des attributs, et l'autre pour les attributs distribués, davantage relié aux capacités perceptives en général) se développant à un rythme différent dans l'enfance.

Les effets de PC permettent aussi des informations sur les mécanismes d'apprentissage des réseaux neuronaux et des humains selon le type de catégorie. L'analyse des effets de PC dans les réseaux permet de constater l'apparition graduelle de séparation pour les catégories à attributs distribués, dès le début de l'auto-encodage (apprentissage non supervisé), alors que le début des effets de PC pour les catégories à attributs locaux se produit de façon très subite au moment de l'apprentissage supervisé. Cela proviendrait de l'aspect dichotomique de la tâche de catégorisation des stimuli à attributs locaux. Comme c'est le cas pour les enfants dans les pentes d'apprentissage relevées dans les deux groupes, une fois que les catégories sont acquises, les pourcentages de réussite deviennent rapidement très élevés et demeurent à ce niveau, alors que l'apprentissage peut être plus graduel (pour les réseaux et les enfants) pour ce qui est des catégories à attributs distribués. Il y a également présence de plusieurs apprenants immédiats dans les deux groupes (DT et TSA) de cette étude pour les catégories à attributs distribués, alors qu'il n'y en a aucun pour les catégories à attributs locaux. L'apprentissage est moins dichotomique pour les textures et semble pouvoir débuter au moment de la familiarisation avec les stimuli durant la première tâche ABX. La règle, qui n'est pas verbalisable, pourrait être ainsi partiellement acquise pendant un moment. Par ailleurs, un patron de résultats semblable à celui des enfants (pour les textures) est aussi retrouvé pour les réseaux neuronaux concernant l'ampleur de la PC selon la discriminabilité initiale des images de différentes catégories. En fait, un effet de PC est plus présent lorsque la discriminabilité initiale des images de catégories différentes est faible et de moins grande ampleur lorsque la discriminabilité initiale est déjà très élevée.

4.4 Forces et limites de l'étude

Cette étude offre un certain apport à la recherche fondamentale en catégorisation chez les enfants, notamment les enfants ayant un TSA. Elle comporte des forces intrinsèques à la méthode de recherche et aux résultats obtenus.

Premièrement, concernant les stimuli utilisés dans les tâches de discrimination et d'apprentissage de catégories, l'utilisation d'un grand nombre d'images prévient les stratégies mnémoniques. En effet, dans plusieurs études précédentes en catégorisation en autisme, seul un petit nombre de stimuli était généré, créant un biais possible dans les tâches. Les catégories utilisées dans la présente étude étaient d'ailleurs associées à la détection des attributs qui distinguent les membres des non-membres, que ces attributs soient verbalisables (comme dans le cas des poissons) ou implicites et perceptifs (comme pour les textures) ce que peu d'études ont fait jusqu'à présent.

Cette étude est également la première en catégorisation en autisme à utiliser deux types de stimuli, locaux et distribués, chez les mêmes participants afin d'en comparer l'apprentissage. Par ailleurs, cette étude est la seule dans le domaine de la catégorisation en autisme à vérifier la présence d'un effet de PC chez les enfants ayant un TSA à la suite de l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles (qui ne sont pas partiellement innées comme les couleurs, les visages ou les phonèmes).

Bien qu'elle présente certaines forces, la présente étude comporte également des limites dont il importe de tenir compte. La première limite, et la plus importante, est le faible nombre de participants avec seulement 41 enfants au total. Des difficultés de recrutement ont eu lieu en raison du contexte de pandémie (COVID-19) et ont empêché la tenue de la seconde partie de l'étude, soit une collecte de données supplémentaire auprès de 40 adolescents entre 12 et 15 ans. La complétion de la seconde partie de la collecte de données aurait peut-être contribué à obtenir des effets statistiques plus francs et à élargir la tranche d'âge utilisée afin de vérifier des effets développementaux plus larges.

Des limites sont aussi présentes en lien avec le recrutement de façon plus large. L'échantillon était constitué d'enfants tout-venant, divisés en deux groupes selon les informations offertes par les parents (et le type de classe de scolarisation). Les diagnostics n'ont pas été vérifiés et aucune mesure n'a été prise concernant la sévérité des symptômes d'autisme ou le niveau de fonctionnement (outre la mesure de l'intelligence globale). Considérant l'apparition du diagnostic de TSA dans le DSM-5 (APA, 2013) entraînant

la disparition des distinctions diagnostiques au sein du spectre, l'entité diagnostique de TSA en devient très large et peut entraîner des hétérogénéités en recherche lorsque des tentatives de comparaisons sont effectuées entre des enfants ne portant aucun diagnostic et des enfants ayant un TSA. L'ÉGQI différait également entre les deux groupes en raison de l'absence d'appariement formel. De plus, plusieurs enfants ayant un TSA de l'étude portaient aussi d'autres diagnostics, créant des biais potentiels dans les interprétations émises quant à l'identification du TSA comme facteur explicatif des résultats obtenus. Les prescriptions médicamenteuses de psychostimulant n'ont également pas été prises en compte.

La difficulté d'une calibration adéquate des tâches de discrimination et de catégorisation est venue produire un impact sur les résultats, surtout en ce qui a trait aux catégories à attributs locaux. Ces dernières se sont vues difficiles à apprendre, notamment pour les plus jeunes enfants (8-9 ans) des deux groupes entraînant une faible puissance statistique et l'absence de résultats concernant la PC. Certaines limites sont également inhérentes à la tâche de discrimination utilisée. En effet, les participants peuvent utiliser des stratégies, telles que de tenir compte seulement des deux dernières images présentées, transformant alors la tâche en une tâche AX (*same-different*) plutôt que ABX. Un biais potentiel pourrait ainsi être introduit, les participants jugeant de l'appartenance à la même catégorie (identifient toutes les images de la même catégorie comme identiques), plutôt que du fait objectif que deux images soient identiques ou non. Cette stratégie pourrait avoir comme effet de renforcer de façon artificielle les effets de PC obtenus. Il est toutefois à noter que des études en cours au sein du laboratoire cognition-communication (House Fuentes; publications à venir) tendent à supporter la validité de l'utilisation de la tâche ABX, des comparaisons ayant été concordantes avec d'autres mesures (objectives et subjectives) de la PC.

Une autre limite provient du fait que cette étude ne traite seulement que des catégories visuelles, alors que, dans le quotidien, les catégories sont multifactorielles et comportent des attributs en provenance de plusieurs modalités sensorielles. Par exemple, une pomme possède une forme et une couleur (attributs visuels), mais aussi une texture et un goût spécifique qui permettent de la catégoriser adéquatement.

Par ailleurs, les types d'attributs testés ne sont que deux des quatre types d'attributs visuels possibles : les attributs locaux verbalisables (comme pour les poissons) ou non-verbalisables (comme l'épaisseur et la composition de certains traits sur les ailes des papillons par exemple) et les attributs distribués verbalisables (comme la couleur du pelage d'un animal ou la texture du poil) ou non-verbalisables (comme

pour les textures). Il aurait été pertinent de créer des stimuli appartenant à chacun des quatre types afin d'en faire une comparaison plus complète des performances des enfants aux tâches.

Finalement, il aurait pu être bénéfique à cette étude de recueillir des données électrophysiologiques afin d'en obtenir des corrélats de l'apprentissage ainsi que la PC qui ont été rapportés par Perez-Gay (2019) et d'autres (Véronneau, 2023). Malgré les défis pratiques que ces tests comportent en lien avec le recrutement, cela aurait permis de confirmer davantage les résultats obtenus et de relier ceux-ci à des données plus objectives.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont ainsi permis de comparer l'apprentissage de nouvelles catégories et ses mécanismes chez des enfants ayant un développement typique et des enfants portant un diagnostic de TSA à l'âge primaire. Malgré les limites inhérentes à l'étude, des appuis significatifs ont permis de mettre en lumière des différences entre les deux groupes dans leurs capacités d'apprentissage des catégories selon le type d'attributs impliqués (locaux ou distribués), ainsi que dans les mécanismes impliqués dans l'apprentissage.

Un pan de la présente recherche traitait également de l'influence de l'âge et du développement sur l'apprentissage des catégories en comparant les enfants DT et ayant un TSA. La comparaison des effets développementaux des deux groupes en lien avec les deux types de catégories (à attributs locaux ou distribués) a permis de tester des hypothèses sur le développement cognitif relatif à la catégorisation, qui demeurent toutefois à explorer et soutenir davantage par des études subséquentes sur des sujets humains (enfants et adultes) en utilisant des techniques d'imagerie et d'électrophysiologie pour obtenir des corrélats physiologiques.

Une dernière partie de l'étude portait sur la PC en effectuant des parallèles avec l'apprentissage de réseaux neuronaux et l'apprentissage humain chez les enfants. Pour la première fois à la connaissance de l'auteure, un effet de PC est trouvé chez un groupe portant un diagnostic de TSA après l'apprentissage de nouvelles catégories visuelles. Cela suggère que, malgré leur façon différente de gérer l'information sensorielle qu'ils perçoivent, les enfants ayant un TSA, comme les enfants DT, peuvent présenter des mécanismes semblables à la suite de l'apprentissage des catégories afin qu'elles changent leur perception subséquente du monde. Des études supplémentaires, notamment en utilisant des réseaux de neurones, seront nécessaires pour mieux comprendre la façon dont la PC est reliée à la formation de catégories et les mécanismes cognitifs impliqués.

Pour conclure, cette recherche constituait un pas dans la direction de programmes d'interventions mieux adaptés aux enfants présentant un diagnostic de TSA et à leur façon différente de percevoir le monde en fonction de leur profil cognitif distinct. Une meilleure compréhension de ce fonctionnement cognitif pourra permettre d'intervenir de façon plus efficace pour favoriser leur développement propre.

ANNEXE A
DÉTAIL DES RÉSULTATS AUX ANALYSES DES FACTEURS COGNITIFS

Chez les enfants DT

Stimuli à attributs distribués

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués et les fonctions exécutives comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants à développement typique

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.83	0.20	0.11	-0.24	0.05
Variables indépendantes					
1. Mémoire de travail spatiale	17.10	3.46	—	-0.39	0.35
2. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	31.35	5.75		—	-0.11
3. Abstraction	13.45	2.78			—

(N= 20)

Analyse de régression hiérarchique pour les tests de fonctions exécutives liés à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants à développement typique

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR^2
Modèle 1 :	0.01				
Mémoire de travail spatiale	0.01	0.01	0.11		
Modèle 2 :	0.06				
Mémoire de travail spatiale	0.002	0.02	0.03		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.02	-0.23		
Modèle 3 :	0.06				
Mémoire de travail spatiale	0.001	0.02	0.02		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.01	-0.23		
Abstraction	0.001	0.02	0.02		

(N= 20)

Les fonctions exécutives évaluées ne semblent pas significativement liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants à développement typique.

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués et les fonctions attentionnelles et visuospatiales comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants à développement typique

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.88	0.15	-0.05	0.25	0.16
Variables indépendantes					
1. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	4.12	0.99	—	-0.22	-0.25
2. Recherche visuelle aléatoire	24.31	9.19	—	—	0.08
3. Raisonnement visuospatial	103.44	12.68	—	—	—

(N=16)

Analyse de régression pour les fonctions attentionnelles et visuospatiales liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants à développement typique

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR^2
Modèle 1 :				0.02	
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.01	0.04	-0.05		
Modèle 2 :				0.07	0.05
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	0.002	0.04	0.01		
Recherche visuelle aléatoire	0.004	0.01	0.26		
Modèle 3 :				0.09	0.02
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	0.01	0.05	0.05		
Recherche visuelle aléatoire	0.004	0.01	0.26		
Raisonnement visuospatial	0.002	0.003	0.15		

(N= 16)

Les fonctions attentionnelles et visuospatiales ne semblent également pas liées significativement à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants à développement typique.

Stimuli à attributs locaux

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux et les fonctions exécutives comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants à développement typique

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.61	0.22	0.58*	-0.10	0.34
Variables indépendantes					
1. Mémoire de travail spatiale	17.10	3.46	—	-0.39	0.35
2. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	31.35	5.75		—	-0.11
3. Abstraction	13.45	2.78		—	

(N= 20) *p < .05.

Analyse de régression hiérarchique pour les tests de fonctions exécutives liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux pour le groupe d'enfants à développement typique

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR ²
Modèle 1 :				0.34**	
Mémoire de travail spatiale	0.04	0.01	0.58**		
Modèle 2 :				0.36*	0.02
Mémoire de travail spatiale	0.04	0.01	0.64**		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	0.01	0.01	0.14		
Modèle 3 :				0.38*	0.02
Mémoire de travail spatiale	0.04	0.01	0.58*		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	0.01	0.01	0.14		
Abstraction	0.01	0.02	0.16		

(N= 20) *p < .05. ** p < .01.

La mémoire de travail spatiale semble être liée significativement à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux chez le groupe d'enfants DT, et ce, avec une grande taille d'effet ($\beta = 0.58$) même lorsque mise en concurrence avec les autres fonctions exécutives (flexibilité cognitive et abstraction). Ces autres fonctions ne sont toutefois pas significativement liées à la performance en catégorisation de stimuli locaux. Ainsi, plus les enfants possèdent une bonne mémoire de travail spatiale, mieux ils performent à la tâche de catégorisation de stimuli locaux.

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux et les fonctions attentionnelles et visuospatiales comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants à développement typique

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.61	0.22	-0.33	0.16	-0.24
Variables indépendantes					
1. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	4.12	0.99	—	-0.22	-0.25
2. Recherche visuelle aléatoire	24.31	9.19	—	—	0.08
3. Raisonnement visuospatial	103.44	12.68	—	—	—

(N=16)

Analyse de régression pour les fonctions attentionnelles et visuospatiales liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux pour le groupe d'enfants à développement typique

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR^2
Modèle 1 :				0.11	
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.07	0.06	-0.33		
Modèle 2 :				0.12	0.01
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.07	0.06	-0.31		
Recherche visuelle aléatoire	0.002	0.01	0.09		
Modèle 3 :				0.23	0.11
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.09	0.06	-0.39		
Recherche visuelle aléatoire	0.002	0.01	0.09		
Raisonnement visuospatial	-0.01	0.01	-0.35		

(N= 16)

Aucun des liens examinés entre les fonctions attentionnelles et visuospatiales et la performance en catégorisation de stimuli locaux n'est significatif.

Chez les enfants ayant un TSA

Stimuli à attributs distribués

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués et les fonctions exécutives comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.72	0.23	0.39	-0.54*	0.50*
Variables indépendantes					
1. Mémoire de travail spatiale	14.82	3.25	—	-0.64**	0.48*
2. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	36.88	14.76	—	—	-0.70**
3. Abstraction	12.35	4.15	—	—	—

(N= 17) *p < .05. ** p < 0.01.

Analyse de régression hiérarchique pour les tests de fonctions exécutives liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR ²
Modèle 1 :				0.15	
Mémoire de travail spatiale	0.03	0.02	0.39		
Modèle 2 :				0.30	0.14
Mémoire de travail spatiale	0.01	0.02	0.08		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.01	-0.49		
Modèle 3 :				0.33	0.03
Mémoire de travail spatiale	0.01	0.02	0.07		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.01	-0.34		
Abstraction	0.01	0.02	0.23		

(N= 17)

Une taille d'effet modérée est retrouvée pour la mémoire de travail spatiale lorsque seule dans son modèle. Elle diminue toutefois grandement lorsque la variance est partagée entre les trois variables indépendantes. Dans ce dernier modèle, c'est la flexibilité cognitive qui possède une taille d'effet modérée, mais sans que son effet ne soit significatif. Ce lien négatif entre la flexibilité cognitive et la performance en catégorisation de stimuli distribués signifie que plus les enfants ayant un TSA du présent échantillon ont des habiletés de flexibilité cognitive (moins ils prennent de temps à exécuter la tâche), mieux ils réussiraient à la tâche de catégorisation de stimuli distribués. La corrélation est significative, pour sa part, entre la flexibilité cognitive et la tâche de catégorisation de stimuli distribués.

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués et les fonctions attentionnelles et visuospatiales comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.66	0.24	-0.55*	0.42	0.37
Variables indépendantes					
1. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	5.00	2.53	—	-0.57*	-0.55*
2. Recherche visuelle aléatoire	33.69	10.95		—	0.60*
3. Raisonnement visuospatial	99.88	16.26			—

(N=16) *p < .05.

Analyse de régression pour les fonctions attentionnelles et visuospatiales liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR ²
Modèle 1 :				0.30*	
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.05	0.02	-0.55*		
Modèle 2 :				0.32	0.02
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.04	0.03	-0.46		
Recherche visuelle aléatoire	0.003	0.01	0.15		
Modèle 3 :				0.32	0.001
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.04	0.03	-0.45		
Recherche visuelle aléatoire	0.003	0.01	0.13		
Raisonnement visuospatial	0.001	0.01	0.04		

(N= 16) *p < .05.

Lorsque considérée seule dans son modèle, la recherche visuelle structurée explique significativement une partie (30%) de la variance de la performance en catégorisation de stimuli à attributs distribués chez les enfants ayant un TSA de l'échantillon. Lorsque mise en concurrence avec les deux autres variables indépendantes impliquées, la significativité est perdue, mais il subsiste toujours une taille d'effet moyenne à grande ($\beta = -0.45$). Ainsi, plus rapide sont les enfants ayant un TSA de l'échantillon en recherche visuelle structurée (le moins de temps ils prennent pour exécuter la tâche), meilleurs ils sont pour catégoriser les stimuli à attributs distribués. La corrélation est significative entre la recherche visuelle structurée et la tâche de catégorisation de stimuli à attributs distribués.

Stimuli à attributs locaux

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux et les fonctions exécutives comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.64	0.21	0.21	-0.47*	0.22
Variables indépendantes					
1. Mémoire de travail spatiale	14.50	3.38	—	-0.58*	0.37
2. Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	36.83	14.30		—	-0.71**
3. Abstraction	12.67	4.13			—

(N= 18) *p < .05. ** p < 0.01.

Analyse de régression hiérarchique pour les tests de fonctions exécutives liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR^2
Modèle 1 :	0.04				
Mémoire de travail spatiale	0.01	0.02	0.21		
Modèle 2 :	0.23				
Mémoire de travail spatiale	-0.01	0.02	-0.10		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.004	-0.53		
Modèle 3 :	0.26				
Mémoire de travail spatiale	-0.01	0.02	-0.11		
Flexibilité cognitive (temps d'exécution)	-0.01	0.01	-0.70		
Abstraction	-0.01	0.02	-0.23		

(N= 18)

Bien qu'une corrélation négative (car il s'agit d'un résultat de temps d'exécution) significative existe entre la flexibilité cognitive et la performance en catégorisation, lorsque les deux autres variables (mémoire de travail spatiale et abstraction) sont prises en compte dans l'analyse de régression, la significativité n'est plus. La taille d'effet demeure toutefois très grande ($\beta = -0.70$), indiquant qu'un lien significatif serait possiblement présent si la taille d'échantillon avait été plus grande. Ce modèle indique tout de même que, dans l'échantillon, les enfants ayant un TSA qui possèdent une meilleure flexibilité cognitive (ayant un plus court temps d'exécution) performent mieux à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux.

Moyennes, écarts-types et corrélations pour la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux et les fonctions attentionnelles et visuospatiales comme variables indépendantes pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Variables	M	ET	1	2	3
Performance au 3 ^e bloc de catégorisation	0.56	0.15	-0.29	0.47*	0.58*
Variables indépendantes					
1. Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	5.18	2.41	—	-0.54*	-0.63*
2. Recherche visuelle aléatoire	32.69	10.87	—	—	0.62*
3. Raisonnement visuospatial	100.69	16.16	—	—	—

(N=16) *p < .05.

Analyse de régression hiérarchique pour les fonctions attentionnelles et visuospatiales liées à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux pour le groupe d'enfants ayant un TSA

Modèles et variables indépendantes	B	SE B	β	R ²	ΔR ²
Modèle 1 :				0.09	
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.02	0.02	-0.30		
Modèle 2 :				0.23	0.14
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	-0.004	0.02	-0.07		
Recherche visuelle aléatoire	0.01	0.004	0.44		
Modèle 3 :				0.37	0.14
Recherche visuelle structurée (temps d'exécution)	0.01	0.02	0.16		
Recherche visuelle aléatoire	0.003	0.004	0.22		
Raisonnement visuospatial	0.005	0.003	0.55		

(N= 16)

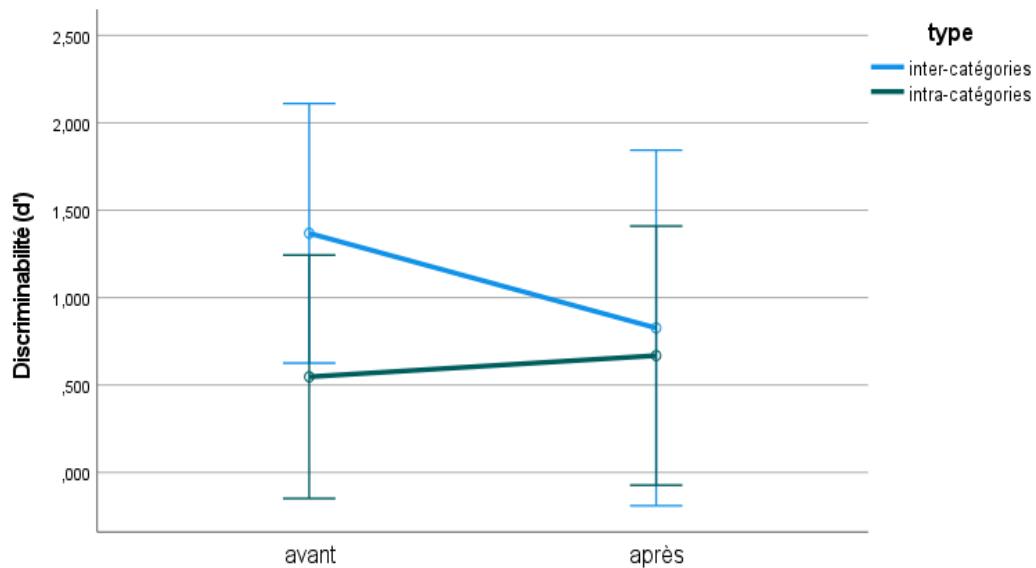
Lorsque considérés seuls par des corrélations, la recherche visuelle aléatoire ($r = 0.47$) et le raisonnement visuospatial ($r = 0.58$) sont liés significativement (avec une grande taille d'effet) à la performance en catégorisation de stimuli à attributs locaux chez les enfants ayant un TSA dans l'échantillon. Toutefois, lorsque les trois variables sont placées ensemble dans un même modèle, seul le raisonnement visuospatial demeure avec une grande taille d'effet ($\beta = 0.55$), nonobstant que les résultats ne soient pas significatifs en raison du petit échantillon ($n = 16$) et qu'il y ait présence d'éléments de multicolinéarité. Les données indiquent ici que le raisonnement visuospatial serait lié avec une meilleure performance à la tâche de catégorisation de stimuli à attributs locaux chez les enfants ayant un TSA du présent échantillon. La corrélation entre le raisonnement visuospatial et la catégorisation avec attributs locaux est significative, pour sa part.

ANNEXE B

RÉSULTATS DE PERCEPTION CATÉGORIELLE SUPPLÉMENTAIRES

Groupe d'enfants à développement typique

Les effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs locaux (enfants DT, n

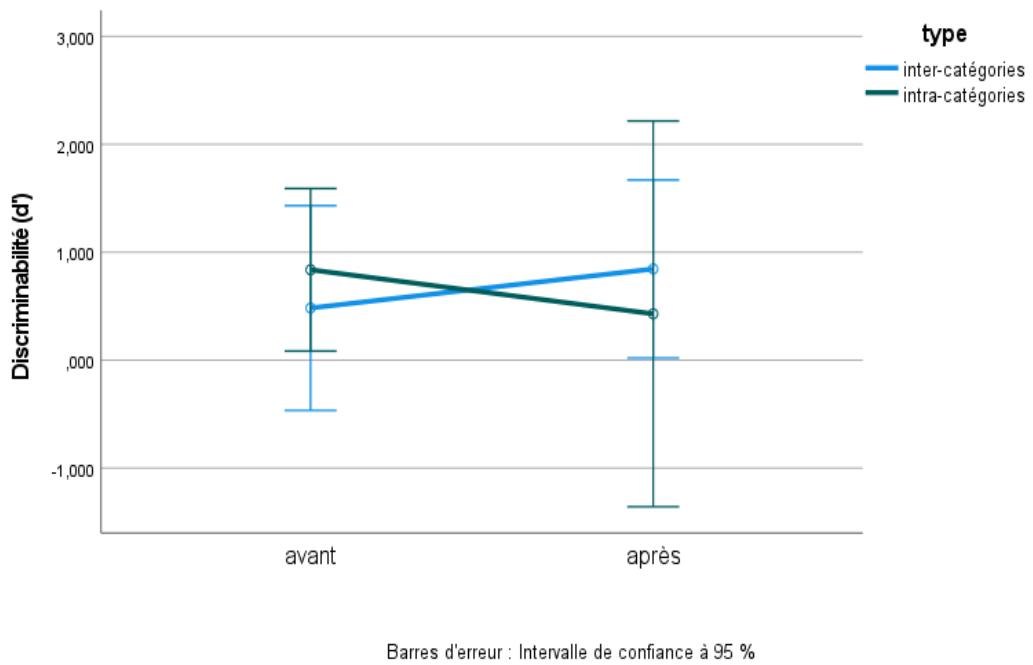


= 13)

Barres d'erreur : Intervalle de confiance à 95 %

Lorsqu'il existe une séparation initiale entre les catégories, les effets de PC ($F_{(1,12)}=1.99$, $p=0.18$, $\eta^2=0.14$), d'apprentissage ($F_{(1,12)}=0.26$, $p=0.62$, $\eta^2=0.02$) et de type de paires de stimuli ($F_{(1,12)}=3.32$, $p=0.09$, $\eta^2=0.22$) sont tous non-significatifs pour les enfants du groupe d'enfants DT.

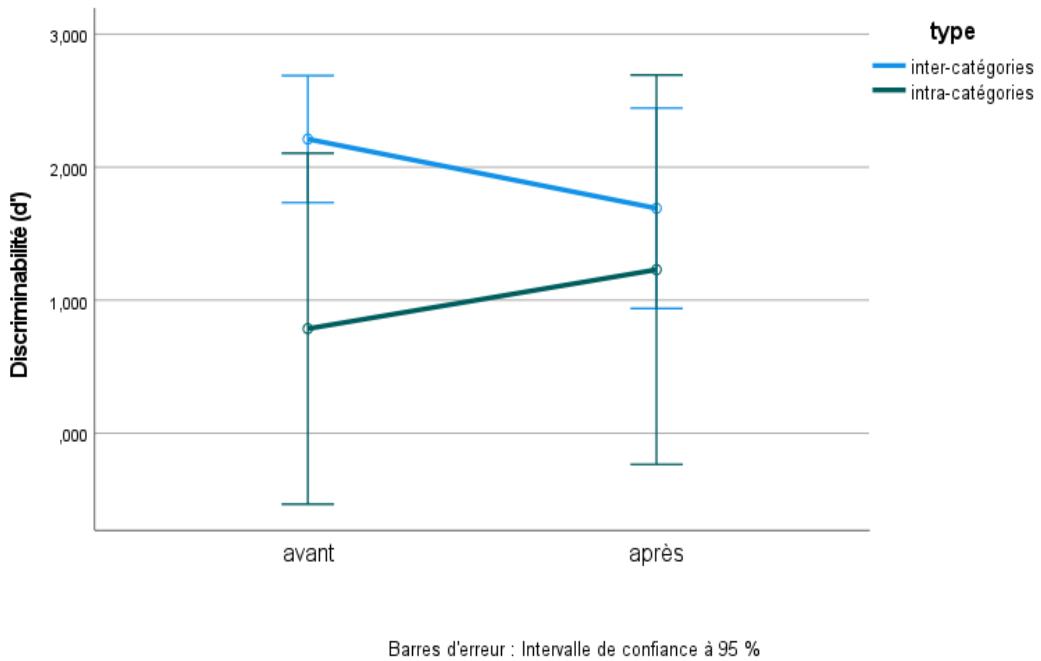
Les effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs locaux (enfants DT, n = 6)



Lorsqu'il n'y a pas de séparation initiale, un effet de PC est observable à l'analyse visuelle du graphique avec une augmentation de la discriminabilité des éléments de catégories différentes et une diminution de la discriminabilité des éléments de la même catégorie, mais cet effet n'est pas significatif ($F_{(1,5)}=1.43$, $p=0.29$, $\eta^2=0.22$). Les effets d'apprentissage ($F_{(1,5)}=0.02$, $p=0.90$, $\eta^2=0.003$) et de type de paires de stimuli ($F_{(1,5)}=0.01$, $p=0.91$, $\eta^2=0.003$) ne sont pas significatifs également.

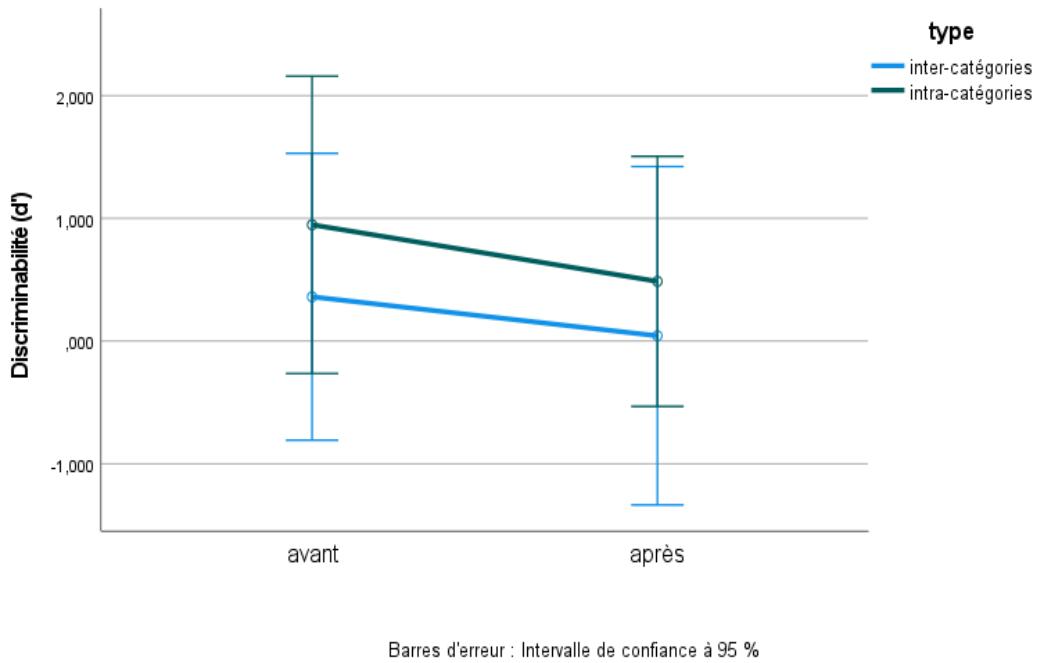
Groupe d'enfants ayant un TSA

Les effets de PC pour une discriminabilité initiale positive des catégories à attributs locaux (enfants ayant un TSA, n = 10)



Lorsque la discrimination entre les items de catégories différentes est déjà plus aisée que la discrimination d'items appartenant à la même catégorie, chez les enfants ayant un TSA, un effet de PC inversé significatif est présent, soit une diminution de la discriminabilité intercatégorielle et une augmentation de la discriminabilité intracatégorielle ($F_{(1,9)}=11.65$, $p=0.01$, $\eta^2=0.56$). L'effet simple du type de paires de stimuli est aussi significatif ($F_{(1,9)}=5.30$, $p=0.05$, $\eta^2=0.37$), mais pas l'effet de l'apprentissage ($F_{(1,9)}=0.06$, $p=0.81$, $\eta^2=0.006$).

Les effets de PC pour une discriminabilité initiale négative des catégories à attributs locaux (enfants ayant un TSA, n = 7)



Dans le contexte où la discriminabilité intercatégorielle est plus faible au départ que la discriminabilité des items de la même catégorie, les effets de PC sont absents ($F_{(1,6)}=0.18$, $p=0.68$, $\eta^2=0.03$). La discriminabilité intercatégorielle demeure plus faible ($F_{(1,6)}=7.80$, $p=0.03$, $\eta^2=0.57$) et il n'y a pas d'effet d'apprentissage ($F_{(1,6)}=2.26$, $p=0.18$, $\eta^2=0.27$)

ANNEXE C

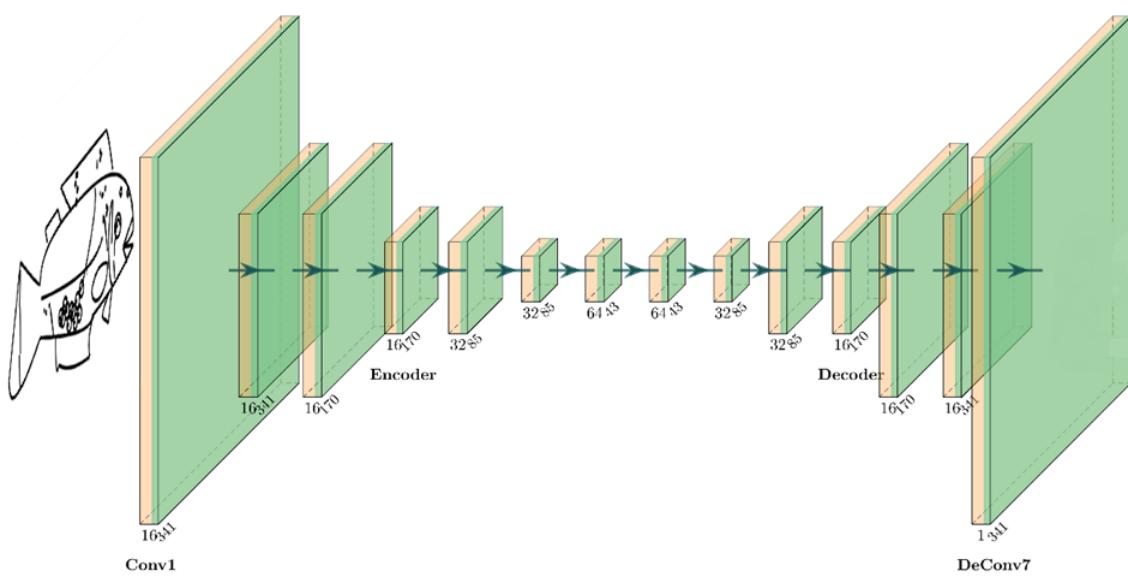
RÉSULTATS DES RÉSEAUX NEURONAUX

Méthode

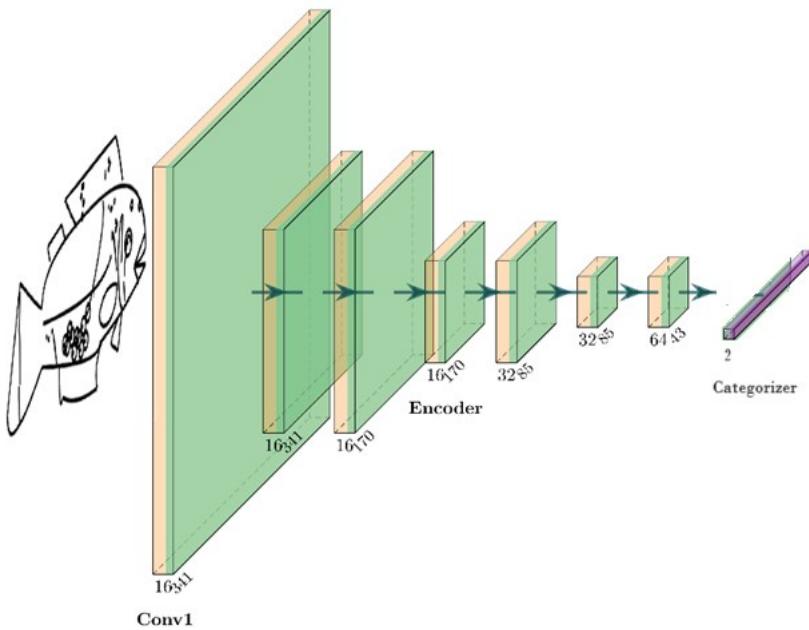
Dans un premier temps, un réseau autoencodeur est mis en place. L'autoencodeur a pour fonction de rendre en sortie de données les mêmes stimuli qui lui ont été fournis en entrée. *Il s'agit de copier, pas de catégoriser.* L'autoencodeur est en mesure de le faire, même si du bruit est ajouté. Ce type de réseau de neurones réalise une familiarisation avec les stimuli sans recevoir de rétroaction. Pour faire le parallèle avec l'apprentissage humain, l'auto-encodage est un type d'apprentissage non supervisé/renforcé : de l'exposition répétitive. Les stimuli utilisés sont semblables à ceux utilisés dans les études avec les participants humains, soit les textures (à attributs distribués) et les poissons (à attributs locaux).

Une fois le réseau autoencodeur bien familier avec les stimuli utilisés, ses sorties passent à un réseau supervisé de catégorisation, avec les renforcements correctifs. Celui-ci n'a que deux sorties, 'K' ou 'L' selon le nom de la catégorie à laquelle appartient le stimulus. Les poids des connexions sont ajustés après chaque présentation, afin de minimiser les erreurs de catégorisation (par un algorithme que s'appelle la rétropropagation).

A. Représentation schématique de l'architecture de l'autoencodeur du réseau neuronal utilisé



B. Représentation schématique de l'architecture du réseau neuronal utilisé pour la catégorisation



La figure A ci-dessus montre les différentes couches du réseau autoencodeur pour les catégories (en l'occurrence, les poissons, à attributs locaux) par lesquelles passe le stimulus de départ. Dans les sept premières couches successives, l'entrée est comprimée de plus en plus, en abstrayant et conservant les attributs nécessaires à sa reconstruction à la couche suivante.

La figure B représente la partie du réseau où la véritable catégorisation est effectuée. Le réseau se sert alors des attributs pertinents extraits pour offrir une réponse binaire d'appartenance à la catégorie en sortie (Kailfish ou Limfish dans le cas des poissons) à partir des données des 128 neurones de la dernière couche. L'architecture du réseau utilisé pour les catégories à attributs distribués est semblable, mais la grosseur des entrées est adaptée au nombre de pixels dans l'image (405 pixels, plutôt que 341 pixels pour les stimuli à attributs locaux) et la dernière couche comprend 256 neurones plutôt que 128.

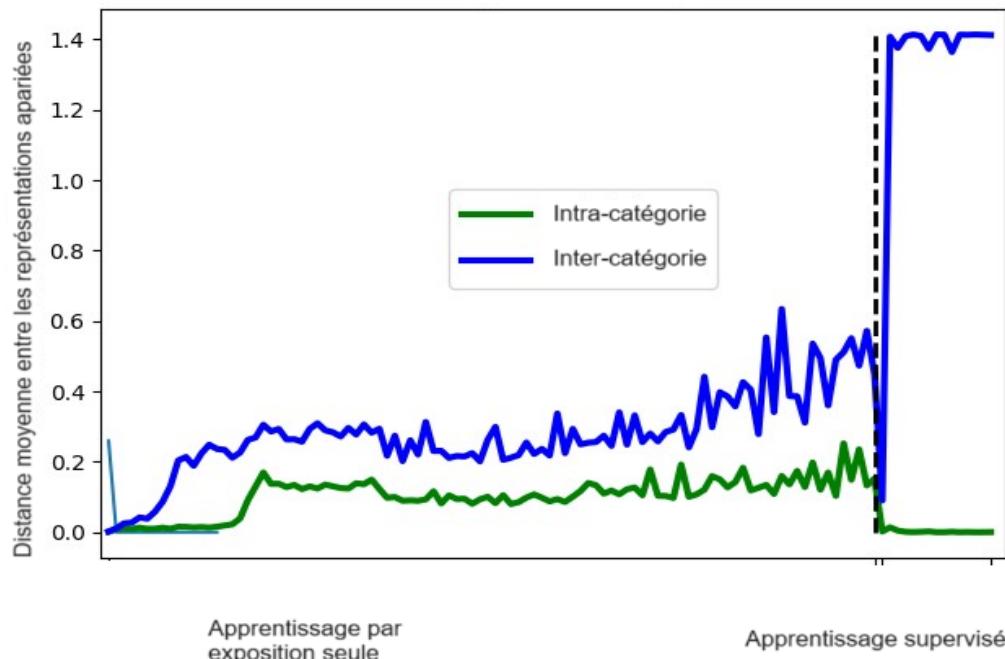
Pour mesurer l'effet de PC, soit la séparation et la compression, une distance euclidienne est calculée entre la représentation du stimulus tout au long de la phase d'auto-encodage et de l'apprentissage supervisé du réseau de classification. Des moyennes de ces distances sont ensuite calculées entre les stimuli appartenant à chacune des catégories (intracatégorielles), ainsi qu'entre les stimuli de catégories différentes (intercatégorielles). Les mécanismes internes d'apprentissage des réseaux sont également étudiés en générant des images représentant l'activation de chacun des pixels pour un seul neurone de la

dernière couche. Cela permet de comparer l'activation moyenne à différent temps de mesure au cours de l'apprentissage.

Effets de PC dans les réseaux

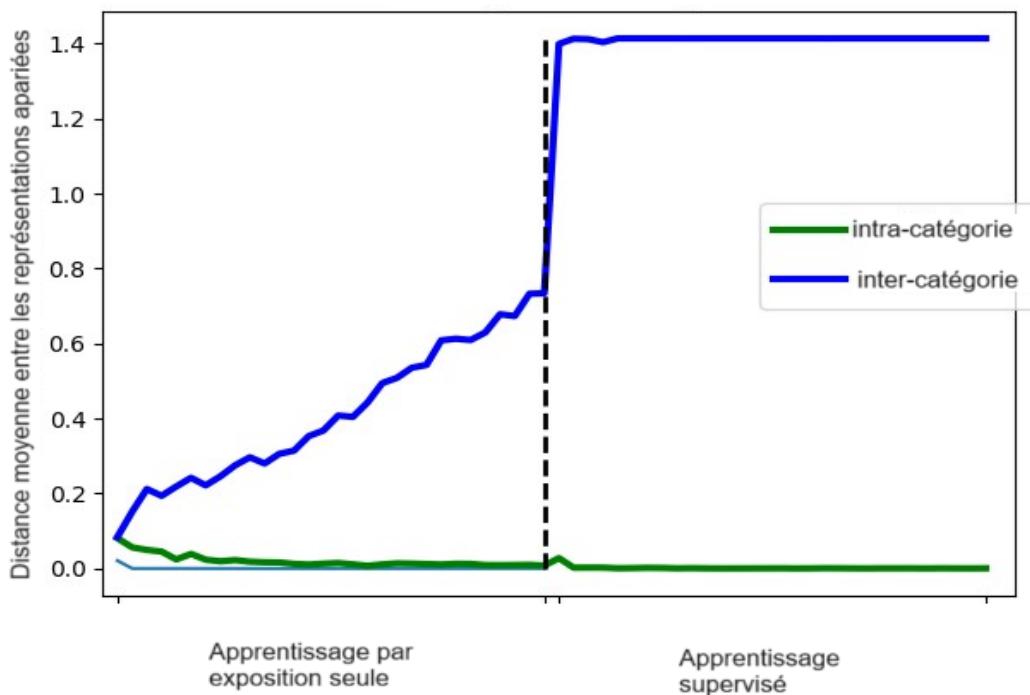
Les stimuli utilisés avec les enfants, sujets de cette présente étude, ont également été utilisés dans le cadre d'analyses par des réseaux neuronaux. Les graphiques suivants représentent les distances euclidiennes moyennes entre des paires de stimuli de la même catégorie ([courbe verte](#)) et de deux catégories différentes ([courbe bleue](#)), tout au long de l'apprentissage des catégories par le réseau en deux phases, une première phase d'apprentissage par exposition passive (non supervisée; aucune rétroaction corrective) et une deuxième phase d'apprentissage supervisé (avec essais, erreurs, et correction, comme dans l'entraînement de nos participants). Cela produit un équivalent des résultats obtenus à la tâche ABX par les sujets humains avant et après l'apprentissage des catégories et de comparer les effets de PC des réseaux à ceux des enfants.

Effets de PC durant l'apprentissage des réseaux pour les catégories à attributs locaux



Il est possible d'observer, dans le contexte d'apprentissage de catégories à attributs locaux (des stimuli semblables à ceux utilisés dans cette étude) par des réseaux neuronaux, des effets de séparation (augmentation de la distance moyenne entre des stimuli appartenant à des catégories distinctes) dès la phase d'apprentissage non supervisé par exposition (par un réseau autoencodeur). La séparation devient vite très prononcée dès le début de la phase d'apprentissage supervisé. Les effets de compression (diminution de la distance moyenne entre des stimuli appartenant à la même catégorie) sont peu présents pendant la phase non supervisée, mais surviennent rapidement dès la phase supervisée.

Effets de PC durant l'apprentissage des réseaux pour les catégories à attributs distribués

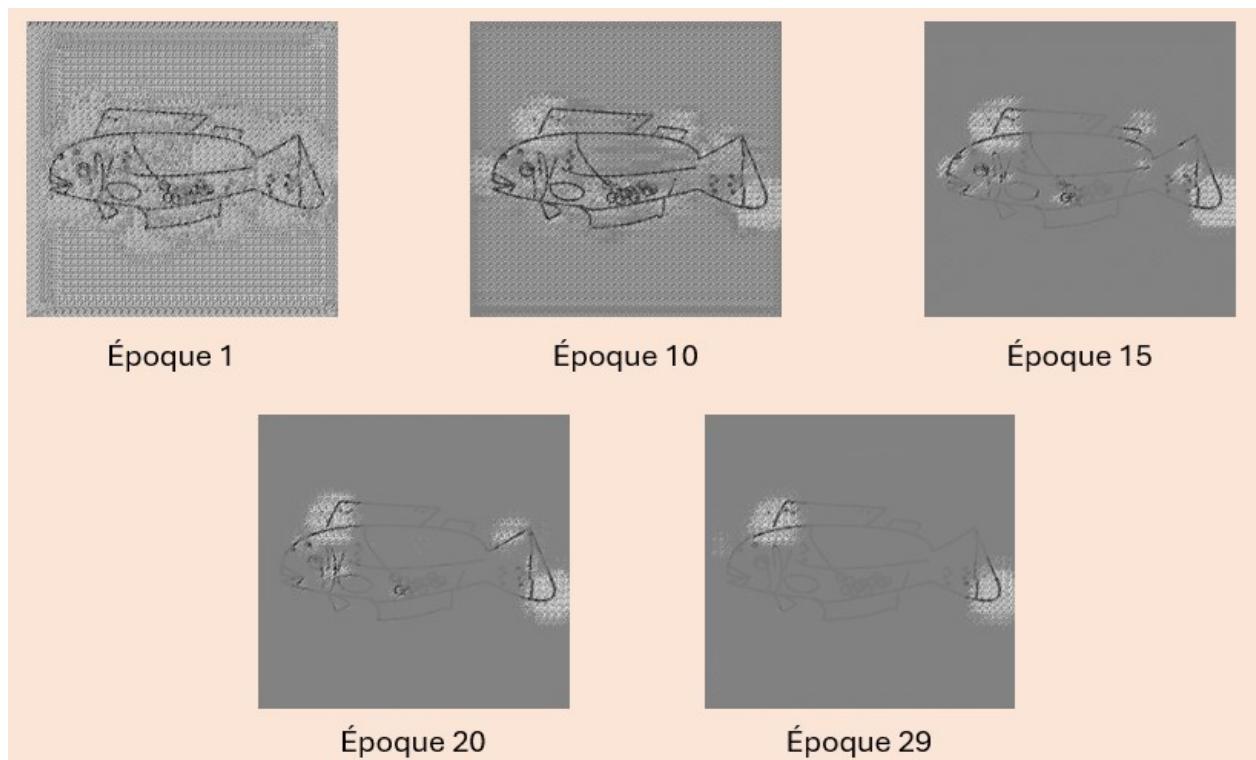


Dans le contexte d'apprentissage de catégories à attributs distribués par des réseaux (des stimuli semblables à ceux utilisés dans cette étude), des effets de séparation sont observés, mais peu de compression. Les effets de séparation surviennent avec une augmentation presque linéaire pendant la phase d'apprentissage non supervisé (phase d'auto-encodage des réseaux), puis une augmentation importante de l'effet se produit à partir de l'apprentissage supervisé, atteignant rapidement son apogée.

Mécanismes d'apprentissage des réseaux

Il est intéressant de constater le déroulement de l'apprentissage des catégories par les réseaux et les mécanismes internes par lesquelles celui-ci se produit. Pour ce faire, des images ont été générées, représentant l'activation des pixels pour un seul neurone de la dernière couche du réseau à différents moments de l'apprentissage, appelés « époques ». Une époque représente le moment où le réseau a été exposé à l'ensemble des stimuli à une reprise. La comparaison de l'activation à différentes époques permet de visualiser sur quelles parties de l'image se « concentre » le réseau pour permettre la catégorisation du stimulus. Les deux types de stimuli utilisés avec les enfants, soit ceux à attributs locaux et distribués, peuvent être ainsi comparés dans la façon dont ils sont traités par les réseaux à travers le temps.

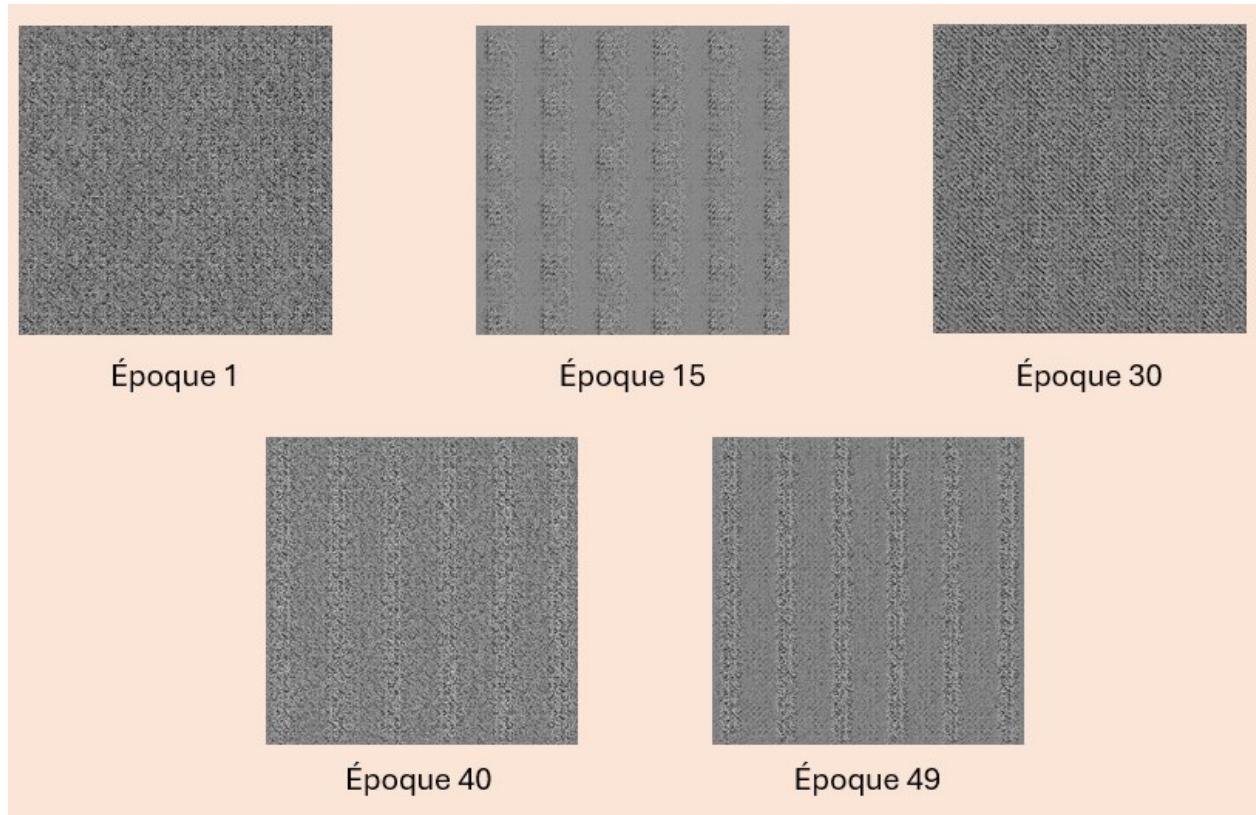
Représentations de l'activation d'un neurone de la dernière couche dans le temps (selon les époques) pour les catégories à attributs locaux



Il est possible d'observer une évolution claire dans l'activation moyenne des pixels selon les époques pour ce neurone de la dernière couche du réseau selon l'analyse visuelle de la figure ci-dessus. Une attention particulière est progressivement apposée sur des attributs permettant la catégorisation jusqu'à ce qu'à l'époque 29, les deux attributs (nageoire supérieure et queue) soient la seule activation importante par le

neurone. Il est pertinent de noter que cette spécialisation pour les attributs pertinents semble se faire de façon graduelle depuis le début de la tâche de catégorisation.

Représentations de l'activation d'un neurone de la dernière couche dans le temps (selon les époques) pour les catégories à attributs distribués



L'analyse visuelle de l'activation par les neurones est plus complexe pour ce qui est des catégories à attributs distribués. En effet, la catégorisation ne peut se faire seulement à partir d'une seule partie de l'image, comme c'est le cas pour les catégories à attributs locaux. Il faut donc davantage prendre en compte les schémas d'images répétitifs à travers tout le stimulus. L'activation du neurone semble tout de même indiquer que ce sont des motifs verticaux dans l'image qui paraissent être les plus utiles à la catégorisation. La spécialisation du neurone vers ces motifs ne paraît toutefois pas aussi linéaire que pour les catégories à attributs locaux, par exemple, l'activation à l'époque 15 paraît beaucoup plus dirigée vers les motifs verticaux, alors qu'elle semble plus diffuse à l'époque 30 et revient ensuite à l'époque 40 vers une attention portée aux bandes verticales, tendance qui semble se poursuivre à l'époque 49.

ANNEXE D

CONSIGNES POUR LES TÂCHES DE CATÉGORISATION

Les agents de la NASA ont découvert en observant le ciel dans leur télescope que deux types de signaux visuels avaient été envoyés par des êtres d'origine inconnue (probablement des extra-terrestres) dans l'espace. Les agents aimeraient que vous les aidiez en apprenant classifier les signaux en deux types : les Kalamites et les Lakamites.

L'expérience consistera en trois tâches à l'ordinateur.

1. Trois signaux (images) seront présentés l'un après l'autre à l'écran. Regardez-les bien, ils iront rapidement et une seule fois. Votre tâche sera de dire à l'ordinateur si c'est le premier signal qui était identique au troisième ou bien le deuxième qui était pareil au troisième. Il y aura toujours un des deux premiers qui sera pareil au dernier. Vous aurez quelques essais pour vous pratiquer et ensuite vous devrez faire cette tâche 20 fois.

2. Vous devrez apprendre à reconnaître les lakamites et kalamites. On vous présentera un signal (image) à l'écran et vous demandera de dire si, selon vous, l'image était un lakamite ou bien un kalamite. C'est normal qu'au début vous ne sachiez pas, répondez comme vous pensez. Après que vous ayez répondu, l'ordinateur vous dira si vous aviez raison ou non. C'est par essai-erreur que vous apprendrez à reconnaître les deux types de signaux (images). Nous ferons cette tâche suffisamment longtemps pour que vous appreniez les deux catégories. Et vous aurez des petites pauses après chaque 10 minutes de travail.

3. La troisième tâche est identique à la première. Nous la ferons encore 20 fois.

Les agents de la NASA vous remercient grandement pour votre aide!

Des biologistes ont découvert que deux types de poisson très semblables existent, mais l'un des poissons vit dans l'eau de mer et l'autre vit dans les rivières. L'objectif de l'expérience d'aujourd'hui est de vérifier si vous êtes capables d'apprendre à reconnaître les kailfish (eau de mer) et les limfish (eau de rivière).

Pour cela, vous aurez trois différentes tâches à faire :

1. Trois poissons seront présentés l'un après l'autre à l'écran. Regardez-les bien, ils iront rapidement et une seule fois. Votre tâche sera de dire à l'ordinateur si c'est le premier poisson qui était identique au troisième ou bien le deuxième qui était pareil au troisième. Il y aura toujours un des deux premiers qui sera pareil au dernier. Vous aurez quelques essais pour vous pratiquer et ensuite vous devrez faire cette tâche 20 fois.
2. Vous devrez apprendre à reconnaître les limfish et kailfish. On vous présentera un poisson à l'écran et vous demandera de dire si, selon vous, l'image était un limfish ou bien un kailfish. C'est normal qu'au début vous ne sachiez pas, répondez comme vous pensez. Après que vous ayez répondu, l'ordinateur vous dira si vous aviez raison ou non. C'est par essai-erreur que vous apprendrez à reconnaître les deux types de poissons. Nous ferons cette tâche suffisamment longtemps pour que vous appreniez les deux catégories. Et vous aurez des petites pauses après chaque 10 minutes de travail.
3. La troisième tâche est identique à la première. Nous la ferons encore 20 fois.

Les biologistes vous disent merci!

ANNEXE E
FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT
(Pour enfant de moins de 14 ans)

« Les enfants autistes apprennent-ils les catégories visuelles de façon différente des enfants neurotypiques ? Comparaison du développement autiste et typique en catégorisation »

PRÉAMBULE:

Votre enfant est invité à participer à un projet de recherche qui a pour objectif de vérifier si l'apprentissage de nouvelles catégories par des enfants de 8 à 15 ans change la façon dont ils perçoivent ensuite le monde qui les entoure.

Avant d'accepter que votre enfant participe à ce projet, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas, n'hésitez pas à poser des questions.

IDENTIFICATION:

Chercheur(e) responsable du projet :

Stevan Harnad, PhD.

Adresse postale :

Pavillon SU, 100 rue Sherbrooke, local 1235

Adresse courriel : harnad.stevan@uqam.ca

Tél : (514) 987-3000 poste

Membre(s) de l'équipe :

Catherine Prévost, étudiante au doctorat en psychologie, UQAM

Marie Veronneau, étudiante au doctorat en psychologie, UQAM

Fernanda Pérez Gay Juárez, étudiante au doctorat en neurosciences, McGill/Stagiare post-doctorale, UQAM

Tomy Sicotte, étudiant au baccalauréat en psychologie, UQAM

Nicolas Goulet, étudiant au baccalauréat en psychologie, UQAM

Daniel Rivas, étudiant au doctorat en informatique cognitive, UQAM

Coordonnateur(trice) :

Catherine Prévost, étudiante au doctorat en psychologie, UQAM

OBJECTIFS DU PROJET et FINANCEMENT (s'il y a lieu) :

Cette étude a pour objectif de déterminer de vérifier la présence d'un effet de perception catégorielle suite à l'apprentissage de catégories par des enfants.

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES AU PARTICIPANT:

Séance 1: Votre enfant passera une batterie de tests nous permettant de mieux comprendre son fonctionnement cognitif (comment son cerveau traite l'information), et nous permettant de confirmer son éligibilité à poursuivre sa participation au projet pour les deux autres séances.

Séances 2 et 3 : L'ordinateur montrera à votre enfant beaucoup de formes que vous ne connaissez pas, mais qui appartiennent à deux différentes catégories. La tâche sera d'apprendre par essai et erreur à laquelle des deux catégories elles appartiennent. Chaque fois qu'il catégorisera, l'ordinateur lui dira s'il a classé correctement (correct) ou non (incorrect). Votre enfant passera ensuite certains tests supplémentaires nous permettant de mieux comprendre son fonctionnement cognitif (comment son cerveau traite l'information).

AVANTAGES et RISQUES POTENTIELS :

Il n'y a pas de risque d'inconfort, excepté une possible légère fatigue visuelle reliée à l'ordinateur, pour votre enfant associé à la participation à cette recherche.

En acceptant de participer à cette recherche, vous nous aidez à mieux comprendre les mécanismes de l'apprentissage des catégories.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ :

Il est entendu que tous les renseignements recueillis lors de la performance de votre enfant sur la tâche sont confidentiels. Seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès aux données. Tout le matériel de recherche ainsi que votre formulaire de consentement seront conservés séparément en lieu sûr au laboratoire (ou au bureau) du chercheur responsable pour la durée totale du projet.

Afin de protéger l'identité de votre enfant et la confidentialité des données recueillies, vous serez toujours identifié(e) par un code alphanumérique. Ce code associé au nom de votre enfant ne sera connu que du chercheur responsable du projet.

Les questionnaires, les tests, ainsi que votre formulaire d'information et de consentement seront conservés pour 5 ans après les dernières publications liées à cette étude, et seront postérieurement détruits.

Exceptionnellement, si un psychologue ayant comme mandat d'évaluer votre enfant nous en fait la demande dans l'année suivant sa participation, je lui transmettrai les résultats des tests cognitifs qui ont été passés, puisque ce sont des tests qui ne peuvent être repassés plus d'une fois dans une même année.

PARTICIPATION VOLONTAIRE et DROIT DE RETRAIT :

Votre participation, à vous et votre enfant, à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs, vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive contraire de votre part, les documents vous concernant seront détruits.

Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE ou AUTRE :

Votre enfant recevra une compensation de 5\$ pour son temps sous forme d'un cadeau de cette valeur ou d'une carte-cadeau, et ce, pour chaque séance à laquelle il participe.

CLAUSE DE RESPONSABILITÉ :

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

RECHERCHES ULTÉRIEURES :

Au terme du présent projet, nous aimerais conserver sur une période de 5 ans les données recueillies auprès de votre enfant pour conduire d'autres projets de recherche. Les règles d'éthique du présent projet s'appliquent à cette conservation à long terme de vos données. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

- J'accepte que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs
- Je refuse que mes données puissent être utilisées pour des projets de recherche ultérieurs

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Pour des questions additionnelles sur le projet, sur votre participation et sur vos droits en tant que participant de recherche, ou pour vous retirer du projet, vous pouvez communiquer avec :

Catherine Prévost, chercheuse principale

Numéro de téléphone : 514-616-1679

Adresse courriel : catherine.prevost2@hotmail.com

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la présidence du Comité, par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514) 987-3000 # 7753 ou par courriel à CIEREH@UQAM.CA

REMERCIEMENTS :

Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

SIGNATURES :

Par la présente :

- a) je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement;
- b) je consens volontairement à la participation de mon enfant à ce projet de recherche;
- c) je comprends les objectifs du projet et ce que la participation implique;
- d) je confirme avoir disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de laisser mon enfant participer;
- e) je reconnais aussi que le responsable du projet (ou son délégué) a répondu à mes questions de manière satisfaisante; et
- f) je comprends que la participation de mon enfant à cette recherche est totalement volontaire et qu'il peut y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner.

Signature du parent :

Date :

Nom du parent (lettres moulées) :

Nom de l'enfant (lettres moulées) :

Signature de l'enfant :

Date :

Je, soussigné, déclare :

- a) avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement;
et
- b) avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du chercheur responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :

Nom (lettres moulées) :

Date :

Un exemplaire du formulaire d'information et de consentement signé doit être remis au participant.

ANNEXE F
QUESTIONNAIRE SOCIO-DÉMOGRAPHIQUE



Bonjour !

Je m'appelle Catherine Prévost et je suis étudiante au doctorat en neuropsychologie à l'UQAM. En tant qu'ancienne élève de la commission scolaire [REDACTED] et fière [REDACTED], il était important pour moi de revenir à [REDACTED] pour y faire la collecte de mes données. Je vous remercie donc beaucoup de prendre de votre temps afin de m'aider à terminer mon projet de thèse doctorale.

J'aurais quelques questions rapides à vous poser afin de compléter le dossier de votre enfant.

Informations sur votre enfant

Date de naissance	Genre de l'enfant
En quelle année scolaire votre enfant est-il présentement inscrit ?	
Votre enfant a-t-il un trouble du spectre autistique ?	
Votre enfant a-t-il un diagnostic neuropsychologique (TDAH, trouble d'apprentissage, etc.) autre que le trouble du spectre autistique ? Si oui, lequel ou lesquels ?	

Si vous avez quelque question que ce soit, n'hésitez pas à communiquer avec moi au Catherine.Prevost2@hotmail.com.

En vous remerciant encore une fois!

Catherine
Prévost

ANNEXE G

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE, RENOUVELLEMENT ET AVIS DE CONFORMITÉ

UQÀM | Comités d'éthique de la recherche
avec des êtres humains

No. de certificat: 2430

Certificat émis le: 27-06-2019

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE FSH) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet: Les enfants autistes apprennent-ils les catégories visuelles de façon différente des enfants neurotypiques ? Comparaison du développement autiste et typique en catégorisation

Nom de l'étudiant: Catherine PRÉVOST

Programme d'études: Doctorat en psychologie (profil scientifique-professionnel)

Direction de recherche: Stevan HARNAD

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Anne-Marie Parisot

Professeure, Département de linguistique

Présidente du CERPÉ FSH

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE RENOUVELLEMENT

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE FSH) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (avril 2020) de l'UQAM.

Titre du projet : Les enfants autistes apprennent-ils les catégories visuelles de façon différente des enfants neurotypiques ? Comparaison du développement autiste et typique en catégorisation

Nom de l'étudiant : Catherine Prévost

Programme d'études : Doctorat en psychologie

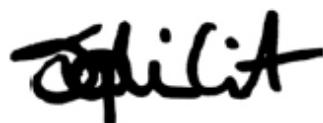
Direction(s) de recherche : Stevan Harnad

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année au plus tard un mois avant la date d'échéance (**2025-06-27**) de votre certificat. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Sophie Gilbert
Professeure, Département de psychologie
Présidente du CERPÉ FSH

No. de certificat : 2020-1974
Date : 2024-08-30

AVIS FINAL DE CONFORMITÉ

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE FSH) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (avril 2020) de l'UQAM.

Titre du projet : Les enfants autistes apprennent-ils les catégories visuelles de façon différente des enfants neurotypiques ? Comparaison du développement autiste et typique en catégorisation

Nom de l'étudiant : Catherine Prévost
Programme d'études : Doctorat en psychologie
Direction(s) de recherche : Stevan Harnad

Merci de bien vouloir inclure une copie du présent document et de votre certificat d'approbation éthique en annexe de votre travail de recherche.

Les membres du CERPE FSH vous félicitent pour la réalisation de votre recherche et vous offrent leurs meilleurs voeux pour la suite de vos activités.



Sophie Gilbert
Professeure, Département de psychologie
Présidente du CERPE FSH

RÉFÉRENCES

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.).
- Ashby, F. G., Alfonso-Reese, L. A., Turken, A. U. et Waldron, E. M. (1998). A neuropsychological theory of multiple systems in category learning. *Psychological Review*, 105, 442–481.
- Barlow, H. (1990). Conditions for versatile learning, Helmholtz's unconscious inference, and the task of perception. *Vision Research*, 30(11), 1561-1571.
- Benjamini, Y. et Hochberg, Y. (2000). On the adaptive control of the false discovery rate in multiple testing with independent statistics. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 25(1), 60–83.
- Bloom, P. (2000). *How children learn the meanings of words*. MIT press.
- Borges J. (1962) *Funes, the Memorious*. In: *Ficciones*. Grove Press
- Bott, L., Brock, J., Brockdorff, N., Boucher, J. et Lamberts, K. (2006). Perceptual similarity in autism. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1237–1254.
- Bowerman, M. et Levinson, S. (2001) *Language acquisition and conceptual development*. Cambridge University Press.
- Brosch, T., Pourtois, G. et Sander, D. (2010). The perception and categorisation of emotional stimuli: A review. *Cognition and Emotion*, 24, 377–400.
- Brown, J., Aczel, B., Jiménez, L., Kaufman, S. B. et Grant, K. P. (2010). Intact implicit learning in autism spectrum conditions. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 63(9), 1789-1812.
- Bunge, S. A. et Zelazo, P. D. (2006). A brain-based account of the development of rule use in childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 118–121.
- Carey, S. (2000). The Origin of Concepts. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 37–41.
- Carmo, J. C., Souza, C., Gonçalves, F., Pinho, S., Filipe, C. N. et Lachmann, T. (2017). Effects of categorical representation on visuospatial working memory in autism spectrum disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 39(2), 131–141.
- Casey, B. J., Davidson, M. C., Hara, Y., Thomas, K. M., Martinez, A., Galvan, A., Halperin, J. M., Rodríguez-Aranda, C. E. et Tottenham, N. (2004). Early development of subcortical regions involved in non-cued attention switching. *Developmental science*, 7(5), 534–542.

Casey, B. J., Giedd, J. N. et Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54, 241–257.

Church, B.A., Krauss, M.S., Lopata, C., Toomey, J.A., Thomeer, M.L., Coutinho, M.V., Volker, M.A. et Mercado, E. (2010). Atypical categorization in children with high-functioning autism spectrum disorder. *Psychometric Bulletin and Review*, 17, 862–868.

Church, B. A., Rice, C. L., Dovgopoly, A., Lopata, C. J., Thomeer, M. L., Nelson, A. et Mercado, E., 3rd (2015). Learning, plasticity, and atypical generalization in children with autism. *Psychonomic bulletin & review*, 22(5), 1342–1348. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0797-9>

Cumming G. (2014). The new statistics: why and how. *Psychological science*, 25(1), 7–29.

D'Cruz, A. M., Ragozzino, M. E., Mosconi, M. W., Shrestha, S., Cook, E. H. et Sweeney, J. A. (2013). Reduced behavioral flexibility in autism spectrum disorders. *Neuropsychology*, 27(2), 152–160. <https://doi.org/10.1037/a0031721>

Decker, J. H., Otto, A. R., Daw, N. D. et Hartley, C. A. (2016). From Creatures of Habit to Goal-Directed Learners: Tracking the Developmental Emergence of Model-Based Reinforcement Learning. *Psychological science*, 27(6), 848–858.

de Jonge, M. V., Kemner, C., de Haan, E. H., Coppens, J. E., van den Berg, T. J., & van Engeland, H. (2007). Visual information processing in high-functioning individuals with autism spectrum disorders and their parents. *Neuropsychology*, 21(1), 65–73.

Delis, D. C., Kaplan, E. et Kramer, J. (2001). *Delis Kaplan Executive Function System*. The Psychological Corporation

Deng, W. et Sloutsky, V. M. (2016). Selective attention, diffused attention, and the development of categorization. *Cognitive Psychology*, 91, 24–62.

Eimas, P., Siqueland, E., Jusczyk, P. et Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science* 171(968):303–6

Etcoff, N. L. et Magee, J. J. (1992). Categorical perception of facial expression. *Cognition*, 44, 227–240.

Field, T. M., Woodson, R. W., Greenberg, R. et Cohen, C. (1982). Discrimination and imitation of facial expressions by neonates. *Science*, 218, 179-181.

Fisher A. V. (2019). Selective sustained attention: A developmental foundation for cognition. *Current Opinion in Psychology*, 29, 248–253.

Fisher, A. V., Godwin, E. K. et Matlen, B. (2015). Development of inductive generalization with familiar categories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22, 149–1173.

Fornazzari, L., Leggieri, M., Schweizer, T. A., Arizaga, R. L., Allegri, R. F. et Fischer, C. E. (2018). Hyper memory, synesthesia, savants Luria and Borges revisited. *Dementia & neuropsychologia*, 12(2), 101-104.

Fouquet, N. et Megalakaki, O. (2013). Construction et compréhension des catégories taxonomiques des animaux, végétaux et objets fabriqués chez des enfants de 3 à 6 ans. *Enfance*, 65(2), 117–137.

Frith, U. (1989). *Autism: Explaining the enigma*. Blackwell Publishing

Frith, U. et Happé, F. (1994). Autism: Beyond “theory of mind”. *Cognition*, 50(1), 115-132.

Frith, U. et Hermelin, B. (1969). The role of visual and motor cues for normal, subnormal and autistic children. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 10(3), 153–163. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1969.tb02077.x>

Galván, A. (2010). Neural plasticity of development and learning. *Human Brain, Mapping*, 31, 879–890.

Gao, H., Cai, X., Li, F., Zhang, S. et Li, H. (2016). How the brain detects invariance and inhibits variance during category induction. *Neuroscience letters*, 626, 174-181.

Gastgeb, H. Z., Dundas, E.M., Minshew, N.J. et 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, 1694–1704.

Gastgeb H. Z., Rump K. M., Best C. A., Minshew N. J. et Strauss M. S. (2009) Prototype formation: Can individuals with autism abstract facial prototypes? *Autism Research*, 2, 279–284.

Gastgeb, H. Z. et Strauss, M. S. (2012). Categorization in ASD: The Role of Typicality and Development. *Perspectives on language learning and education*, 19(2), 66–74.

Gastgeb, H. Z., Strauss, M. S. et 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

Gastgeb, H. Z., Wilkinson, D. A., Minshew, N. J. et Strauss, M. S. (2011). Can individuals with autism abstract prototypes of natural faces? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(12), 1609–1618. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1190-4>

Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 410–419.

Goldstone, R. L. et Andrew T. H. (2010). Categorical Perception. *Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1, 65–78.

Green, D. M. et Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. John Wiley.

Halsey, L. G., Curran-Everett, D., Vowler, S. L. et Drummond, G. B. (2015). The fickle P value generates irreproducible results. *Nature methods*, 12(3), 179–185.

Happé, F. et Frith, U. (2006). The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 36(1), 5–25.

Harnad, S. (1987). Introduction: psychological and cognitive aspects of categorical perception: a critical overview. Dans S. Harnad (Dir.), *Categorical perception: The groundwork of cognition*. Cambridge University Press.

Harnad, S. (2017) To cognize is to categorize: cognition is categorization. Dans C. Lefebvre and H. Cohen (Dir.) *Handbook of categorization in cognitive science* (2nd edition), Elsevier.

Harnad, S. (2025). Language writ large: LLMs, ChatGPT, meaning, and understanding. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1490698.

Hochstein, S. et Ahissar, M. (2002). View from the top: Hierarchies and reverse hierarchies in the visual system. *Neuron*, 36(5), 791–804.

Horst, J. S. et Simmering, V. R. (2015). Category learning in a dynamic world. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 46. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00046>

Institut national de santé publique du Québec. (2024). L'Indicateur de santé publique : Trouble du spectre de l'autisme (TSA). Repéré à <https://www.inspq.qc.ca/indicateur/developpement-des-jeunes/trouble-spectre-autisme>.

Joanisse, M. F. et McClelland, J. L. (2015). Connectionist perspectives on language learning, representation and processing. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(3), 235–247.

Just M.A., Cherkassky V.L., Keller T.A. et Minshew N.J. (2004) Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: evidence of underconnectivity. *Brain*, 127, 1811–21.

Just MA, Keller T, Malave V, Kana R.K. et Varma S. (2012) Autism as a neural systems disorder: A theory of frontal-posterior underconnectivity *Neuroscience Biobehavioral Review*. 36, 1292–313.

Keil, F. C. (1992). *Concepts, kinds, and cognitive development*. MIT Press.

- Keil, F. C. et Batterman, N. (1984). A characteristic-to-defining shift in the development of word meaning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23, 221–236.
- Kim, M. H., Weyrich, T. et Kautz, J. (2009). Modeling human color perception under extended luminance levels. *ACM SIGGRAPH*, 1-9
- Klinger, L.G. et Dawson, G. (2001). Prototype formation in autism. *Development and Psychopathology*, 13, 111–124.
- Klinger, L. G., Klinger, M. R. et Pohlig, R. (2007). *Implicit learning impairments in autism spectrum disorders: Implications for treatment*. Dans J. Pérez, J. M., González, P. M., Llorente Comí, M. et Nieto, C. (Dir.). *New developments in autism: The future is today*. Jessica Kingsley Publishers.
- Lberman, A. M., Harris, K. S., Hoffman, H. S. et Griffith, B. C. (1957). The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *Journal of Experimental Psychology*, 54(5), 358–368. <https://doi.org/10.1037/h0044417>
- Livingston, K. R. et Andrews, J. K. (2005). Evidence for an age-independent process in category learning. *Developmental Science*, 8(4), 319–325.
- Lord C., Risi S., Lambrecht L.K., Cook E.H., Leventhal B.L., DiLavore P.C., Pickles A. et Rutter M. (1999). The Autism Diagnostic Observation Schedule - Generic: A standard measure of social and communication deficits associated with the spectrum of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 30, 205–223.
- Lord C., Rutter M. et Le Couteur A. (1994) Autism Diagnostic Interview - Revised: A revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24, 659–685.
- Louis, P., Véronneau, M., Prévost, C. et Harnad, S. (2021). Psychometric correlates of categorization: an exploratory study. *Applied and Clinical Neuropsychology* 4.
- Love, B.C. (2002). Comparing supervised and unsupervised category learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 829–835.
- Luria, A.R. (1968) *The Mind of a Mnemonist: A Little Book about a Vast Memory*. Harvard University Press
- Macmillan, N. A. et Creelman, C. D. (2005). *Detection theory: A user's guide* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Maintenant, C. et Blaye, A. (2008). Développement de la flexibilité catégorielle de 3 à 8 ans : rôle des aspects conceptuels. *L'année psychologique*, 108(4), 659-698

Manly, T., Robertson, I.H., Anderson, V. et Mimmo-Smith, I. (2004) *Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant – TEA-Ch*. ECPA

Mareschal, D. et Quinn, P. C. (2001). Categorization in infancy. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 443–450.

Margolis, E. (1994). A reassessment of the shift from the classical theory of concepts to prototype theory. *Cognition*, 51(1), 73-89

Mercado, E. III, Chow, K., Church, B. A. et Lopata, C. (2020). Perceptual category learning in autism spectrum disorder: Truth and consequences. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 118, 689–703. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.08.016>

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

Minda, J. P. et Miles, S. J. (2010). The influence of verbal and nonverbal processing on category learning. Dans B. H. Ross (Dir.). *The psychology of learning and motivation* (Vol. 52, pp. 117–162). Academic Press.

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

Molesworth, C.J., Bowler, D.M. et Hampton, J.A. (2008). When prototypes are not best: judgments made by children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 1721–1730.

Mottron, L. (2016). L'autisme, une autre intelligence. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 200(3), 423-434.

Mottron, L., Burack, J., Stauder, J. et Robaey, P. (1999). Perceptual Processing among High-functioning Persons with Autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 40(2), 203-211. doi:10.1111/1469-7610.00433

Mottron, L. et Burack, J. A. (2001). *Enhanced perceptual functioning in the development of autism*. Dans J. A. Burack, T. Charman, N. Yirmiya, et P. R. Zelazo (Dir.), *The development of autism: Perspectives from theory and research* (pp. 131-148). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Mottron, L. et Burack, JA. (2006) Another perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 1-3.

Mottron, L., Dawson, M. et Soulières, I. (2009). Enhanced perception in savant syndrome: patterns, structure and creativity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1522), 1385-1391.

Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B. et Burack, J. A. (2006) Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36, 27 – 43.

Nader, A.-M., Tullo, D., Bouchard, V., Degré-Pelletier, J., Bertone, A., Dawson, M. et Soulières, I. (2022). Category learning in autism: Are some situations better than others? *Journal of Experimental Psychology: General*, 151(3), 578–596.

Newell, L. C., Best, C. A., Gastgeb, H., Rump, K. M. et Strauss, M. S. (2010). The development of categorization and facial knowledge: Implications for the study of autism. Dans L. M. Oakes, C. H. Cashon, M. Casasola et D. H. Rakison (Dir.), *Infant perception and cognition: Recent advances, emerging theories, and future directions*. Oxford Press.

Owen, K. et Barnes, C. (2021). The development of categorization in early childhood: A review. *Early Child Development and Care*, 191(1), 13–20. <https://doi.org/10.1080/03004430.2019.1608193>

Patry, M. B. et Horn, E. M. (2019). Schema development in individuals with autism: A review of the literature. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*, 6(4), 339–355. <https://doi.org/10.1007/s40489-019-00179-6>

Pérez-Gay Juárez, F. (2019). How and why does category learning cause categorical perception? Behavioural, neural and computational aspects. [Thèse de doctorat non publiée]. Université McGill, Montréal

Pérez-Gay Juárez, F., Sicotte, T., Thériault, C. et Harnad, S. (2019). Category learning can alter perception and its neural correlates. *PloS one*, 14(12), e0226000.

Pérez-Gay, F., Thériault, C., Gregory, M., Sabri, H., Harnad, S. et Rivas, D. (2017) How and why does category learning cause categorical perception? *International Journal of Comparative Psychology*, 30.

Pick, H. L. (1992). Eleanor J. Gibson: Learning to perceive and perceiving to learn. *Developmental Psychology*, 28(5), 787.

Plaisted, K. (2001). Reduced generalization in autism. Dans J. A. Burack, T. Charman, N. Yirmiya et P. R. Zelazo (dir.), *The development of autism: Perspectives from theory and research* (p. 149-169). Lawrence Erlbaum Associates

Poulin-Dubois, D. et Pauen, S. (2017). The development of object categories: What, when, and how? Dans H. Cohen et C. Lefebvre (Dir.), *Handbook of categorization in cognitive science* (2e éd., pp. 653–671). Elsevier Academic Press.

Rabi, R. et Minda, J. P. (2014). Rule-based category learning in children: The role of age and executive functioning. *PLoS ONE*, 9, e85316.

- Ralston, R. W. et Sloutsky, V. M. (2023). From features to categories: The development of inductive generalization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 49(10), 1615–1634. <https://doi.org/10.1037/xlm0001263>
- Reber, P. J., Gitelman, D. R., Parrish, T. B. et Mesulam, M. (2003). Dissociating explicit and implicit category knowledge with fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(4), 574-583.
- Reetzke, R., Maddox, W. T. et Chandrasekaran, B. (2016). The role of age and executive function in auditory category learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 142, 48–65.
- Rosch, E. (1978). *Principles of categorization*. Dans E. Rosch et B. B. Lloyd (Dir.), Cognition and categorization (pp. 27-48). Erlbaum.
- Rouder, J. N. et Ratcliff, R. (2006). Comparing Exemplar and Rule-Based Theories of Categorization. *Current Directions in Psychological Science*, 15(1), 9–13.
- Samson, F., Mottron, L., Soulières, I. et Zeffiro, T. A. (2011). Enhanced visual functioning in autism: An ALE meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 33(7), 1553–1581.
- Sapey-Triomphe, L.-A., Sonié, S., Hénaff, M.-A., Mattout, J. et Schmitz, C. (2018). Adults with autism tend to underestimate the hidden environmental structure: Evidence from a visual associative learning task. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(9), 3075.
- Schipul S. E. et Just M. A. (2016). Diminished neural adaptation during implicit learning in autism. *Neuroimage*, 125, 332–341
- Schipul, S. E., Keller, T. A. et Just, M. A. (2011). Inter-Regional Brain Communication and Its Disturbance in Autism. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5.
- Schyns, P. G., Goldstone, R. L. et Thibaut, J. P. (1998). The development of features in object concepts. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(1), 1-17.
- Segal, O., Hejli-Assi, S. et Kishon-Rabin, L. (2016). The effect of listening experience on the discrimination of/ba/and/pa/in Hebrew-learning and Arabic-learning infants. *Infant Behavior and Development*, 42, 86-99.
- Sloutsky, V. M. (2010). From perceptual categories to concepts: What develops? *Cognitive Science*, 34, 1244–1286.
- Sloutsky, V. M., Deng, W. S., Fisher, A. V. et Kloos, H. (2015). Conceptual influences on induction: A case for a late onset. *Cognitive Psychology*, 82, 1–31.

Sloutsky, V. M. et Deng, W. S. (2019). Categories, Concepts, and Conceptual Development. *Language, cognition and neuroscience*, 34(10), 1284–1297.

Smid, C. R., Ganesan, K., Thompson, A., Cañigueral, R., Veselic, S., Royer, J., Kool, W., Hauser, T. U., Bernhardt, B. et Steinbeis, N. (2023). Neurocognitive basis of model-based decision making and its metacontrol in childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 62, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2023.101269>

Smith, E. E. et Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts* (Vol. 9). Cambridge, MA: Harvard University Press.

Smith, L. B. (1989). A model of perceptual classification in children and adults. *Psychological Review*, 96, 125–144.

Smith, A. O. et Rangarajan, A. (2016). A Category Space Approach to Supervised Dimensionality Reduction. *arXiv preprint arXiv:1610.08838*

Soulières, I., Mottron, L., Saumier, D. et Larochelle, S. (2007). Atypical categorical perception in autism: Autonomy of discrimination? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(3), 481–490

Soulières, I., Mottron, L., Giguère, G. et Larochelle, S. (2011). Category induction in autism: Slower, perhaps different, but certainly possible. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(2), 311–327.

Sullivan, G. M. et Feinn, R. (2012). Using Effect Size-or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of graduate medical education*, 4(3), 279–282.

Swanson, H. L. (1999). What develops in working memory? A life span perspective. *Developmental Psychology*, 35, 986–1000.

Thériault, C., Pérez-Gay, F., Rivas, D. et Harnad, S. (2018). Learning-induced categorical perception in a neural network model. *Topics in Cognitive Science*, 1–11.

Vandenbroucke, M. W. G., Scholte, H. S., van Engeland, H., Lamme, V. A. F. et Kemner, C. (2008). A neural substrate for atypical low-level visual processing in autism spectrum disorder. *Brain*, 131(4), 1013–1024.

Vandenbroucke, M. W. G., Steven Scholte, H., Engeland, H. van, Lamme, V. A. F. et Kemner, C. (2009). A new approach to the study of detail perception in Autism Spectrum Disorder (ASD): Investigating visual feedforward, horizontal and feedback processing. *Vision Research*, 49(9), 1006–1016.

Vanpaemel, W. et Bayer, J. (2021). Prototype-based category learning in autism: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 127, 607–618. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.05.016>

Véronneau, M. (2023). L'effet du sur-apprentissage de catégories visuelles sur la perception catégorielle et ses corrélats neuronaux. [Thèse de doctorat non publiée]. Université du Québec à Montréal, Montréal

Vladusich, T., Olu-Lafe, O., Kim, D., Tager-Flusberg, H. et Grossberg, S. (2010). Prototypical category learning in high functioning autism. *Autism Research*, 3, 226–236.

Walraven, P. L. (1966). A zone theory of colour vision. *Tagungsband Luzern 1965, Farbe*, 137.

Wan, Q. (2024). *Unraveling Cognitive Processes Driving the Development of Optimized Category Learning and Decision-Making* [Thèse de doctorat, The Ohio State University].

Wan, Q. et Sloutsky, V. M. (2024). Exploration, Distributed Attention, and Development of Category Learning. *Psychological science*, 35(10), 1164–1177.

Wang, Z., Zheng, L., Yang, L., Yin, S., Yu, S., Chen, K., Zhang, T., Wang, H., Zhang, T. et Zhang, Y. (2025). Structural and functional whole brain changes in autism spectrum disorder at different age stages. *European child & adolescent psychiatry*, 34(5), 1589–1602.

Warren, C. V., Baumert, R., Diermann, K., Schöttle, D. et Bayer, J. (2025). Linking Subclinical Autistic Traits and Perceptual Category Learning. *European Journal of Neuroscience*, 61(4).

Waxman, S. R. et Markow, D. B. (1995). Words as invitations to form categories: Evidence from 12- to 13-month-old infants. *Cognitive Psychology*, 29, 257-302.

Wechsler, D. (2014). *WISC-V: Technical and Interpretive Manual*. NCS Pearson, Incorporated.

Werker, J. F. et Tees, R. C., (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behaviour & Development*, 7, 49-63.

Wimmer, L., Steininger, T. M., Schmid, A. et Wittwer, J. (2024). Category learning in autistic individuals: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 31(2), 460–483. <https://doi.org/10.3758/s13423-023-02365-4>

Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations*. Blackwell.

Wong, C. H., Gau, S. S. F. et Chou, T. L. (2019). Neural correlates of association strength and categorical relatedness in youths with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 12(10), 1484–1494.

Zeithamova, D. et Maddox, W. T. (2006). Dual-task interference in perceptual category learning. *Memory & Cognition*, 34(2), 387–398.

Zettersten, M. et Lupyan, G. (2020). Finding categories through words: More nameable features improve category learning. *Cognition*, 196, 104135