

Doctorat de l'Université de Toulouse

préparé à l'Université Toulouse - Jean Jaurès

Habilétés visuo-spatiales dans l'autisme : variabilité
interindividuelle et processus mis en jeu

Thèse présentée et soutenue, le 19 septembre 2025 par

Alizée DIU

École doctorale

CESCO - Comportement, Langage, Éducation, Socialisation, Cognition

Spécialité

Psychologie

Unité de recherche

CERPPS - Centre d'Études et de Recherches en Psychopathologie et Psychologie de la Santé

Thèse dirigée par

Magali BATTY et Lucie BOUVET

Composition du jury

M. Franck AMADIEU, Président, Université Toulouse - Jean Jaurès

M. Nicolas POIREL, Rapporteur, Université Paris Cité

M. Armando BERTONE, Rapporteur, McGill University

Mme Klara KOVARSKI, Examinatrice, Sorbonne Université

Mme Magali BATTY, Directrice de thèse, Université Toulouse - Jean Jaurès

Mme Lucie BOUVET, Co-directrice de thèse, Université Toulouse - Jean Jaurès

Remerciements

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute ma gratitude envers celles et ceux qui m'ont accompagné, d'une façon ou d'une autre, durant ces années de thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement mes directrices de thèse, Lucie et Magali, pour leur accompagnement, leur bienveillance, leur confiance et leur disponibilité tout au long des dernières années. Merci pour les opportunités que vous m'avez offertes, depuis mon stage de M2 aux côtés de Lucie (qui m'a donné envie de poursuivre en doctorat) jusqu'à aujourd'hui. Merci pour les mails, les rendez-vous ou les appels durant lesquels vous avez su m'aiguiller et me rassurer lors des (parfois nombreux) moments de doute.

J'adresse également mes remerciements aux membres du jury, les Professeurs Franck AMADIEU, Armando BERTONE, Nicolas POIREL ainsi que Klara KOVARSKI, pour avoir accepté d'examiner mes recherches et pour leur présence lors de ma soutenance.

Je remercie également toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réussite de mes recherches. En premier lieu, merci à toutes les personnes qui ont participé ainsi qu'aux parents des enfants d'avoir répondu présent, car sans eux, ces travaux n'auraient pas pu voir le jour. Merci également aux professionnels d'Autisme 31 (particulièrement Romane SOUCAS) et du CERESA qui ont relayé les appels à volontaires et m'ont parfois accueilli dans leurs locaux pour des expérimentations. Enfin, merci aux étudiants de Master qui se sont impliqués dans le projet et qui ont parfois pris part aux phases expérimentales.

Au cours de ces années de thèse, j'ai aussi pu compter sur certaines personnes qui ont toujours été de bons conseils pour m'orienter dans mes recherches. Je pense notamment à Quentin GUILLOU, à Patrick RAYNAL et à Pierre-Vincent PAUBEL, que je remercie grandement pour nos échanges riches et constructifs. Merci à Catherine CHERON, et avant elle à Meryem BOUMAZA, pour leur aide précieuse et leur soutien quotidien, qui facilitent le travail de tout le laboratoire.

Merci à l'ensemble de mes collègues, actuels ou passés, pour les moments de convivialité et d'entraide partagés, car la thèse est une réelle aventure humaine qui n'aurait pas été la même sans vous. J'aimerais adresser plus particulièrement un petit mot à certains et certaines, qui sont devenus de réels amis au fil du temps. Merci à Romane, pour nos nombreuses discussions diurnes et à Ilaisa pour nos nombreux échanges nocturnes. À toutes les deux, sachez qu'au

moment où j'écris ces mots, je me sustente des délicieux snacks livrés par vos soins à mon domicile, alors merci ! Comment ne pas aussi remercier la team goûter pour nos moments de détente autour de bonnes boissons chaudes : Anaëlle, pour ta bonne humeur constante, Marine, pour cette fin de thèse et les aléas conséquents que nous avons partagés, Capucine, pour avoir supporté mes fréquentes envies de déménagement dans notre bureau ces trois dernières années, sans oublier Margaux (Nice, on arrive !). Camille, merci simplement d'être toi, une amie fidèle sur qui on peut toujours compter. Merci à toute la team Pradelles (dont Dj Steph), nouvel an, ski, barbecues et j'en passe : Camille à nouveau, Clément, Élodie, Julien, Cécile, Gaëlle, Fanny, Jeff, ainsi que Cassandra, la meilleure des cops (qui a rempli mon estomac et mon cœur durant ces années) et Joséphine dite Josette (dis à mon filleul de préparer la chorée pour fêter ça). Merci pour votre écoute et votre bienveillance durant ces dernières années, et pour tout le bonheur que vous me procurez.

Je tiens à remercier mes amis extérieurs au laboratoire pour tous les moments partagés : Fleur et Cloé (la team lecture), Maxime, Jean-Laurent, Léa et Rémy (et Vaya). Merci aussi à Kelly et Adrien (bisous à Lyna) ainsi qu'à Théo et Élodie (les meilleurs voisins que le monde ait connus).

Merci enfin à mon conjoint, Florent, qui m'a accompagné dans les bons comme dans les moins bons moments (et qui connaît probablement par cœur chacune de mes communications orales), à mes parents (merci maman pour les nombreuses relectures), mes frères et mes belles-sœurs, mes neveux et nièces et plus largement toute ma famille, sur laquelle j'ai toujours pu compter pour faire le plein de ressources.

À vous tous, merci pour votre soutien indéfectible, votre joie, votre amitié ou votre amour, et pour les merveilleux moments à vos côtés, passés et à venir.

«In diversity, there is beauty and there is strength. »

Maya Angelou

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	11
RÉSUMÉ	13
ABSTRACT	15
PARTIE THÉORIQUE	18
Chapitre 1. Le Trouble du Spectre de l'Autisme	20
1.1. Historique et définition	20
1.2. Symptomatologie et diagnostic	21
1.3. Épidémiologie	25
1.4. Comorbidités	27
1.5. Etiologie	30
Chapitre 2. Les théories neuropsychologiques du TSA	36
2.1. Théories sociales	36
2.2. Théories perceptives	40
2.3. Particularités du fonctionnement cognitif	44
Chapitre 3. Le traitement de l'information visuospatiale	48
3.1. Définition et implications fonctionnelles	48
3.2. Processus cognitifs impliqués dans le traitement visuospatial	51
3.3. Bases neuroanatomiques	55
3.4. Facteurs de variabilité interindividuelle	58
Chapitre 4. Évaluation des habiletés visuospatiales et résultats dans l'autisme	64
4.1. Outils d'évaluation et données dans l'autisme	64
4.1.1. Habiletés visuo-perceptives	65
4.1.2. Habiletés visuo-spatiales	67
4.1.3. Habiletés visuo-motrices et visuo-constructives	70
4.1.4. Habiletés de raisonnement non verbal	73
4.1.5. Vue d'ensemble et hétérogénéité des résultats	74
4.2. Apports de la technique d'eye-tracking	77
4.2.1. Définition de l'outil	77
4.2.2. Exploration visuelle dans le TSA	79
Problématique et objectifs	86

PARTIE EMPIRIQUE	90
Méthodologie générale	92
Introduction aux études	106
Étude 1. Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme	108
Résumé.....	109
Introduction.....	110
Matériel et méthode	112
Résultats.....	114
Discussion.....	116
Références.....	119
Étude complémentaire	124
Références.....	134
Étude 2. Étude complémentaire.....	136
Résumé.....	137
Abstract.....	138
Introduction.....	139
Materials and methods	141
Results.....	146
Discussion.....	151
References.....	155
Supplementary Data.....	160
Étude 3. Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye Tracking.....	162
Résumé.....	164
Abstract.....	165
Introduction.....	166
Method	168
Results.....	172
Discussion.....	176
References.....	179
Supplementary data.....	185
Étude 4. Visual exploration and Construction Strategies Underlying Performance in the Block Design Task in Autism.....	186
Résumé.....	187

Abstract.....	188
Introduction.....	189
Method	192
Results.....	196
Discussion.....	201
References.....	204
DISCUSSION GÉNÉRALE	212
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	228
ANNEXES	304
Annexe A. Accord Comité d'éthique	306
Annexe B. Notice d'information et consentement	308
Annexe C. Appels à volontaire.....	312
Annexe D. Communications congrès - posters	316

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Evolution des catégories et critères diagnostiques du DSM-IV au DSM-5.....	21
Figure 2. La dyade autistique selon le DSM-5	22
Figure 3. Modélisation du processus neuro-visuel de la prise d'information à l'action	62
Figure 4. Exemple d'item du test des figures encastrées.....	66
Figure 5. Exemple d'item du test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse	69
Figure 6. Illustration d'un item des Cubes de Kohs de la WAIS-IV	72
Figure 7. Illustration d'un item des Matrices Progressives de Raven	74
Figure 8. Dispositif mobile d'oculométrie, sous forme de lunettes (SMI)	79
Figure 9. Illustration des stratégies de résolution des Cubes de Kohs pour un même item	82
Figure 10. Illustration des patterns d'exploration pour les stratégies CM (a) et ER (b)	83
Figure 11. Planche de Monoyer pour l'évaluation de l'acuité visuelle	98
Figure 12. Illustration du matériel du test Purdue Pegboard	99

Étude 1

Figure 1. Graphiques représentant les scores obtenus à chaque tâche pour les groupes autiste et neurotypique	115
Figure 2. Illustration des corrélations dans le groupe neurotypique (nt) et autiste (aut)	116

Étude complémentaire

Figure 1. Schéma récapitulatif des résultats obtenus (groupes confondus).....	132
---	-----

Étude 2

Figure 1. Illustrative Example of AOIs Delimitation.....	143
Figure 2. Illustration of the two Strategies	144
Figure 3. Percentage of Successful Items Depending on Series and Complexity Levels	149
Figure 4. Graphs Showing the Item Average Composite Score by Series and Complexity Levels	150
Figure 5. Correlation Plot Between 18-Items Score and Average Composite Score of Participants	151

Supplementary Figure. Average composite score for each item analyzed with eye-tracking	160
--	-----

Étude 3

Figure 1. Illustration of Areas of Interest (AOIs) and Strategic Scan Path Patterns for an RPM Item	171
Figure 2. Correlation Plot between the Average Composite Score and the RPM Total Score of Participants	173
Figure 3. Composite Scores of Successful Items by Participants for ASD and TD Groups ..	174
Figure 4. Average Composite Score by Difficulty Factors (Series and Complexity) and Group	175
Figure 5. Correlation Plot between the Median Average Deviation (MAD) of the Composite Score and the RPM Total Score of Participants	175

Étude 4

Figure 1. Illustration of the Areas of Interest (AOIs) for a BDT Item	194
Figure 2. Scan Paths Associated with Low (a) and High (b) Composite Score	195
Figure 3. Mean Composite Score on Items by Group	197
Figure 4. Percentage of Successful Items by Construction Strategies	198
Figure 5. Item Resolution Time Depending on Construction Strategy	199
Figure 6. Percentage of Construction Strategies Use for Items by Group	200
Figure 7. Mean Composite Score of items by Construction Strategy and Group	201

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description Socio-Démographique des Echantillons Expérimentaux 95

Étude 1

Tableau 1. Tableau descriptif des scores obtenus aux tâches visuospatiales dans les groupes autiste et neurotypique 114

Étude complémentaire

Tableau 1. Description et comparaison des caractéristiques cognitives entre groupes 127
..... 130

Étude 2

Table 1. Summary Table Showing Variables Used for Item and Participant Levels of Analysis 145
Table 2. Descriptive and Inferential Statistical Data for Each Gaze Index According to Series and Complexity 147

Étude 3

Table 1. Estimated Marginal Means for the Composite Score in the RPM Test 185

RÉSUMÉ

Les capacités visuospatiales ont fréquemment été rapportées comme supérieures chez les personnes autistes, en raison de performances souvent plus élevées que celles observées dans la population générale. Ce domaine de compétence, souvent présenté comme une force, contraste avec d'autres fonctions cognitives décrites comme déficitaires dans l'autisme, notamment sur les plans social et communicationnel. Toutefois, la littérature souligne une importante hétérogénéité interindividuelle dans la capacité à traiter l'information visuospatiale, remettant en cause l'idée d'une supériorité systématique de ces habiletés. Cette thèse vise donc à explorer les habiletés visuospatiales dans l'autisme afin de mieux comprendre la variabilité des performances et d'en identifier les déterminants.

Le protocole expérimental comprenait quatre tâches visuospatiales : les Matrices Progressives de Raven, les Cubes de Kohs, les Figures enchevêtrées et le test de Rotation mentale, ainsi que des questionnaires d'auto-évaluation de certaines caractéristiques individuelles telles que le niveau de systématisation de l'information, la sensibilité sensorielle et le style cognitif. Les informations portant sur l'exploration visuelle des participants de chaque groupe expérimental (autiste et non autiste) ont été recueillies à l'aide d'un dispositif mobile d'oculométrie.

Comme attendu, la première étude portant sur l'hétérogénéité des performances a mis en évidence des habiletés préservées ou supérieures dans l'autisme selon les tâches considérées. Des profils plus ou moins performants ont été observés tant dans le groupe autiste que dans le groupe non autiste, avec une variabilité plus marquée dans le groupe autiste, notamment pour la Rotation mentale.

L'étude complémentaire à l'étude 1 visait à expliquer l'hétérogénéité observée au travers de caractéristiques individuelles associées à l'autisme. Les résultats suggèrent qu'un profil cognitif associant une forte imagerie mentale spatiale à un niveau élevé de systématisation est lié à de meilleures performances visuospatiales. Bien que ce profil cognitif ne soit pas spécifique à l'autisme, il semblerait y être plus fréquent, ce qui pourrait contribuer à expliquer les performances supérieures souvent rapportées dans la littérature.

Afin de mieux comprendre les mécanismes cognitifs impliqués dans la résolution des tâches visuospatiales, l'oculométrie a été utilisée pour identifier les stratégies visuelles mobilisées au cours des Matrices de Raven (études 2 et 3) et des Cubes de Kohs (étude 4). Les études 2 et 3,

en se basant sur un score composite qui intègre différents indices d'exploration visuelle, confirment que la stratégie d'appariement constructif est la plus efficace pour résoudre les Matrices. Bien qu'aucune différence de performances (score et temps de résolution) ne soit retrouvée entre les groupes, les résultats révèlent une utilisation plus importante de cette stratégie par les personnes autistes. L'étude 4 utilise un score composite similaire et montre que les personnes autistes ont davantage recours aux stratégies analytiques que les personnes non autistes, que ce soit dans leur exploration visuelle ou dans leur méthode de construction. Ces stratégies étant plus efficaces, cette préférence pourrait expliquer leurs meilleures performances.

Ainsi, nos résultats confirment les performances visuospatiales au moins préservées voire améliorées dans l'autisme et fournissent des pistes explicatives de l'hétérogénéité qui y est observée. Ils viennent enrichir les connaissances relatives au traitement visuel dans l'autisme en apportant un éclairage nouveau sur les processus perceptifs et cognitifs sous-jacents, en particulier dans le cadre du modèle du fonctionnement perceptif amélioré. Cette thèse souligne l'importance de considérer les différences interindividuelles dans le domaine visuospatial et fournit des perspectives pour une meilleure individualisation de l'accompagnement des personnes autistes.

Mots clés : Autisme, visuospatial, variabilité, style cognitif, stratégies, oculométrie

ABSTRACT

Visuospatial abilities have frequently been reported as superior in autistic individuals, due to performance often being higher than that observed in the general population. This domain of competence, often presented as a strength, contrasts with other cognitive functions described as impaired in autism, particularly in the social and communicative domains. However, the literature highlights significant interindividual variability in the ability to process visuospatial information, calling into question the idea of a systematic superiority of these skills. This thesis therefore aims to explore visuospatial abilities in autism in order to better understand performance variability and identify its potential determinants.

The experimental protocol included four visuospatial tasks: Raven's Progressive Matrices, Block Design, Embedded Figures, and the Mental Rotation Test, as well as self-report questionnaires assessing individual characteristics such as level of systemizing, sensory sensitivity, and cognitive style. Visual exploration data for participants from each experimental group (autistic and non-autistic) were collected using a mobile eye-tracking device.

As expected, the first study examining performance heterogeneity showed preserved or superior abilities in autism depending on the task. More or less efficient performance profiles were observed in both the autistic and non-autistic groups, with greater variability in the autistic group, particularly in the Mental Rotation task.

The complementary study to study 1 aimed to explain this heterogeneity through individual characteristics associated with autism. The results suggest that a cognitive profile combining strong spatial mental imagery with a high level of systemizing is associated with better visuospatial performance. Although this cognitive profile is not specific to autism, it appears to be more frequently found in autistic individuals, which could help explain the superior performances often reported in the literature.

To better understand the cognitive mechanisms involved in visuospatial task solving, eye-tracking was used to identify visual strategies employed during Raven's Matrices (studies 2 and 3) and the Block Design task (Study 4). Studies 2 and 3, based on a composite score integrating various visual exploration indices, confirm that the constructive matching strategy is the most effective for solving the Matrices. Although no performance differences (score or resolution

time) were found between the groups, the results show greater use of this strategy by autistic participants. Study 4, using a similar composite score, shows that autistic individuals rely more on analytical strategies than non-autistic individuals, both in their visual exploration and construction methods for the Block Design task. As these strategies are more effective, this preference could help explain their better performance.

Thus, our results confirm that visuospatial performance is at least preserved, if not enhanced, in autism, and offer explanatory insights into the heterogeneity observed. They enrich current knowledge about visual processing in autism by shedding new light on the underlying perceptual and cognitive processes, particularly within the framework of the Enhanced Perceptual Functioning model. This thesis emphasizes the importance of considering interindividual differences in the visuospatial domain and offers perspectives for more personalized support for autistic individuals.

Keywords: Autism, visuospatial, variability, cognitive style, strategies, eye tracking

PARTIE THÉORIQUE

Chapitre 1. Le Trouble du Spectre de l'Autisme

1.1. Historique et définition

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) a été décrit pour la première fois par Leo Kanner en 1943 suite à ses observations sur un groupe de 11 enfants. Il rapporte un repli social marqué, une tendance à la répétition de certains comportements et des intérêts très restreints (Kanner, 1943). La même année, Hans Asperger a étudié un groupe d'enfants présentant des caractéristiques similaires mais chez lesquels il observe des pics de compétences dans des domaines spécifiques (Asperger, 1944). Ces travaux fondateurs ont permis d'établir une compréhension initiale de l'autisme qui s'est par la suite enrichie avec l'émergence des premières études sur les bases neurobiologiques du TSA. Notamment, les travaux de Bernard Rimland ont contribué à positionner l'autisme dans le champ des troubles du neurodéveloppement (Rimland, 1964).

La définition du TSA a évolué au cours des décennies grâce aux progrès de la recherche clinique, donnant lieu à des révisions successives des deux principaux manuels diagnostiques : le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (ou DSM) de l'Association américaine de psychologie et la classification internationale des maladies (CIM) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'autisme a d'abord été intégré sous le terme de "schizophrénie infantile" dans le DSM-II (APA, 1968) et ce n'est qu'avec le DSM-III qu'il a été reconnu comme un trouble distinct (APA, 1980). Adoptée en 1993, la dixième édition de la CIM (OMS, 1994) distingue différentes catégories de troubles envahissants du développement (TED) telles que l'autisme infantile, l'autisme atypique, le syndrome de Rett, les autres troubles désintégratifs du développement non spécifiés (TED-NS) ou les autres troubles envahissants du développement. Cette catégorisation sera reprise par le DSM-IV (APA, 1994) qui utilisera la même terminologie de troubles envahissants du développement. Également, le terme d'autisme infantile est remplacé par celui de troubles autistiques et d'autisme atypique et les autres TED disparaissent et sont intégrés dans d'autres catégories. Finalement dans le DSM-5, la cinquième et actuelle édition (APA, 2013), la terminologie commune de « trouble du spectre de l'autisme » est employée à la place de celle de TED. Cette version regroupe les anciennes catégories et ne distingue donc plus le trouble autistique, le syndrome d'Asperger, le trouble

PARTIE THÉORIQUE

désintégratif de l'enfance et le trouble envahissant du développement non spécifié. Elle exclut cependant le syndrome de Rett et introduit un nouveau diagnostic, le trouble de la communication sociale, caractérisé par des difficultés d'ordre pragmatique dans la communication verbale et non verbale (cf. Figure 1). La dernière révision de la CIM, la CIM-11 a été adoptée en 2022 et définit l'autisme de manière sensiblement identique au DSM-5, en reprenant notamment le terme de troubles du spectre de l'autisme (Organisation Mondiale de la Santé, 2022).

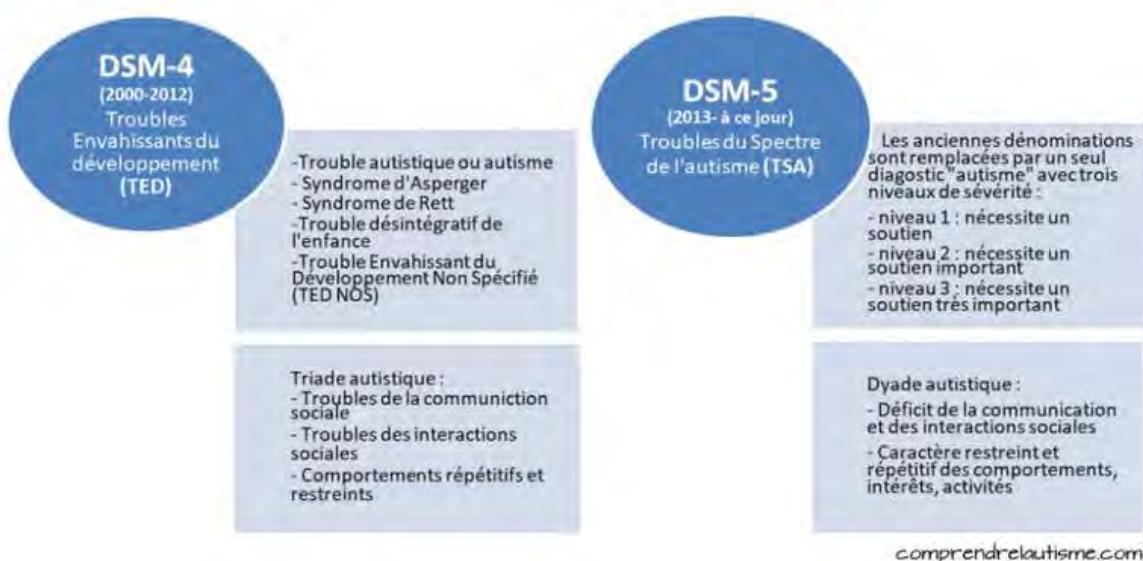


Figure 1. *Evolution des catégories et critères diagnostiques du DSM-IV au DSM-5*
(comprendrelautisme.com)

1.2. Symptomatologie et diagnostic

Le DSM-IV caractérisait l'autisme par trois domaines de symptômes appelés triade autistique : un trouble de la communication sociale, un trouble des interactions sociales ainsi que des comportements répétitifs et restreints. La version actuelle du DSM-5 (APA, 2013) définit finalement le TSA comme un trouble du neurodéveloppement (TND) caractérisé par deux domaines de symptômes résultant en une dyade autistique où deux des précédents symptômes ont été unifiés (Figure 2). Ainsi, le TSA se caractérise premièrement par des déficits persistants de la communication sociale et des interactions sociales. Cela se manifeste par des difficultés à initier, à maintenir et à comprendre les interactions sociales pouvant altérer la réciprocité

PARTIE THÉORIQUE

sociale ou émotionnelle. Ces déficits concernent la communication verbale mais aussi la communication non verbale puisque des atypies telles qu'une absence de regards sociaux (regarder dans les yeux au cours d'une interaction) et une absence ou pauvreté d'expressions faciales sont souvent rapportées. D'autre part, le TSA se caractérise par des comportements, des intérêts ou des activités restreints et répétitifs. Ces comportements englobent des stéréotypies motrices comme le balancement, le « hand flapping » (battements rapides et répétitifs des mains), une démarche ou un positionnement du corps atypique ainsi que des stéréotypies du langage telles que les écholalies (répétitions). Une intolérance aux changements et une rigidité dans les routines sont également retrouvées de même que des intérêts restreints. Ces intérêts, fixes et anormaux dans leur intensité ou dans leur but, peuvent porter sur des activités ou des objets spécifiques (collections ou acquisition de savoirs et d'expertises).

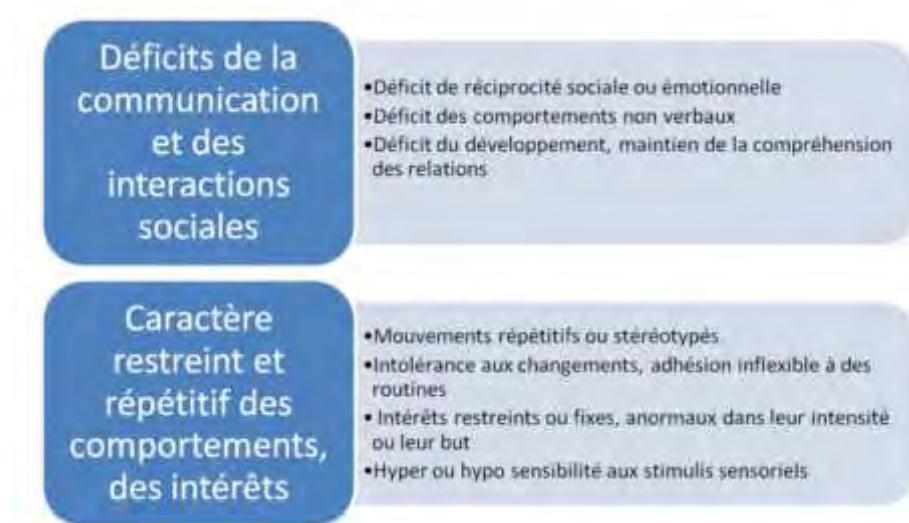


Figure 2. *La dyade autistique selon le DSM-5 (comprendrelautisme.com)*

Enfin, des réactions inhabituelles aux stimuli sensoriels sont largement rapportées et constituent un élément central de la symptomatologie du TSA. Depuis 2013, elles sont reconnues comme un critère diagnostique dans le DSM-5 et ont été intégrées au second axe de la dyade autistique. Ces atypies sensorielles sont rapportées chez une large proportion des personnes autistes, avec des prévalences variant de 45 % à 95 % selon les études (Baranek et al., 2006; DeBoth & Reynolds, 2017; Tomchek & Dunn, 2007). Leur expression est toutefois hétérogène et peut inclure des manifestations d'hypersensibilité et/ou d'hyposensibilité sensorielle et porter sur une ou plusieurs modalités perceptives (Ben-Sasson et al., 2019; Boyd et al., 2010; Marco et al., 2011) : la vision, l'audition, l'olfaction, la gustation ainsi que le toucher (Avery et al., 2018;

PARTIE THÉORIQUE

Cruveiller, 2019; Espenhahn et al., 2023; Gonçalves & Monteiro, 2023; Hadad & Yashar, 2022). Les personnes autistes peuvent par exemple présenter une hypersensibilité aux stimuli visuels, se manifestant par une aversion pour les lumières vives, ou une hypersensibilité aux sons, se manifestant par un inconfort extrême face à certains bruits du quotidien tels que les conversations ou les sons de haute fréquence (Goris et al., 2022). À l'inverse, des formes d'hyposensibilité sensorielle peuvent également être observées et se traduire par une réactivité diminuée à certains stimuli, entraînant des comportements de recherche sensorielle, tels que la manipulation fréquente d'objets aux textures particulières, la mise d'objets non alimentaires en bouche, ou encore la recherche de sensations vestibulaires intenses, comme le balancement ou les rotations répétées (Nimbley et al., 2022). Il est important de noter que les profils sensoriels des personnes autistes sont rarement homogènes car une même personne peut présenter une hypersensibilité dans certaines modalités sensorielles et une hyposensibilité dans d'autres et parfois même de l'hypo- et hyper-sensibilité au sein d'une même modalité (Robertson & Baron-Cohen, 2017). Ces particularités sensorielles sont rapportées comme influençant les versants de la communication, des interactions sociales ainsi que des comportements répétitifs, elles peuvent donc avoir des répercussions importantes sur le quotidien (Boyd et al., 2009; Foss-Feig et al., 2012).

Le DSM-5 précise 3 niveaux de sévérité définis selon l'impact fonctionnel du trouble et les besoins spécifiques à chaque personne : le niveau 1 correspond aux individus qui nécessitent une aide modérée, le niveau 2 à ceux qui nécessitent une aide importante et le niveau 3 à ceux qui nécessitent une aide très importante. Ces niveaux de sévérité permettent ainsi de prendre en considération l'intensité des symptômes et la diversité de profils retrouvés, faisant écho à la notion de « spectre » désormais utilisée.

Les symptômes du TSA surviennent dès la petite enfance, souvent avant l'âge de 3 ans, et perdurent à l'âge adulte. Bien que parfois compliqué, le repérage précoce est possible grâce à des outils de dépistage et d'évaluation comportementale dont l'emploi est recommandé par la Haute Autorité de Santé (HAS). Il repose sur la formation et la vigilance des professionnels de première ligne (pédiatres, médecins de famille, protection maternelle et infantile, crèches et halte-garderie) et implique la détection des signes d'alerte perceptibles dès l'âge de 12 mois. Parmi ces outils, il est possible de citer le M-CHAT-R/F (Robins et al., 2014) qui prend la forme d'un entretien avec les parents. Suite au dépistage, des outils diagnostiques sont alors employés par les professionnels. On retrouve notamment l'Entretien de diagnostic de l'autisme ou ADI-

PARTIE THÉORIQUE

R (Autism Diagnostic Interview-Revised ; Lord et al., 1994). Il s'agit d'un entretien semi-structuré à destination des parents qui vise à repérer les comportements relatifs à l'autisme tels que définis par le DSM-IV et qui peut être proposé dès l'âge de 2 ans. Les professionnels disposent également de l'Echelle d'Observation pour le Diagnostic de l'Autisme ou ADOS-2 (Autism Diagnostic Observation Schedule 2, Lord et al., 1989; traduite en français par Rogé et al., 2015), une échelle d'évaluation de la communication, de l'interaction sociale et du jeu ainsi que des comportements restreints, répétitifs et stéréotypés. Cet outil se compose de 5 modules qui permettent d'adapter l'évaluation à l'âge de la personne et à ses habiletés verbales. Même si cet outil peut alerter dès l'âge de 12 mois sur la présence d'un potentiel TSA, le diagnostic n'est cependant pas réalisé avant les 30 mois de l'enfant. En plus de l'ADI-R et de l'ADOS-2 qui sont complémentaires dans le cadre d'un diagnostic, d'autres tests peuvent être proposés pour enrichir l'examen clinique, notamment l'échelle d'évaluation de l'autisme chez l'enfant ou CARS (Childhood Autistic Rating Scale ; Schopler et al., 1980 ; traduite en français par Schopler et al., 1989) qui comprend un entretien avec les parents ainsi que l'observation des comportements de l'enfant et qui permet d'évaluer la sévérité du trouble. Par la suite, une évaluation fonctionnelle est aussi proposée. Elle peut inclure les échelles des comportements adaptatifs de la Vineland-II (Vineland Adaptive Behavior Scales 2nde édition; Sparrow et al., 2015) ou encore l'une des échelles d'intelligence de Wechsler qui correspondent à la WPPSI-IV chez les jeunes enfants (Wechsler, 2014), à la WISC-V pour les enfants et les adolescents (Wechsler, 2014) et à la WAIS-IV pour les adultes (Wechsler, 2008). Le Profil sensoriel (Dunn, 1999), disponible pour l'enfant (SP2; Dunn, 2014) et pour l'adolescent et l'adulte (A/ASP; Brown & Dunn, 2006) et qui permet d'évaluer la présence et l'intensité des atypies sensorielles, peut aussi être employé. L'ensemble de ces outils, et bien d'autres encore selon les profils cliniques, permet aux professionnels d'avoir une vue d'ensemble de l'individu afin de mettre en place un accompagnement personnalisé. Une récente étude a mis en évidence un âge de diagnostic moyen de 4.9 ans (± 2.8 ans) en France (Rattaz et al., 2022). Cependant, de bonnes habiletés sociales et communicationnelles ainsi que des comportements répétitifs et restreints socialement « acceptables » peuvent retarder la détection du trouble durant l'enfance et le diagnostic peut être réalisé tardivement jusqu'à l'âge adulte. La HAS encourage le dépistage et le diagnostic le plus précocement possible afin de débuter les accompagnements à un âge où la plasticité cérébrale est encore importante, car un grand nombre d'études a pu souligner l'efficacité de la mise en place d'interventions post-diagnostiques sur la trajectoire d'évolution du trouble chez les jeunes enfants autistes (e.g.: Dawson et al., 2010; Lord et al., 2018; Rogers et al., 2019; Zwaigenbaum et al., 2015).

PARTIE THÉORIQUE

Tout en permettant de rendre compte de l'hétérogénéité présente dans le TSA, le terme de spectre introduit également l'idée d'un continuum avec la population générale et neurotypique. Cette approche dimensionnelle a été introduite et débattue dès la fin du siècle dernier (Baron-Cohen, 1997; Frith, 1991; Wing, 1981). Elle considère que toute personne peut présenter des traits autistiques sans que leur intensité n'entrave le fonctionnement et ne soit donc pathologique. Ces traits peuvent notamment faire référence à des préférences marquées pour les routines, à des difficultés occasionnelles dans les interactions sociales ou à une attention particulière aux détails. Le TSA se situerait donc à l'extrémité de ce continuum où les traits autistiques atteignent une intensité suffisamment importante pour impacter de façon significative le fonctionnement et la vie de la personne. Un outil de mesure spécifique à ces traits de personnalité autistique, le questionnaire de Quotient Autistique (Baron-Cohen et al., 2001) a permis de montrer que ces traits suivent une distribution normale dans la population générale. Bien que cette vision soit inclusive et qu'elle enrichisse notre compréhension de l'autisme, elle ne doit cependant pas minimiser les difficultés rencontrées par les personnes autistes et ne remplace pas la nécessité d'un diagnostic et d'une prise en charge adaptée.

1.3. Epidémiologie

La prévalence mondiale globale estimée du TSA est aujourd'hui de 100 pour 10 000 soit 1 personne sur 100 environ (Zeidan et al., 2022) bien que les méta-analyses rapportent une large hétérogénéité entre les études. En effet, l'une des dernières revues systématiques portant sur plus de 70 études rapporte une prévalence allant de 1.09 pour 10 000 à 436 pour 10 000. Cette variabilité provient de facteurs intrinsèques et extrinsèques aux personnes autistes ainsi que des aspects méthodologiques des diverses études réalisées à travers le monde (Talantseva et al., 2023; Zeidan et al., 2022).

Parmi les facteurs intrinsèques, l'âge des personnes ciblées par les études épidémiologiques a été identifié comme facteur de variabilité (Brugha et al., 2011) puisque la prévalence est plus importante pour les études portant sur les groupes d'enfants de 6 à 12 ans que chez les enfants plus jeunes (Talantseva et al., 2023). Le niveau intellectuel et/ou la sévérité du trouble sont aussi des facteurs pouvant influencer la prévalence du TSA. Alors qu'un enfant autiste sur 3 présente une déficience intellectuelle, le diagnostic chez les enfants sans déficience reste parfois

PARTIE THÉORIQUE

plus compliqué (Shenouda et al., 2023). Le même constat est fait chez les enfants dont la sévérité du trouble est la moins importante (Barbaro & Dissanayake, 2009).

Concernant le sexe biologique, les études rapportent que le TSA concerne en moyenne 4.2 fois plus d'hommes que de femmes (Baio et al., 2018; Christensen et al., 2019; Dietz et al., 2020; Zeidan et al., 2022). Si ce ratio en faveur des hommes a abouti à l'hypothèse d'un trouble plutôt masculin (Baron-Cohen et al., 2011), il a également abouti à des études spécifiques sur les femmes autistes dans le but de comprendre ces différences de sexe. Les femmes autistes ayant un bon niveau intellectuel seraient ainsi diagnostiquées moins fréquemment ou plus tardivement (Lai et al., 2014). Il existe l'idée d'un « effet protecteur chez la femme » d'après laquelle pour la même sévérité du trouble, les femmes doivent avoir des difficultés et des comportements stéréotypés plus importants que les hommes pour être diagnostiquées (Elsabbagh, 2020; Lord et al., 2018). Cela contribuerait au diagnostic plus tardif, voire au « sous-diagnostic » des femmes (Morales-Hidalgo et al., 2018; Young et al., 2018). Certains chercheurs évoquent d'ailleurs que les outils diagnostiques sont davantage optimisés pour les hommes que pour les femmes (Beggiato et al., 2017; Van Wijngaarden-Cremers et al., 2014), contribuant à nouveau aux différences de prévalence observées selon le sexe.

La littérature identifie des disparités dans l'estimation de la prévalence entre les régions, les pays et les continents (Chiarotti & Venerosi, 2020; Christensen et al., 2019). Par exemple, la prévalence estimée en Amérique du nord est supérieure à celle observée en Europe et en Asie (Talantseva et al., 2023) mais elle n'est pas homogène sur ce territoire (Dietz et al., 2020). L'ethnie a également été caractérisée comme facteur influençant la prévalence du TSA. Des études récentes rapportent ainsi que le TSA est davantage diagnostiqué chez les enfants américains caucasiens que chez les enfants américains d'origine hispanique ou africaine (Baio et al., 2018; Christensen et al., 2019; Hodges et al., 2020). Ces exemples illustrent ainsi la non uniformité du diagnostic d'un territoire à l'autre mais aussi au sein même des territoires. Certaines études soulignent enfin que le niveau socio-économique pourrait influencer l'accessibilité aux services de santé et participer à la variabilité observée dans la prévalence du TSA dans le monde (Adak & Halder, 2017; Durkin et al., 2010).

Le concept même du diagnostic a évolué dans le DSM ce qui a affecté la prévalence au cours des dernières décennies. En effet, le DSM-5 ne fait plus la distinction entre les anciens troubles contrairement à d'autres classifications internationales comme la Classification Internationale des Maladies (CIM-11) de l'Organisation Mondiale de la Santé (Harrison et al., 2021) ou la CCMD-3 de la Société de Psychiatrie Chinoise (Chen, 2002). Ainsi, la non uniformité des

PARTIE THÉORIQUE

critères diagnostiques a créé davantage de variabilité dans les résultats des études épidémiologiques, rendant nécessaire de prendre en compte la nature du diagnostic (Talantseva et al., 2023).

De nombreuses revues ont relevé une augmentation de la prévalence globale du TSA au cours des dernières années (e.g.: Baio et al., 2018; Talantseva et al., 2023; Zeidan et al., 2022). Si ses causes ne sont pas clairement identifiées, quelques hypothèses ont toutefois émergé pour expliquer cette hausse dans les estimations. Elle pourrait provenir de la révision des critères diagnostiques dans les classifications internationales, notamment le DSM-5, qui définissent plus largement le TSA avec l'ajout de la notion de spectre. Les troubles antérieurement classifiés comme le trouble autistique ou le syndrome d'Asperger étant désormais considérés comme un seul trouble, le nombre de cas en serait augmenté. Cette augmentation de prévalence du TSA pourrait également être induite par les avancées tant en termes de connaissances que de pratique clinique (Zeidan et al., 2022). Une meilleure connaissance du trouble par le grand public ainsi que par les professionnels de santé pourrait avoir contribué à faciliter l'orientation des personnes vers des services désormais plus fonctionnels. Les résultats des recherches dans le domaine ont aussi contribué à faire évoluer les outils diagnostiques vers des outils plus adaptés, facilitant notamment les diagnostics précoces, féminins et tardifs.

La prévalence de l'autisme a été largement revue ces dernières décennies au fil des avancées scientifiques et de la définition même du TSA. Son évaluation reste nécessaire et importante puisqu'elle permet, tout comme dans d'autres pathologies, de rendre compte de l'hétérogénéité du trouble, de mettre en place des programmes de santé publique adaptés et de cibler les priorités de recherche.

1.4. Comorbidités

Le TSA se caractérise par une importante hétérogénéité clinique dans les symptômes et la sévérité du trouble mais également dans les comorbidités présentées par les individus. Une comorbidité se définit comme la coexistence de deux troubles ou plus chez une même personne (Matson & Nebel-Schwalm, 2007). La symptomatologie du TSA peut ainsi être cumulée à celle d'autres pathologies, rendant plus difficile le diagnostic. Cela peut grandement affecter le développement et la qualité de vie, et nécessiter la multiplication des interventions (Matson et al., 2009; Matson & Goldin, 2013). On estime que plus de 70% des personnes autistes

PARTIE THÉORIQUE

présentent au moins une comorbidité, qui pourrait être induite par la présence du TSA durant le développement, par des domaines symptomatologiques communs ou des critères diagnostiques chevauchants (Khachadourian et al., 2023; Lai et al., 2014; Simonoff et al., 2008).

Les comorbidités les plus évidentes sont celles qui sont définies comme associées au TSA dans le DSM-5. Elles concernent les troubles du langage dont la prévalence dans le TSA est variable de par l'hétérogénéité des profils, ainsi que les troubles moteurs retrouvés dans plus de 79% des cas (Boucher, 2012; Lai et al., 2014). Pour autant, des pathologies d'origines variées sont aussi souvent retrouvées chez les personnes TSA.

Des pathologies géniques sont rapportées dans le contexte du TSA, comme le syndrome du X fragile (SFX) qui est observé chez 2 % à 3 % des enfants autistes. Cette pathologie induite par une anomalie génétique sur le chromosome X concerne principalement les filles et entraîne un déficit intellectuel et des troubles du comportement. La comorbidité inverse est d'autant plus retrouvée puisque 25 % à 33 % des personnes SFX seraient autistes (Al-Beltagi, 2021). Il est aussi possible de citer la sclérose tubéreuse de Bourneville, qui une pathologie génétique rare qui se manifeste par la formation de tumeurs bénignes dans de nombreux organes. Des études récentes indiquent que le TSA est présent dans 26 à 45% des cas de personnes affectées par cette pathologie (Al-Beltagi, 2021; Specchio et al., 2020).

Parmi les autres comorbidités du TSA, on trouve d'autres troubles neurodéveloppementaux. Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) est caractérisé par le DSM-5 par une inattention importante et invalidante qui peut s'accompagner de symptômes d'hyperactivité et/ou d'impulsivité (APA, 2013). Il est fréquemment associé au TSA, avec une prévalence notable de 15 à 44% selon les groupes d'âge et les études (Khachadourian et al., 2023; Lai et al., 2014; Mutluer et al., 2022). Cette co-occurrence complique souvent le diagnostic et la prise en charge, nécessitant une évaluation clinique minutieuse pour distinguer et intervenir efficacement sur les deux troubles. Une co-occurrence des troubles spécifiques du développement (anciennement appelés troubles « dys ») est aussi rapportée, bien que moins fréquemment (MacNeil & Mostofsky, 2012; Williams et al., 2008) et concerne notamment les troubles du développement du langage, des apprentissages scolaires et de la coordination. Cette association peut compliquer l'apprentissage et nécessite des stratégies d'intervention spécifiques pour répondre aux besoins éducatifs de la personne. Enfin, la prévalence globale du déficit intellectuel dans le TSA est également élevée, puisqu'elle fluctue entre 22% et 45% selon les études (Lai et al., 2014; Mutluer et al., 2022). Une large variabilité est cependant rapportée

PARTIE THÉORIQUE

selon les régions du monde puisqu'elle oscille entre 0 et 70% (Zeidan et al., 2022). Cette prévalence pourrait être influencée par la définition même de l'intelligence puisqu'elle implique les habiletés verbales, souvent affectées dans le TSA. Comme pour les autres troubles neurodéveloppementaux, la présence d'une déficience intellectuelle complique le diagnostic du TSA lorsqu'elle y est associée.

Des troubles psychiatriques sont également décrits comme comorbidités de l'autisme car des troubles anxieux et dépressifs sont couramment observés chez les individus autistes. Des études récentes ont révélé qu'ils concernent respectivement au moins 11.1% et 2.7% des enfants et adolescents mais que ce chiffre augmente fortement si on considère l'ensemble de la population autiste, avec une prévalence de 42 à 56% pour l'anxiété et de 12 à 70% pour la dépression (Bougeard et al., 2021; Kirsch et al., 2020; Lai et al., 2014; Mutluer et al., 2022). Les addictions comportementales (Kervin et al., 2021; Lai et al., 2014) et les troubles de la personnalité telles que le trouble de la personnalité borderline ou schizoïde sont également cités dans la littérature comme comorbidités de l'autisme, bien que les prévalences soient bien plus faibles que celles observées pour d'autres troubles psychiatriques (Lai et al., 2014; Mutluer et al., 2022; Rinaldi et al., 2021).

Les personnes autistes sont aussi souvent affectées par des troubles médicaux plus généraux. Notamment, la prévalence de l'épilepsie est significativement plus élevée dans cette population comparativement à la population générale. Les estimations font état d'une prévalence comprise entre 8 et 30% selon les études (Lai et al., 2014; Mannion & Leader, 2014; Pan et al., 2021). De ce fait, une surveillance neurologique accrue peut être nécessaire. Les troubles du sommeil sont également fréquents chez les personnes autistes. Ils se traduisent par des insomnies, des réveils nocturnes fréquents et un sommeil de mauvaise qualité qui affectent le quotidien et le bien-être général de la personne. Leur prévalence dans l'autisme est estimée entre 50 et 80% (Al-Beltagi, 2021). De façon aussi importante, les troubles gastro-intestinaux (constipation, diarrhée chronique, douleurs abdominales, ...) sont très souvent décrits avec des prévalences allant jusqu'à 70% dans cette population (Lai et al., 2014). Des troubles de l'alimentation incluant des comportements alimentaires sélectifs et des aversions sensorielles (pour certaines textures par exemple) sont parfois observés et peuvent entraîner des carences nutritionnelles (prévalence de 4 à 5%; Lai et al., 2014).

Enfin, les comorbidités observées chez les personnes autistes sont influencées par plusieurs facteurs. Parmi eux, le sexe joue un rôle central car les femmes autistes présentent des taux de comorbidité plus élevés (Rødgaard et al., 2021). L'âge au moment du diagnostic initial se révèle

PARTIE THÉORIQUE

également déterminant puisque des variations significatives des taux de comorbidité selon cet âge ont été rapportées (Rødgaard et al., 2021). De plus et dans la population générale, il est à noter que les traits autistiques apparaissent comme corrélés aux comorbidités du TSA (Kervin et al., 2021; Rinaldi et al., 2021).

De nombreuses comorbidités de l'autisme sont donc identifiées, soulignant une fois de plus l'hétérogénéité présente dans cette population. La reconnaissance de ces comorbidités est essentielle afin de pouvoir proposer des interventions plus adaptées et spécifiques aux difficultés parfois nombreuses dans l'objectif d'améliorer la qualité de vie des personnes autistes. Une approche multidisciplinaire est souvent nécessaire pour adresser ces défis complexes de manière efficace.

1.5. Etiologie

La littérature souligne l'absence d'une cause unique et a permis d'identifier des facteurs d'origines diverses comme responsables de la présence du TSA. Notamment, l'interaction entre des facteurs génétiques, environnementaux et neurobiologiques constitue un aspect central de l'étiologie de l'autisme (Cheroni et al., 2020).

Grâce aux avancées technologiques des dernières décennies, la piste génétique a été de plus en plus explorée. De nombreuses études ont été menées auprès de jumeaux et indiquent que le TSA est présent simultanément chez les jumeaux monozygotes dans 60% à 90% des cas selon les échantillons, contre 0 à 30 % chez les jumeaux dizygotes (Bailey et al., 1995; Hallmayer et al., 2011; Steffenburg et al., 1989; Tick et al., 2016). Ces travaux parmi d'autres plus récents ont notamment permis d'estimer que l'autisme montre une hérédité estimée à plus de 50% (Bourgeron, 2016; Sandin et al., 2014). Des approches génétiques telles que le séquençage génomique ou les études d'association pangénomique (GWAS) ont permis d'identifier une centaine de gènes impliqués dans l'autisme (Satterstrom et al., 2020). Ils sont pour la plupart impliqués dans le remodelage de la chromatine, la régulation de la synthèse et de la dégradation des protéines ou la plasticité synaptique (De Rubeis et al., 2014). Parmi ces variants, il est possible de citer celui du gène CHD8, impliqué dans la régulation du cycle cellulaire (Hoffmann & Spengler, 2021; Kawamura et al., 2021; Shiraishi et al., 2024) ou encore celui du gène SHANK3, qui joue un rôle clé dans la formation et la fonction des synapses (Ivashko-Pachima

PARTIE THÉORIQUE

et al., 2022; Loureiro et al., 2021; Wang et al., 2020). Des variants génétiques à plus faible effet et communs à la population générale contribuent également au risque du TSA en agissant de manière cumulative (Sandin et al., 2014). Le caractère polygénique du TSA indique donc une composante génétique importante dans l'étiologie du trouble malgré qu'il n'existe pas un seul et même gène commun et spécifique à toutes les personnes autistes. La variabilité génétique interindividuelle, rappelant celle de la symptomatologie clinique, complique ainsi les recherches pour identifier une correspondance génotype/phénotype (Bonnet-Brilhault, 2011).

De multiples facteurs environnementaux sont également impliqués dans la survenue du TSA, correspondant pour la plupart à des facteurs prénataux et périnataux (Bölte et al., 2019; Modabbernia et al., 2017). Les études portant sur les conditions parentales au moment de la conception de l'enfant indiquent qu'un âge avancé des parents est un facteur de risque du TSA (Janecka et al., 2017; Merikangas et al., 2017; Wu et al., 2017), de même que la présence de certaines pathologies telle que le diabète, l'obésité ou une maladie auto-immune (Chen et al., 2016; Wang et al., 2016; Xu et al., 2014). Les complications durant la grossesse telles que le diabète gestationnel (Xu et al., 2014) ou une infection (Jiang et al., 2016) et les complications obstétricales (Curran et al., 2015; Gardener et al., 2009) sont associées à une susceptibilité accrue du TSA chez le nouveau-né, bien que les études soulignent des effets relativement faibles pour certaines. Le même risque est retrouvé concernant l'exposition à des agents chimiques toxiques (Rossignol et al., 2014), à la prise d'alcool et de drogues durant la grossesse (Carpita et al., 2022; Mukherjee et al., 2011) ou au tabagisme malgré que certaines métanalyses nuancent parfois ces résultats (Rosen et al., 2015). Si l'utilisation de substances médicamenteuses comme le thalidomide (traitement des myélomes), l'acide valproïque (traitement de l'épilepsie) ou certains anti-dépresseurs est largement reconnue comme pouvant influencer la survenue du TSA, la prise d'acide folique a elle été caractérisée comme facteur de protection (Mandy & Lai, 2016). Enfin, des liens entre la prématureté et la symptomatologie de l'autisme, notamment sensorielle, ont pu être faits (Allen et al., 2020; Cogly et al., 2021; Khachadourian et al., 2023).

De ces deux premiers types de facteurs étiologiques du TSA, génétiques et environnementaux, il résulte des interactions qu'il est nécessaire de prendre en compte. Les facteurs environnementaux peuvent en effet avoir une influence sur les facteurs génétiques et moduler ensemble la trajectoire développementale. Ce phénomène est appelé épigénèse et correspond à un processus dynamique reflétant les « changements héréditaires et non permanents qui

PARTIE THÉORIQUE

modulent l'expression des gènes sans modifier la séquence d'ADN elle-même » (Hall & Kelley, 2014). Par exemple, les études dans le domaine rapportent souvent un défaut de méthylation de l'ADN dans les cellules cérébrales des personnes autistes, alors qu'elle joue un rôle majeur dans le développement neuronal (Ellis et al., 2017). Des études futures similaires pourraient potentiellement fournir, à terme, des indicateurs physiologiques ou des biomarqueurs du TSA.

Enfin et en ce qui concerne les facteurs neurobiologiques, des atypies anatomiques et fonctionnelles ont pu être identifiées. La classification du TSA comme trouble neurodéveloppemental repose sur les avancées en neuroimagerie qui ont permis de montrer des anomalies dans la croissance cérébrale, en particulier chez les jeunes enfants (Donovan & Basson, 2017; Wang et al., 2022). Une augmentation précoce de la croissance cérébrale tant de la matière grise que de la matière blanche a été rapportée avec un pic de croissance entre 2 et 4 ans (e.g.: Amaral et al., 2008; Anagnostou & Taylor, 2011; Aylward et al., 2002; Carper et al., 2002; Courchesne, 2002; Piven et al., 1997; Sparks et al., 2002). Cette augmentation d'environ 10% du volume cérébral serait suivie d'une diminution avant l'adolescence puisque le volume cérébral ne différerait plus de la normale à cette période (Anagnostou & Taylor, 2011; Courchesne et al., 2007, 2011; Courchesne & Pierce, 2005). Ces altérations font consensus et concernent largement le cortex frontal, qui est impliqué dans les processus cognitifs de haut niveau tels que les émotions ou le contrôle moteur (Carper & Courchesne, 2005; Courchesne et al., 2011; Crucitti et al., 2022; Zielinski et al., 2014). Des anomalies au niveau de l'amygdale ont aussi été relevées chez l'enfant de moins de 6 ans, de façon corrélée à l'intensité des symptômes sociaux et communicationnels (Mosconi et al., 2009; Munson et al., 2006). Il semblerait cependant que ces différences anatomiques de l'amygdale ne soient plus retrouvées à l'adolescence (Schumann et al., 2009). Une hypoplasie du cervelet associée à une réduction significative de ses cellules de Purkinje (i.e. neurones à fonction inhibitrice) a également pu être mise en évidence (Courchesne et al., 1988; Fatemi et al., 2012). D'autres régions cérébrales telles que le cortex pariétal, le gyrus parahippocampique ou le putamen semblent aussi altérées chez les personnes autistes (voir méta-analyse de Del Casale et al., 2022). De façon consistante avec la variabilité phénotypique observée, une certaine hétérogénéité entre les résultats des études en imagerie cérébrale a été rapportée pour certaines structures dans le contexte de l'autisme, ce qui pourrait suggérer que l'origine du trouble ne provient pas d'une seule et unique altération neuroanatomique (Donovan & Basson, 2017).

PARTIE THÉORIQUE

En plus des anomalies neuroanatomiques, des anomalies fonctionnelles au niveau cérébral sont également mises en évidence dans cette population. Notamment, la connectivité fonctionnelle est différente chez les personnes autistes. Il existe une hyper-connectivité locale dans certaines régions du cerveau associée à une hypo-connectivité à longue distance (Kana et al., 2014). Notamment, les enfants autistes présentent une connectivité fonctionnelle altérée entre l'amygdale et les régions du cerveau impliquées dans la communication sociale et le langage ou encore au niveau du cortex visuel primaire. Ces particularités pourraient expliquer d'une part les difficultés sociales ainsi que l'hypersensibilité sensorielle retrouvées dans le TSA (Shen et al., 2016). Au niveau neurochimique, les neurotransmetteurs comme le GABA et la sérotonine ont été largement étudiés dans le contexte du TSA. Les personnes autistes présentent des niveaux élevés de GABA qui déséquilibrent la balance entre neurotransmission excitatrice et inhibitrice, ce qui pourrait contribuer à la dysrégulation des comportements (Maier et al., 2022). Concernant la sérotonine, un excès du transporteur de ce neurotransmetteur a été signalé et mis en lien avec la modulation des réponses émotionnelles et sensorielles, ce qui pourrait expliquer certains comportements ainsi que les réactions émotionnelles atypiques chez les personnes autistes (Muller et al., 2016). On note également des altérations dans la neurotransmission de la dopamine, de l'acétylcholine ou de la noradrénaline qui jouent toutes un rôle important dans la physiopathologie du TSA (Marotta et al., 2020; Saha et al., 2023). Les altérations anatomiques et fonctionnelles au niveau cérébral pourraient ainsi expliquer une partie du versant social et comportemental de la symptomatologie du TSA (Jack & Morris, 2014).

L'étiologie du TSA est donc la résultante d'interactions complexes entre des facteurs génétiques, environnementaux et neurobiologiques. Les recherches actuelles mettent en lumière l'importance d'identifier ces interactions pour expliquer l'apparition et la variabilité des manifestations cliniques. Bien que des avancées significatives aient été réalisées, les causes précises de l'autisme restent en grande partie non élucidées. Ces interactions complexes soulignent la nécessité d'une approche intégrative pour mieux comprendre les origines du TSA.

POINTS CLÉS DU CHAPITRE

- L'autisme est un trouble neurodéveloppemental caractérisé par des déficits de la communication et des interactions sociales ainsi que par des comportements et intérêts spécifiques et restreints.
- La définition du trouble a évolué au cours des dernières décennies et intègre aujourd'hui la notion de « spectre » qui reflète la large hétérogénéité symptomatologique et clinique rapportée chez les personnes autistes.
- Les nombreuses comorbidités retrouvées dans cette population peuvent complexifier les interventions, qui se doivent d'être spécifiques et adaptées.
- L'étiologie de l'autisme ne repose pas sur une unique cause mais résulte de l'interaction entre des facteurs d'origine génétique, environnementale et neurobiologique.

PARTIE THÉORIQUE

Chapitre 2. Les théories neuropsychologiques du TSA

Depuis les années 1980, de nombreux travaux ont été réalisés afin d'identifier les causes de l'autisme et ont conduit à l'émergence de différentes théories. Ces modèles théoriques sont issus de champs disciplinaires allant de la psychologie, aux sciences cognitives et aux neurosciences. Ils sont nombreux et offrent des explications variées, bien que les approches ne mettent pas l'accent sur les mêmes aspects du TSA. Comme leurs liens ne sont pas toujours explicités dans la littérature, la mise en place d'une approche intégrative et globale de ces théories est complexe. De plus, ces théories évoluent en fonction des avancées de la recherche, certaines sont revues pour mieux intégrer ces apports tandis que d'autres deviennent obsolètes au fil du temps.

Historiquement, le versant social du TSA a été au cœur des modèles théoriques proposés mais l'intérêt s'est progressivement déporté sur d'autres dimensions comme les particularités cognitives et les domaines de compétence des personnes autistes. Ce chapitre propose ainsi un aperçu non-exhaustif des théories neuropsychologiques explicatives du TSA, en tenant compte de cette dynamique évolutive (voir revues générales: Chown, 2016; Kana, 2022; Levy, 2007; Rajendran & Mitchell, 2007).

2.1. Théories sociales

Parmi les différentes théories proposées, l'une des premières à avoir émergé concerne la **théorie de l'esprit** (ToM pour « theory of mind ») qui est décrite comme la capacité d'un individu à attribuer des états mentaux à lui-même et aux autres (Frith & Frith, 2005; Premack & Woodruff, 1978). Elle permet à une personne d'inférer des émotions, des désirs, des croyances aux autres personnes afin d'expliquer et de prédire leurs comportements (Wellman, 2018; Wimmer & Perner, 1983). Les premières observations cliniques suggérant un déficit chez les enfants autistes portaient sur le jeu de « faire semblant », souvent peu présent dans le TSA, ce qui a été interprété comme le signe d'une difficulté à manipuler les représentations mentales (Leslie, 1987). D'autres travaux menés auprès d'enfants autistes ont mis en évidence des difficultés à attribuer des sentiments et des croyances aux autres (Baron-Cohen, 1991, 2000; Baron-Cohen

PARTIE THÉORIQUE

et al., 1985). Plus récemment, il a été montré que le niveau de ToM était lié au degré de symptômes chez les personnes autistes (Jones et al., 2018), reflétant une nouvelle fois l'hétérogénéité du TSA. Selon cette théorie, les comportements déficitaires observés dans le TSA sur les versants socio-communicationnels pourraient provenir d'un déficit de ToM (Baron-Cohen, 1990; Baron-Cohen et al., 1985, 1995).

Dans ce contexte, des études en imagerie cérébrale ont permis la découverte d'un circuit neuronal impliqué dans l'apprentissage de l'imitation. Ce circuit, appelé le **système des neurones miroir** (SNM; Rizzolatti et al., 1996, 2001), a été décrit comme pouvant induire les composantes sociale et communicationnelle des symptômes du TSA et serait ainsi sous-jacent à la ToM. Les cellules neuronales de ce circuit ont la particularité de s'activer à la fois lors de l'exécution d'une action et lorsque le sujet observe un autre individu réaliser la même action passivement. Plusieurs études ont suggéré un fonctionnement anormal du SNM dans le cadre du TSA, donnant lieu à la théorie des « miroirs brisés » (Ramachandran & Oberman, 2006). L'activation du SNM s'est notamment avérée diminuée chez des enfants autistes lorsqu'ils observaient des actions réalisées par d'autres individus (Iacoboni & Dapretto, 2006; Oberman et al., 2005). De la même façon, une épaisseur corticale diminuée (Hadjikhani et al., 2006) et des anomalies dans l'activation des régions cérébrales associées au SNM lors de la reconnaissance des expressions faciales ont pu être observées (Dapretto et al., 2006). Ces résultats suggèrent que les dysfonctionnements dans l'activité des neurones miroirs pourraient être à l'origine des atypies socio-communicationnelles, d'apprentissage de l'imitation et de ToM décrites dans cette population (Andreou & Skrimpa, 2020; Oberman & Ramachandran, 2007).

Toutefois, ces deux premières théories explicatives ont fait l'objet de controverses et ont été contestées suite à l'obtention de résultats divergents. Certaines études ont en effet indiqué que les déficits en ToM ne sont pas toujours présents chez les personnes autistes (Boucher, 1989; Frith & Happé, 1994; Smukler, 2005; Tager-Flusberg, 2007) et d'autres travaux en neuroimagerie ont mis en évidence un SNM intact chez certains individus autistes (Hamilton, 2013). Ces résultats illustrent à nouveau toute l'hétérogénéité du spectre mais ils indiquent surtout que ces théories, bien qu'elles puissent expliquer partiellement les difficultés sociales, ne peuvent pas être considérées comme la cause du TSA. Elles doivent donc davantage être considérées comme des marqueurs du fonctionnement dans l'autisme plutôt que comme des causes. Bien qu'aujourd'hui ces théories soient obsolètes, l'identification de ces marqueurs a contribué au développement d'outils et de nouvelles pistes d'intervention cliniques. Par

PARTIE THÉORIQUE

exemple, le test des fausses-croyances (Desgranges et al., 2012) ou encore le test de Sally et Anne (Baron-Cohen et al., 1985) permettant d'évaluer la capacité à attribuer des états mentaux aux autres sont utilisés en évaluation fonctionnelle. La ToM est l'une des cibles privilégiées des groupes d'entraînement aux habiletés sociales. Concernant l'imitation, elle est considérée comme précurseur du développement des habiletés sociales et est donc travaillée chez les jeunes enfants autistes (Vivanti & Messinger, 2021; Vivanti & Rogers, 2014).

Une autre hypothèse neurobiologique propose que l'autisme puisse être causé par un dysfonctionnement de l'amygdale, une structure clé du système limbique qui est impliquée dans le traitement des émotions, l'attention sociale et la perception des visages (Bonnet et al., 2015; Wang & Li, 2023). Plusieurs études en neuroimagerie ont en effet rapporté des altérations de son volume et de son activité lors de la réalisation de tâches sociales chez les personnes autistes (Baron-Cohen et al., 2000; Dalton et al., 2005; Pierce et al., 2001; Schumann et al., 2004). La **théorie amygdalienne** postule ainsi que des anomalies structurelles et fonctionnelles de l'amygdale joueraient un rôle central dans les difficultés sociales observées chez les individus autistes (Baron-Cohen et al., 2000).

Une extension de cette théorie, la **théorie de la motivation sociale**, propose que ces atypies précoces au niveau de l'amygdale pourraient être les précurseurs d'une cascade développementale (Schultz, 2005) qui altérerait les processus par lesquels les individus tendent à rechercher les interactions sociales, à les maintenir et à y prendre plaisir (Chevallier et al., 2012). L'amygdale étant impliquée dans le « cerveau social » et le circuit de la récompense, ces altérations engendreraient des déficits dans le traitement de la récompense sociale (Cardinal et al., 2002; Delmonte et al., 2012). Ces déficits entraîneraient à leur tour une diminution de l'intérêt et de l'appréciation des interactions sociales qui résulterait en leur diminution au fil du développement (Chevallier et al., 2012; Dawson et al., 2004; Lambert-Brown et al., 2015). Cette théorie pourrait, selon certains auteurs, expliquer d'une part les déficits en théorie de l'esprit (Broekhof et al., 2015) mais également le fonctionnement social typique (Burnside et al., 2017; Chevallier et al., 2012; Mundy, 1995).

Si elles illustrent tout l'intérêt de l'approche développementale pour expliquer les causes de l'autisme, ces théories se heurtent à nouveau à des divergences de résultats puisque certaines études suggèrent une hyperactivation et d'autres une hypo-activation des structures cérébrales impliquées dans le circuit de la récompense (Delmonte et al., 2012; Dichter et al., 2012;

PARTIE THÉORIQUE

Kliemann et al., 2012; Kohls et al., 2013; Scott-Van Zeeland et al., 2010). Malgré l'absence de consensus, elles soutiennent tout de même l'hypothèse d'une motivation sociale altérée comme l'une des pistes explicatives des difficultés sociales et communicationnelles dans le TSA (Clements et al., 2018). La dynamique de cascade développementale contribuerait ainsi à expliquer la variabilité des manifestations cliniques du TSA ainsi que la diversité des trajectoires développementales observées dans cette population (Schultz, 2005).

Dans la lignée d'une théorie de l'esprit (ToM) déficitaire dans l'autisme, Baron-Cohen (2009) a avancé une autre théorie visant à rendre compte non seulement des difficultés sociales, mais aussi des intérêts restreints, de la rigidité cognitive et de l'attention aux détails. La **théorie de l'Empathie-Systématisation** suggère que les personnes autistes présentent un profil cognitif particulier caractérisé par une faible empathie et une forte capacité de systématisation de l'information. L'empathie fait référence à la capacité à comprendre et à répondre de manière appropriée aux états émotionnels des autres alors que la systématisation correspond à la tendance à analyser et à construire des systèmes gouvernés par des règles (Baron-Cohen, 2006). En d'autres termes, la systématisation implique une représentation structurale et schématique de l'information, régie par des lois précises. Ces deux dimensions sont évaluées à l'aide d'auto-questionnaires, le quotient d'empathie (EQ; Baron-Cohen & Wheelwright, 2004) et le quotient de systématisation (SQ; Baron-Cohen et al., 2003 ; version révisée SQ-R par Wheelwright et al., 2006). Ce phénomène d'hyper-systématisation de l'information pourrait expliquer les intérêts tournés vers les mathématiques, l'informatique ou les sciences en ingénierie qui sont plus largement retrouvés dans la population autiste (Baron-Cohen et al., 2007).

Une extension de cette théorie, la **théorie du cerveau masculin extrême**, a également été proposée (Baron-Cohen, 2002). Elle repose sur l'idée que, de manière générale, les femmes ont une plus grande empathie, tandis que les hommes présentent une plus grande tendance à la systématisation. Ainsi, cette théorie postule que les personnes autistes auraient un profil cognitif "masculin extrême", où la systématisation est particulièrement élevée, au détriment de l'empathie. Elle repose également sur des travaux qui ont pu montrer que le taux de testostérone fœtal était corrélé aux traits autistiques et aux difficultés d'ordre social et empathique chez les personnes autistes, et qu'il était plus élevé chez les femmes autistes que non autistes (Ingudomnukul et al., 2007; Knickmeyer & Baron-Cohen, 2006). Baron-Cohen propose ainsi que le TSA soit considéré comme un extrême du profil cognitif masculin.

PARTIE THÉORIQUE

Cependant, l'idée d'un cerveau "masculin extrême" repose sur une vision binaire des différences entre sexes et néglige la variabilité des profils au sein du spectre. Ces théories ont ainsi largement été critiquées au regard des connaissances apportées par les nouvelles recherches sur les femmes autistes (e.g. Jack, 2011; Ridley, 2019) et une alternative à ces théories a été proposée par la **théorie de la double empathie** (Milton, 2012). Plutôt que d'attribuer les difficultés sociales des personnes autistes à un déficit unilatéral de l'empathie, cette théorie suggère que les difficultés sociales entre personnes autistes et non autistes résultent d'incompréhensions réciproques lors des interactions, induites par des normes et des attentes différentes. Il s'agirait donc d'un "double problème", centré à la fois sur les personnes autistes et non autistes, qui aurait pour origine une divergence dans leurs styles de communication (Milton et al., 2018).

Ces théories centrées sur le domaine social, proposées depuis les années 80 ont évolué au fil des décennies et des nouvelles avancées scientifiques. Bien que certaines ne soient plus considérées comme valides aujourd'hui, elles ont permis une meilleure compréhension du trouble ainsi que le développement d'outils d'évaluation fonctionnelle et de pratiques interventionnelles qui sont largement employés dans le domaine clinique.

2.2. Théories perceptives

Bien que les particularités sensorielles aient été intégrées dans les critères diagnostiques récemment (APA, 2013), elles étaient déjà présentes dans les descriptions princeps de Kanner et Hasperger. Les observations cliniques et les témoignages attestent déjà de l'importance de ces particularités et de leurs retentissements sur le fonctionnement quotidien. Ainsi, d'autres auteurs se sont centrés sur des théories plus perceptives pour expliquer les particularités de fonctionnement et les domaines de compétences observés dans cette population. Ces théories visent ainsi à expliquer les spécificités du traitement perceptif et à investiguer leurs liens avec les autres domaines de comportement qui caractérisent l'autisme.

PARTIE THÉORIQUE

La théorie de faible cohérence centrale (notée WCC pour « *weak central coherence* ») a été initialement proposée par Frith (1989) et développée ensuite par Happé et Frith (2006). Elle repose notamment sur les meilleures performances observées chez les personnes autistes aux tâches visuelles dans lesquelles une attention particulière aux détails est requise (e.g. O'Riordan et al., 2001; Pellicano et al., 2006). Dans leurs études pionnières, Shah et Frith (1983, 1993) ont observé que les personnes autistes performaient davantage que les personnes non autistes à certaines tâches comme celle des Cubes de Kohs, une épreuve issue des échelles de Wechsler dans laquelle il est demandé de reproduire un motif bidimensionnel à l'aide de cubes rouges et blancs. Ils ont également mis en évidence que contrairement aux participants non autistes, les individus autistes ne s'amélioraient pas lorsque le motif présenté était visuellement segmenté, suggérant une capacité préalable et accrue à se focaliser sur les détails du motif. Selon cette théorie, ces performances seraient donc sous-tendues par une tendance à traiter l'information au niveau local associée à un déficit dans le traitement global de l'information (Frith & Happé, 1994). Le traitement des détails de l'information se ferait donc au détriment de la perception d'ensemble et de la compréhension du contexte. Dans la même lignée, la **théorie du déficit d'intégration multisensorielle** suggère que les personnes autistes auraient des difficultés à combiner efficacement les informations issues de plusieurs modalités sensorielles (voir revue de Feldman et al., 2018). Ce biais perceptif pourrait expliquer, selon la théorie WCC, pourquoi une personne autiste peut exceller dans une tâche impliquant la discrimination de détails visuels et éprouver dans le même temps des difficultés à saisir le sens global d'une scène sociale ou d'un récit (Shah & Frith, 1993). Des travaux en neuroanatomie ont pu appuyer cette hypothèse en mettant en évidence des différences structurelles et fonctionnelles dans le cerveau des personnes autistes. Une hyper-connectivité locale, au niveau des aires perceptives, et une hypo-connectivité globale, entre les régions frontales et postérieures impliquées dans l'intégration globale de l'information, ont ainsi été rapportées (Just et al., 2004). Ces altérations neuroanatomiques pourraient ainsi sous-tendre la préférence pour un traitement local au détriment d'une vision d'ensemble unifiée. Si un tel style cognitif peut parfois conférer des avantages, notamment dans des contextes où la précision et l'attention aux détails sont requises (Happé & Booth, 2008; Uddin, 2022), une attention extrême aux éléments locaux pourrait engendrer des difficultés lorsque la compréhension du contexte est essentielle, comme dans les situations sociales ou les environnements complexes (Booth & Happé, 2010; Walęcka et al., 2022).

PARTIE THÉORIQUE

En privilégiant une vision non déficitaire du TSA, la **théorie du sur-fonctionnement perceptif** (EPF pour « enhanced perceptual functionning ») est par la suite venue confronter l'idée d'une absence totale de traitement global de l'information. Cette théorie a été développée et révisée par Mottron et ses collaborateurs (Mottron et al., 2006; Mottron & Burack, 2001) et propose que les personnes autistes engagent de façon plus importante les mécanismes du traitement sensoriel, résultant en des capacités perceptives améliorées. Ce modèle repose sur l'idée que les habiletés perceptives jouent un rôle central dans le fonctionnement des personnes autistes et qu'elles pourraient expliquer les performances améliorées dans certains domaines, notamment dans les tâches perceptives visuelles. Les auteurs émettent différents principes qui appuient cette théorie au regard de la littérature préexistante. Ils expliquent notamment que les personnes autistes auraient une préférence vers le traitement local du fait de leurs habiletés perceptives plus importantes mais qu'elles seraient tout de même capables de traiter les informations de façon globale. Cela se traduirait notamment par une suractivation des régions cérébrales impliquées dans la perception visuelle et une activation diminuée dans les régions impliquées dans le traitement de haut niveau. Une véritable expertise perceptive serait à l'origine des compétences surdéveloppées dans certains domaines chez les autistes « savants ». Ce phénomène fait notamment référence aux habiletés spéciales et particulièrement développées chez certaines personnes comme le dessin, le calcul mental ou la capacité de mémorisation. Enfin, les atypies perceptives dans le TSA proviendraient d'un surfonctionnement des aires perceptives primaires. En effet, les études expérimentales ont pu confirmer que les personnes autistes possèdent des performances supérieures aux tâches perceptives (Bertone et al., 2005; Caron et al., 2006; Jarrold et al., 2005) et qu'elles sont associées à une activité cérébrale atypique (Samson et al., 2012). Ce modèle appuie ainsi l'idée que la perception joue un rôle majeur et central dans la cognition chez les personnes autistes. Il expliquerait les intérêts plus prononcés observés pour des domaines comme les mathématiques, le dessin ou la musique dans lesquels la précision et l'attention aux détails est nécessaire (Mottron et al., 2006; Uddin, 2022).

Certaines théories proposent d'autres explications au fonctionnement perceptif atypique caractéristique de l'autisme. Parmi elles, les **théories bayésiennes** sont des théories qui modélisent le fonctionnement des personnes autistes et s'appuient sur des outils mathématiques tels que la probabilité dans le but de l'expliquer (voir review Chrysaitis & Seriès, 2023). D'après ce type de modèle, le cerveau humain fonctionnerait comme une « machine à prédictions » car il génère des hypothèses (priors) sur le monde en fonction des expériences

PARTIE THÉORIQUE

passées et ajuste ses prédictions en fonction des nouvelles informations sensorielles (Friston, 2010). Chez les personnes autistes, le processus de prédition serait altéré ce qui affecterait leur manière de percevoir et d'interpréter les stimuli environnementaux. Deux possibilités sont retrouvées dans la littérature concernant ces altérations : soit les prédictions ont une moindre importance et sont donc moins influentes (Pellicano & Burr, 2012), soit un poids excessif est accordé aux entrées sensorielles, au détriment des hypothèses basées sur l'expérience (Brock, 2012). En comparaison avec les personnes neurotypiques, les personnes autistes utiliseraient moins leurs expériences antérieures pour moduler leur perception, ce qui réduirait leur capacité à filtrer les informations non pertinentes et à s'adapter aux variations de l'environnement (Lawson et al., 2014). Ces théories pourraient expliquer la sensibilité sensorielle, l'attention aux détails, la préférence pour les routines et les difficultés dans les interactions sociales (Van de Cruys et al., 2014).

Enfin, la **théorie du monde intense** proposée par Markram et Markram (2010) offre une explication neurobiologique aux particularités sensorielles, émotionnelles et cognitives observées dans l'autisme. Selon celle-ci, le cerveau autiste serait caractérisé par un hyperfonctionnement local des circuits neuronaux, entraînant une perception, une attention et des réponses émotionnelles intensifiées. Cette hyper-réactivité cérébrale expliquerait les hypersensibilités sensorielles fréquemment rapportées, ainsi que la surcharge cognitive face à des stimuli pourtant perçus comme ordinaires par les personnes non autistes (Markram et al., 2007). La forte intensité des expériences sensorielles pourrait ainsi favoriser l'évitement des stimulations ou, au contraire, la recherche de stimuli spécifiques pour mieux gérer cette intensité (Cascio et al., 2012). Sur le plan émotionnel, la théorie suggère qu'au lieu d'un déficit émotionnel, les personnes autistes pourraient ressentir les émotions de manière plus intense, et remet ainsi en question certaines théories à ce sujet (Markram & Markram, 2010). Cette intensité perceptuelle et émotionnelle pourrait également contribuer aux intérêts spécifiques et restreints ainsi qu'aux comportements stéréotypés par la mise en place de stratégies d'autorégulation face à un monde perçu comme trop intense (Baron-Cohen et al., 2009). La théorie du monde intense offre ainsi une perspective alternative aux modèles déficitaires en mettant l'accent sur une différence d'intensité des ressentis.

Différentes approches sont retrouvées dans ces théories. Certaines mettent l'accent sur l'aspect déficitaire du TSA, alors que d'autres se concentrent davantage sur les atypies de fonctionnement en les considérant non pas comme déficitaires mais plutôt comme alternatives.

PARTIE THÉORIQUE

Pour autant et bien qu'elles permettent d'expliquer les particularités de fonctionnement retrouvées dans l'autisme, les théories perceptives avancées ne permettent pas d'en identifier la cause. D'autres particularités moins perceptives et plus cognitives ont ainsi pu être décrites dans cette population et pourraient permettre de mieux comprendre les comportements caractéristiques du TSA.

2.3. Particularités du fonctionnement cognitif

Parmi les théories susceptibles d'expliquer les comportements stéréotypés ainsi que les intérêts spécifiques et restreints caractéristiques du TSA, on retrouve la **théorie d'un dysfonctionnement exécutif** (Hill, 2004a, 2004b). Elle propose que les atypies comportementales observées chez les personnes autistes pourraient être induites par des altérations des fonctions exécutives. Ces fonctions correspondent à un ensemble de processus cognitifs de haut niveau qui englobent la planification, l'organisation, la mémoire de travail, l'inhibition (de l'action) ou encore la flexibilité mentale (Hill, 2004a). Lorsqu'elles sont préservées, ces fonctions permettent aux individus de réaliser des tâches complexes et d'adapter leur comportement dans ce but. La théorie du dysfonctionnement exécutif a été évoquée suite à des travaux ayant montré la présence de déficits dans les fonctions exécutives chez les personnes autistes, notamment la flexibilité mentale, la planification et la mémoire de travail (Hughes et al., 1994; Ozonoff, 1995; Ozonoff et al., 1991; Pennington & Ozonoff, 1996; Rumsey & Hamburger, 1988). Ces altérations pourraient expliquer une partie des comportements non sociaux du TSA tels que les intérêts restreints et la résistance au changement, ainsi que certains aspects sociaux, mais elles ne permettent pas de rendre compte de toute la symptomatologie de l'autisme. Des études récentes ont d'ailleurs contesté cette hypothèse en mettant à nouveau en évidence une variabilité interindividuelle conséquente dans les déficits exécutifs en population autiste et la présence de profils non déficitaires (voir review de Demetriou et al., 2019).

L'**hypothèse d'une pensée en images** émerge aussi fréquemment des recherches sur l'autisme, suggérant une fois de plus un fonctionnement cognitif particulier. L'idée selon laquelle de nombreuses personnes autistes pensent en images a été introduite par Temple Grandin (Grandin, 1995, 2009), qui décrit son propre mode de pensée comme un processus basé sur des

PARTIE THÉORIQUE

représentations visuelles détaillées plutôt qu'une pensée verbale ou abstraite. Certains outils d'auto-évaluation ont ainsi été créés pour évaluer spécifiquement la vivacité des images (VVIQ; McKelvie, 1995) ou le style cognitif de façon plus générale (OSIVQ; Blajenkova et al., 2006; traduit et validé en français par Bled & Bouvet, 2021). Récemment, une étude a confirmé ce phénomène de pensée en image puisqu'elle a mis en évidence que les personnes autistes rapportent utiliser plus fréquemment des représentations mentales visuelles dans leur quotidien et avoir des représentations mentales visuelles plus détaillées que les personnes non autistes (Bled et al., 2021). D'autres études ont pu montrer, de façon cohérente, que les personnes autistes possèdent une meilleure mémoire visuelle et une meilleure capacité à maintenir les images mentales (Bled, Guillon, Mottron, Soulières, et al., 2024; Soulières et al., 2009). L'ensemble de ces travaux soutient ainsi l'idée selon laquelle la pensée visuelle est une caractéristique clé du TSA et qu'elle joue un rôle important dans la manière dont les personnes traitent l'information et interagissent avec leur environnement. Bien que cette théorie ne soit pas à proprement parler une théorie explicative de la symptomatologie du TSA, elle souligne une différence de style cognitif qui pourrait expliquer certaines particularités dans le raisonnement et la résolution de problèmes chez les personnes autistes.

Comme explicité précédemment, les théories bayésiennes suggèrent que le cerveau ajuste continuellement ses attentes en fonction des expériences passées et que ce processus serait réduit dans l'autisme. Dans cette perspective, Qian et Lipkin (2011) ont formulé la **théorie d'un style d'apprentissage** particulier qui découlerait de cette intégration atypique de l'information. Le style d'apprentissage se définit par la manière par laquelle l'individu est capable d'acquérir et d'appliquer des informations ou des compétences. Dans la population générale, un style d'apprentissage de type « interpolation » permettant d'extraire les régularités des expériences vécues serait privilégié. Ce style d'apprentissage favoriserait ainsi la flexibilité, la généralisation et l'adaptation face aux futures expériences. À l'inverse, les personnes autistes emploieraient davantage un style d'apprentissage de type « table de consultation » dans lequel les expériences seraient mémorisées de façon indépendante, sans qu'une tendance générale ne soit extraite. Ce style est bénéfique pour l'apprentissage de relations locales, précises et sans grande régularité pour la généralisation comme par exemple l'association nom-numéro dans un annuaire téléphonique (Qian & Lipkin, 2011). Cependant, elle complexifie l'adaptation lors des changements de contexte ce qui pourrait expliquer la rigidité, la surcharge sensorielle ou les intérêts spécifiques et restreints. Récemment et sur la base de ce modèle théorique, un outil permettant d'évaluer le style d'apprentissage dans le contexte de l'autisme a été créé et devrait

PARTIE THÉORIQUE

permettre l'apport de connaissances supplémentaires concernant le rôle joué par le style d'apprentissage dans la symptomatologie du TSA (Moshirian Farahi & Leth-Steenzen, 2022).

En conclusion, différentes théories explicatives de l'autisme sont retrouvées et offrent des perspectives complémentaires pour comprendre les particularités des personnes autistes, de manière spécifique ou plus générale. Si elles apportent un éclairage sur les particularités sociales, cognitives ou perceptives des personnes autistes, aucune ne suffit à elle seule à rendre compte dans toute la complexité de la symptomatologie du trouble. Une approche intégrative tenant compte des avancées récentes en neurosciences et en psychologie cognitive semble essentielle pour appréhender la diversité des profils autistiques, souvent décrite comme limitante dans ces théories (Pellicano & Burr, 2012).

Ces théories ont pour objectif de mieux comprendre les comportements des personnes autistes dans toute leur diversité, en tenant compte à la fois des déficits et des domaines de compétences. Elles permettent de décrire l'autisme comme étant associé à un mode de fonctionnement cognitif particulier et ne se limitent pas uniquement à une compréhension théorique du trouble dans la mesure où elles contribuent à l'élaboration de stratégies éducatives et thérapeutiques adaptées, en vue d'améliorer la qualité de vie des personnes autistes.

POINTS CLÉS DU CHAPITRE

- Différentes théories ont été proposées dans l'objectif d'expliquer les caractéristiques sociales, perceptives et cognitives de l'autisme.
- L'évolution des critères diagnostiques du TSA et l'apport de nouvelles connaissances scientifiques supposent souvent la réévaluation des modèles.
- L'hétérogénéité des profils remet en question l'idée d'une cause unique et souligne la nécessité d'une approche intégrative.
- Ces théories ont mis en évidence un fonctionnement cognitif et perceptif atypique qui pourraient expliquer les déficits et les domaines de compétences.

Chapitre 3. Le traitement de l'information visuospatiale

La littérature scientifique portant sur l'autisme a pu, dès les années 80, mettre en évidence des habiletés cognitives particulières et décrire des « îlots de compétences » dans cette population (Shah & Frith, 1983). Ces capacités contrastent avec les domaines déficitaires caractérisés dans le TSA et incluent notamment des performances élevées dans certaines tâches visuospatiales. Afin de mieux comprendre ces compétences particulières et de pouvoir par la suite les investiguer dans le contexte de l'autisme, il apparaît essentiel de définir théoriquement le domaine visuospatial, en dehors de toute considération pathologique. Le présent chapitre vise ainsi à décrire le traitement visuospatial dans une perspective neuropsychologique en abordant ses implications fonctionnelles, ses composantes cognitives, les bases neuroanatomiques qui le sous-tendent ou encore les facteurs de variabilité interindividuelle mis en évidence dans la littérature. La description des outils d'évaluation disponibles ainsi que des résultats relatifs à la population autiste seront abordés dans le prochain chapitre.

3.1. Définition et implications fonctionnelles

La vision constitue l'une des principales modalités sensorielles permettant l'exploration, la compréhension et l'adaptation à l'environnement. Dès les premiers mois de vie, elle joue un rôle fondamental dans le développement de l'enfant en soutenant le contrôle postural, la coordination motrice ou encore les interactions sociales par la reconnaissance des visages et des émotions (Costini et al., 2014; Schmetz & Rousselle, 2016). Dans ce contexte, les habiletés visuospatiales peuvent être définies comme l'ensemble des capacités permettant d'identifier, de traiter et de manipuler mentalement les informations visuelles de l'environnement ainsi que leurs relations spatiales.

Ces capacités se développent dès le plus jeune âge et jouent un rôle central tout au long de la vie car elles sont mobilisées au quotidien dans un grand nombre d'activités (e.g. Hegarty & Waller, 2005; Newcombe, 2018; Schmetz & Rousselle, 2016). Elles sont par exemple sollicitées pour s'habiller, faire ses courses ou assembler un meuble en suivant la notice du fabricant. Elles sont aussi requises pour conduire un véhicule, naviguer dans les rues d'une ville ou se repérer sur un plan de métro ou de bus (e.g. Desme et al., 2024; Ishikawa & Newcombe,

PARTIE THÉORIQUE

2021). Sur le plan scolaire, elles interviennent dans l'apprentissage de la lecture (repérage spatial des lettres, suivi de lignes) et de l'écriture (coordination main-œil) et sont particulièrement sollicitées dans les disciplines STEM (sciences, technologie, ingénierie, mathématiques) dans lesquelles la visualisation mentale et la manipulation d'objets abstraits sont requises (Kiernan et al., 2021; Tosto et al., 2014; Uttal et al., 2013; Wai et al., 2009). Il a d'ailleurs été mis en évidence qu'elles peuvent prédire les performances académiques plus générales à plus long terme (Liu et al., 2021) et que lorsqu'elles sont entraînées, les habiletés visuospatiales améliorent les résultats des étudiants dans ces matières scolaires STEM (Kell et al., 2013; Lowrie et al., 2017; Uttal, et al., 2013). Elles jouent également un rôle crucial dans des domaines professionnels divers tels que la chirurgie, la mécanique ou les arts (Goldsmith et al., 2016; Henn et al., 2018; Martinčević & Vranić, 2025). Enfin, elles sont au cœur de nombreuses activités de loisir telles que les sports, notamment « de balle » car ils nécessitent une coordination visuo-motrice fine (Giglia et al., 2011; Heppe et al., 2016), mais aussi de jeux comme les échecs (Burgoyne et al., 2016; Smith et al., 2021; Waters et al., 2002) ou encore les jeux vidéo (Milani et al., 2019; Toril et al., 2016).

Dans la littérature scientifique, le terme visuospatial ne fait pas l'objet d'une définition consensuelle (Geldmacher, 2003). Il est souvent utilisé de manière large pour faire référence à diverses sous-compétences impliquées dans le traitement de l'information visuelle. Des termes tels que les habiletés visuo-perceptives, visuo-spatiales, visuo-motrices ou visuo-constructives sont souvent retrouvés (Chaix & Albaret, 2013; Irani, 2011). Chacun de ces termes renvoie toutefois à des spécificités du traitement visuel qu'il est possible de distinguer.

Les premières compétences qui interviennent dans le traitement de l'information visuelle sont les habiletés visuo-perceptives (Schmetz & Rousselle, 2016). Elles permettent la reconnaissance des éléments visuels ou des objets et impliquent deux étapes distinctes selon le modèle de Humphreys et Riddoch (1987). La première étape correspond aux processus perceptifs qui permettent l'analyse des caractéristiques visuelles telles que la forme, la couleur, l'orientation ou la taille de l'objet pour aboutir à une description détaillée de celui-ci. Elle est suivie d'une seconde étape correspondant aux processus associatifs qui permettent d'associer à la représentation perceptive de l'objet une représentation sémantique, fonctionnelle ou catégorielle stockée en mémoire (Barisnikov et al., 2020). Le terme visuo-perceptif est parfois utilisé par certains auteurs pour désigner non seulement les processus de reconnaissance des

PARTIE THÉORIQUE

objets, mais aussi les traitements visuels relatifs aux aspects spatiaux, constructifs ou moteurs car ils en sont dépendants (Barisnikov et al., 2020; Schmetz & Rousselle, 2016).

Notamment, Irani (2011) définit les habiletés visuo-spatiales comme une composante de la perception visuelle permettant le traitement de la position ou de l'orientation des objets dans l'espace. De façon similaire et dès les premiers travaux sur le sujet, De Renzi (1982) emploie le terme d'habiletés spatiales pour désigner les compétences nécessaires pour identifier et traiter les informations spatiales. Il distingue la perception spatiale, qui fait référence aux processus de bas niveau permettant de percevoir les caractéristiques spatiales, et la pensée spatiale, qui correspond aux opérations mentales de plus haut niveau permettant de traiter ces informations. Les travaux de Linn & Petersen (1985) ont pu apporter une catégorisation plus fine en distinguant trois grandes formes de traitement : la perception spatiale pour l'identification des relations spatiales, la visualisation spatiale pour la manipulation d'informations spatiales plus complexes et la rotation mentale pour la manipulation mentale d'images dans l'espace (Linn & Petersen, 1985; Mitolo et al., 2015). La cognition spatiale sous-tend également la capacité à se repérer dans l'environnement et à considérer une distance relative. Ce traitement peut se faire de façon égocentrale, lorsque l'individu se situe lui-même selon ce qui l'entoure, ou de façon allocentrale, lorsqu'il évalue la distance entre des éléments externes (Burgess, 2008).

Lorsque le traitement de l'information visuospatiale implique une interaction directe avec l'environnement par le biais d'une action, la littérature fait mention des habiletés visuo-motrices ou visuo-constructives. Les habiletés visuo-motrices sont définies comme les capacités motrices directement contrôlées par la vision (Chaix & Albaret, 2013). Les habiletés visuo-constructives impliquent également une réponse motrice mais font spécifiquement référence à la capacité à assembler des éléments visuels pour construire un objet cohérent et prédéfini (Chaix & Albaret, 2013; Mervis et al., 1999). Elles renvoient par exemple à la capacité d'un individu à dessiner, à réaliser un puzzle ou encore à faire son lit (Mervis et al., 1999).

Ainsi, si les terminologies varient dans les études, elles dépendent surtout des spécificités du traitement visuel ciblées par les approches théoriques. Le terme "visuospatial" sera ici utilisé comme un concept englobant l'ensemble des compétences impliquées dans le traitement visuel qu'elles soient perceptives, spatiales, motrices ou constructives. La nécessité d'une terminologie commune reflète la complexité des processus cognitifs impliqués dans le

PARTIE THÉORIQUE

traitement visuel, d'autant qu'ils mobilisent de façon dynamique une grande diversité de fonctions cognitives et exécutives.

3.2. Processus cognitifs impliqués dans le traitement visuospatial

Les habiletés visuospatiales reposent sur l'intégration dynamique de plusieurs processus cognitifs et exécutifs, qui interagissent étroitement pour permettre l'analyse, l'organisation et la manipulation de l'information visuospatiale. Bien qu'ils soient complémentaires, il est possible de les distinguer pour mieux comprendre leur contribution dans le traitement de l'information.

Le traitement visuospatial s'inscrit tout d'abord dans la modalité sensorielle de la **vision**, qui constitue la porte d'entrée des informations visuospatiales. Le système visuel (décris plus en détail dans la suite du chapitre) permet la perception des caractéristiques de l'environnement. Il implique l'oculomotricité, c'est à dire l'ensemble des mouvements oculaires permettant l'exploration visuelle de l'environnement (Büttner-Ennever, 2005; Leigh & Zee, 2015). Parmi ces mouvements, les fixations correspondent à la période durant laquelle le regard est stable et se maintient sur un point d'intérêt afin de prendre l'information visuelle associée. Leur durée est variable et dépend généralement du type de stimulus ou de la tâche à effectuer. Entre deux fixations, les saccades sont des mouvements oculaires rapides dits « balistiques » (durée moyenne de 20 à 40 ms) qui visent à déplacer le regard d'un point à un autre (Hessels et al., 2018). Saccades et fixations alternent constamment pour guider la perception visuelle, mais ils ne sont pas les seuls à intervenir dans l'exploration de l'environnement, notamment lorsque celui-ci est dynamique. La poursuite oculaire est un mouvement lent et continu qui permet de suivre un objet en mouvement pour assurer une perception claire tout au long de son déplacement (Barnes, 2008). Les mouvements de vergence permettent aux yeux de se déplacer dans des directions opposées afin d'ajuster la focalisation en fonction de la distance des objets (convergence pour des objets proches et divergence pour des objets éloignés). Ils participent ainsi activement à la perception de la profondeur (Giesel et al., 2019; Yaramothu et al., 2018). Enfin, le réflexe vestibulo-oculaire (RVO) permet de compenser les mouvements de la tête en induisant des mouvements oculaires dans le sens opposé, assurant ainsi la stabilité du champ visuel pendant les déplacements (Straube et al., 2007). L'oculomotricité est donc importante

PARTIE THÉORIQUE

pour la stabilisation du regard sur les éléments d'intérêt, le suivi d'objets en mouvement et de façon générale pour explorer efficacement l'environnement visuel (Rucci, 2008).

L'orientation du regard vers un élément cible requiert un aspect moteur mais elle implique également des mécanismes attentionnels (Albarez et al., 2011). L'**attention** visuelle sélective permet de sélectionner et de prioriser les informations pertinentes à traiter parmi les nombreuses informations perçues, tout en ignorant les informations non pertinentes (Carrasco, 2011; Desimone & Duncan, 1995). Pour illustrer ce type d'attention, Posner (1980) utilise la métaphore d'un projecteur lumineux qui se déplacerait dans l'espace pour mettre la lumière sur certaines zones du champ visuel, tout en laissant les autres zones dans l'ombre. Cette « mise en lumière » est dite manifeste (overt) lorsqu'elle s'accompagne d'un mouvement oculaire et couverte (covert) lorsqu'elle est redirigée sans modification de la position du regard (Pasqualetti & Kulke, 2024; Posner & Petersen, 1990). La réorientation de l'attention peut être exogène si elle est induite par un stimulus externe tel qu'un bruit ou une alarme lumineuse, mais elle peut également être endogène si elle est redirigée de manière volontaire et indépendante de l'environnement (Corbetta & Shulman, 2002). Cette distinction rejoint d'ailleurs celle établie par certains modèles théoriques entre les processus « bottom-up », initiés par les stimulations perceptives de l'environnement, et les processus « top-down », initiés par l'intention et basés sur les connaissances de l'individu (Baluch & Itti, 2011; Itti & Koch, 2001). Ainsi, les mécanismes attentionnels constituent une base essentielle du traitement visuospatial, car ils permettent d'orienter efficacement les ressources cognitives vers les éléments pertinents de l'environnement visuel et de soutenir un traitement optimal de l'information.

Les capacités visuospatiales s'appuient également sur la **mémoire**, notamment la mémoire de travail visuospatiale, qui permet de maintenir temporairement et de manipuler activement des informations visuospatiales. Elle joue un rôle essentiel dans le traitement des informations liées à l'orientation dans l'espace, à la manipulation d'objets ou à la navigation dans l'environnement. Selon le modèle de Logie (1995), elle comprend un « cache visuel » stockant les caractéristiques visuelles simples telles que la forme ou la couleur, et un « scribe interne » qui permet de traiter dynamiquement les informations spatiales et de les manipuler. Ce dernier est particulièrement sollicité lors de tâches nécessitant la manipulation d'éléments abstraits, comme la rotation mentale ou la manipulation de formes dans l'espace. Ce modèle a été repris dans le modèle plus large sur la mémoire de travail de Baddeley (2000), qui évoque un « calepin visuospatial » (visuospatial sketchpad) permettant la gestion simultanée de plusieurs éléments visuels et des caractéristiques spatiales associées. Il faciliterait ainsi le maintien et le traitement

PARTIE THÉORIQUE

dynamique des informations visuospatiales dans le cadre de tâches plus ou moins complexes, telles que la construction d'objets ou la résolution de problèmes visuels. Les représentations visuelles peuvent ensuite être encodées en mémoire à long terme, comme dans le cas des apprentissages.

Au-delà de la mémoire de travail, les habiletés visuospatiales mobilisent d'autres **fonctions exécutives** qui contribuent à la coordination des processus perceptifs et cognitifs. Les fonctions exécutives sont définies comme un ensemble de processus de haut niveau intervenant dans la mise en place d'un comportement adapté et dirigé vers un but (Diamond, 2013). Bien qu'il n'existe pas de consensus absolu sur la définition ni sur leur taxonomie, les études s'accordent à identifier plusieurs composantes principales. Trois fonctions exécutives majeures, qui peuvent être sollicitées lors du traitement visuospatial, ont ainsi été mises en évidence (Lehto et al., 2003; Miyake et al., 2000). La première est la mise à jour de l'information (updating) qui permet de garder à jour les informations pertinentes tout en éliminant celles qui ne le sont plus. Cette fonction étroitement liée à la mémoire de travail est particulièrement importante dans les tâches visuospatiales qui nécessitent de manipuler mentalement des informations dynamiques. La deuxième fonction décrite est l'inhibition, qui permet de contrôler ses actions et ses pensées de façon à éviter les comportements inappropriés. Ce contrôle inhibiteur est impliqué dans l'attention sélective, car il permet de se concentrer sur les informations pertinentes en supprimant l'attention portée aux autres stimuli (Diamond, 2013). Enfin, la flexibilité mentale ou cognitive (shifting) permet de passer d'une règle ou d'une stratégie à une autre pour s'adapter aux besoins de la situation. Elle joue un rôle essentiel lorsque des tâches distinctes doivent être alternées ou bien lorsqu'une tâche implique des changements de règles. D'autres auteurs proposent une vision plus étendue des fonctions exécutives, en y intégrant des capacités supplémentaires telle que la planification, qui jouent un rôle clé dans la structuration des actions orientées vers un objectif (Anderson, 2002; Diamond, 2013; Sorel & Pennequin, 2008). Elle permet de prévoir les étapes nécessaires à la réalisation d'une tâche complexe et de les organiser de manière logique et efficace. Par exemple, elle est impliquée dans la réalisation d'une recette de cuisine qui nécessite de suivre une séquence d'actions dans un ordre précis afin d'atteindre le résultat souhaité.

L'**imagerie mentale** a également une place centrale dans les habiletés visuospatiales. Elle désigne la capacité à générer, maintenir, manipuler et inspecter des représentations visuelles internes, en l'absence de stimulation perceptive directe (Kosslyn, 1994). Elle permet par exemple de se représenter mentalement la rotation d'un objet dans l'espace ou de planifier un

PARTIE THÉORIQUE

itinéraire. Bien qu'elle ne soit pas une fonction exécutive en soi, c'est un processus cognitif qui repose sur les capacités mnésiques, attentionnelles et exécutives. Elle sollicite grandement la mémoire de travail (calepin visuospatial) pour maintenir et ajuster les représentations, la flexibilité cognitive pour modifier de façon dynamique les représentations, et l'inhibition pour éviter les représentations automatiques ou inappropriées (Baddeley, 2000; Miyake et al., 2000; Zacks & Michelon, 2005). Ces habiletés sont variables dans la population et des cas extrêmes ont été rapportés, allant de l'hyperphantasie, où les individus rapportent des images mentales aussi vives que la réalité, à l'aphantasie, où les personnes sont incapables de se représenter mentalement des images (Larner et al., 2024; Zeeman, 2024).

Enfin, le traitement visuospatial est également une composante principale de certaines mesures intellectuelles. L'**intelligence** fluide (Gf) est définie comme la capacité à raisonner, à résoudre des problèmes complexes et à extraire des relations entre des éléments (Ferrer et al. 2009). Tout comme les habiletés visuospatiales, elle repose en grande partie sur la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Demetriou et al., 2002; Engle et al., 1999). Dans le modèle de l'intelligence de Cattell-Horn-Carroll (CHC; Carroll, 1993; Schneider & McGrew, 2018), l'intelligence générale regroupe différents facteurs dont l'intelligence visuospatiale qui correspond au facteur Gv (visual processing). Il comprend lui-même plusieurs sous-facteurs dont le facteur Gs relatif à la vitesse du traitement perceptif. Ces compétences sont intrinsèquement liées aux habiletés visuospatiales et contribuent à l'efficacité du traitement de l'information visuelle.

Les habiletés visuospatiales reposent sur l'intégration de plusieurs processus cognitifs et exécutifs, tels que la perception, l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives, qui permettent de traiter efficacement l'information visuelle et spatiale. Elles sont également liées à l'intelligence fluide, ce qui illustre l'importance des compétences visuospatiales dans l'efficacité cognitive générale. Ainsi, bien que certaines régions cérébrales soient spécifiquement dédiées au traitement visuospatial, l'implication de nombreuses fonctions cognitives entraîne l'activation d'un ensemble de réseaux neuronaux largement distribués dans des tâches visuospatiales.

PARTIE THÉORIQUE

3.3. Bases neuroanatomiques

Le traitement visuospatial repose sur des réseaux neuronaux interconnectés assurant l'intégration des processus cognitifs décrits précédemment. Ainsi, les habiletés visuospatiales sont sous-tendues par l'activation coordonnée de différentes régions cérébrales, allant du cortex visuel primaire aux aires associatives impliquées dans l'analyse et la manipulation des informations spatiales. Cette organisation neuronale permet une dynamique fonctionnelle essentielle pour percevoir, localiser, manipuler ou mémoriser des informations visuelles dans l'espace.

L'œil est la porte d'entrée de l'information visuelle. Lorsqu'elle arrive sur celui-ci, la lumière est déviée par la cornée et le cristallin pour être projetée sur la rétine qui transduit l'énergie lumineuse en signaux électriques. Ce phénomène est médié par des cellules photosensibles appelées photorécepteurs correspondant aux cônes, qui assurent la vision de jour et la perception des couleurs, et aux bâtonnets, qui sont spécialisés dans la vision scotopique (faible luminosité). Les signaux électriques produits par les photorécepteurs sont transmis aux cellules ganglionnaires de la rétine, dont les axones se rejoignent pour constituer le nerf optique (Masland, 2012; Mustafi et al., 2009). Au niveau du chiasma optique, la décussation des fibres optiques provenant des parties nasales du champ visuel permet l'intégration binoculaire de l'information qui est indispensable à une représentation cohérente de l'espace visuel, notamment pour la perception des distances et de la profondeur (Moraes & Gustavo, 2013). Après cette réorganisation, les fibres forment les tractus optiques qui projettent vers les noyaux thalamiques, principalement le noyau géniculé latéral (LGN). Le LGN joue un rôle fondamental car il régule la transmission des informations en contribuant notamment à la sélection des informations pertinentes et à la perception des contrastes (Saalmann & Kastner, 2011; Sherman & Guillery, 2002).

Les informations visuelles sont ensuite transmises au cortex visuel primaire (V1, aussi appelé aire striée) situé dans le lobe occipital, qui constitue la première étape du traitement cortical de l'information visuelle. Cette aire présente une organisation rétinotopique, c'est-à-dire que la disposition spatiale du champ visuel est conservée et que chaque région du champ visuel est représentée de manière ordonnée sur le cortex visuel (Wandell & Winawer, 2011). De façon générale, elle est responsable de l'extraction des caractéristiques de base des stimuli visuels

PARTIE THÉORIQUE

telles que l'orientation, la couleur, la forme ou la direction du mouvement. Ces informations sont ensuite transmises aux aires visuelles associatives extrastriées correspondant aux aires visuelles V2, V3, V4 et MT/V5 qui assurent un traitement plus complexe et permettent d'affiner l'extraction des caractéristiques visuelles (Born & Bradley, 2005; Roe et al., 2012; Ts'o et al., 2001; Wandell et al., 2007). L'information est ensuite distribuée et intégrée via des traitements plus complexes dans deux grandes voies visuelles, chacune spécialisée dans des aspects distincts de la perception visuelle, l'une étant dédiée à la reconnaissance des objets et l'autre au traitement des informations spatiales (Mishkin et al., 1983).

La voie visuelle ventrale, souvent appelée la « voie du quoi », est responsable de la perception des caractéristiques détaillées des objets telles que leur couleur, leur forme, leur texture, leur orientation et permet ainsi leur reconnaissance. Elle débute dans le cortex visuel primaire V1, se prolonge au travers des aires extrastriées V2, V3 et V4, projette vers le cortex temporal ventral. Elle mobilise également le gyrus fusiforme pour la reconnaissance visuelle de structures complexes (Grill-Spector & Weiner, 2014). Bien qu'elles ne fassent pas directement partie de la voie ventrale, d'autres structures comme l'hippocampe et l'amygdale peuvent être sollicitées en sortie pour soutenir la reconnaissance visuelle, la mémoire et l'évaluation émotionnelle des stimuli (Milner & Goodale, 1997).

L'autre voie visuelle à avoir largement été décrite est la voie dorsale. Elle est appelée la « voie du où » car elle est principalement impliquée dans le traitement des informations spatiales (Kravitz et al., 2011). Elle permet notamment la localisation des objets dans l'espace, l'évaluation des positions, des distances entre les objets ou encore la coordination visuo-motrice (Goodale & Milner, 2018). Cette voie prend également son origine dans le cortex visuel primaire V1 et se projette à travers les aires extrastriées V2, V3 et MT/V5 avant de rejoindre le cortex pariétal postérieur. Elle transmet en sortie des informations au cortex pré moteur et moteur du lobe frontal afin de guider les actions motrices en réponse aux informations visuelles (Milner & Goodale, 1997). Cette voie est essentielle pour la perception du mouvement et l'interaction avec les objets dans l'espace, notamment pour des actions telles que la saisie d'objets en fonction de leur position dans l'environnement (Goodale & Milner, 2018; Milner & Goodale, 2008). Elle a ainsi parfois été désignée comme la « voie du comment » (Schmetz & Rousselle, 2016). Par ailleurs, plusieurs travaux suggèrent que la voie dorsale se développe plus précocement que la voie ventrale, ce qui pourrait expliquer son rôle fondamental dans les premières interactions visuo-motrices avec l'environnement (Braddick et al., 2003; Wang et al., 2022).

PARTIE THÉORIQUE

Ces deux voies ne fonctionnent pas de manière isolée mais s'organisent selon une hiérarchie fonctionnelle. Ainsi, les premiers niveaux de traitement concernent des caractéristiques visuelles simples et les représentations deviennent progressivement plus complexes et intégrées au fur et à mesure que l'information progresse dans les voies visuelles (Felleman & Van Essen, 1991; Kravitz et al., 2011). Si ce modèle des voies visuelles offre une certaine compréhension de l'organisation du traitement visuel, des études récentes s'accordent cependant à dire que ces voies interagissent constamment entre-elles (e.g. Ayzenberg et al., 2023; Ayzenberg & Behrmann, 2022; Takemura et al., 2016).

Par ailleurs, l'oculomotricité repose sur un réseau complexe de structures cérébrales et périphériques, qui coordonnent les mouvements des yeux pour orienter efficacement le regard. Les rotations du globe oculaire dans toutes les directions sont possible grâce à six muscles extra oculaires innervés par trois nerfs crâniens majeurs qui correspondent au nerf oculomoteur (III), au nerf trochléaire (IV) et au nerf abducens (VI) (Leigh & Zee, 2015). Au niveau central, l'activité musculaire des yeux et le contrôle de la direction du regard sont médiés par un ensemble de structures corticales et sous-corticales qui agissent de manière hiérarchique et coordonnée. Le colliculus supérieur (CS) est situé dans le mésencéphale et joue un rôle fondamental dans l'oculomotricité en agissant comme un centre de relais sensorimoteur qui intègre les informations visuelles et les transforme en commandes motrices. Il est impliqué dans l'initiation des saccades, le maintien des fixations mais aussi dans la coordination visuo-motrice (Gandhi & Katnani, 2011; King, 2004). Au-delà de l'aspect moteur, le CS intervient également dans des processus cognitifs comme la sélection visuelle et l'orientation attentionnelle, en dirigeant les ressources vers les stimuli saillants ou pertinents dans l'environnement visuel (Basso & May, 2017; Krauzlis et al., 2013; Liversedge et al., 2011). Cette activité du CS est modulée par les aires corticales, notamment les aires oculomotrices frontales (FEF pour frontal eye field) et les aires oculomotrices pariétales (PEF pour parietal eye fields) qui comprennent le sulcus intra pariétal (IPS pour intraparietal sulcus). Les FEF sont principalement responsables de la planification et de l'exécution volontaire de mouvements oculaires comme les saccades ou les mouvements de poursuite pour diriger le regard vers une cible visuelle pertinente et suivre son mouvement. Les régions pariétales PEF, en particulier celle de l'IPS, sont impliquées dans l'orientation attentionnelle et la sélection spatiale des éléments de l'environnement par des processus « top-down » mais également dans les mouvements oculaires réflexes ou automatiques (Husain & Nachev, 2007; Krauzlis et al., 2013; Pierrot-Deseilligny et al., 2004; Vossel et al., 2014). Ces aires corticales interagissent étroitement avec des structures sous-

PARTIE THÉORIQUE

corticales telles que le colliculus supérieur (CS) et permettent ainsi de coordonner les mouvements oculaires en fonction des stimuli et de l'attention visuelle.

De façon générale, les mécanismes attentionnels impliquent le réseau fronto-pariétal (Corbetta & Shulman, 2002) et les mécanismes mnésiques, notamment pour la mémoire de travail spatiale, reposent sur une boucle fonctionnelle reliant le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex pariétal postérieur et des structures sous-corticales comme les ganglions de la base et le cervelet (Wager & Smith, 2003). Les fonctions exécutives sont dirigées par le cortex préfrontal et des structures sous-corticales comme les ganglions de la base (Miller & Cohen, 2001). Ces réseaux interconnectés permettent non seulement de maintenir et manipuler les représentations visuelles, mais aussi d'intégrer les informations spatiales dans des processus cognitifs plus larges, contribuant à une interaction fluide entre perception, mémoire et action.

3.4. Facteurs de variabilité interindividuelle

Si les structures neuroanatomiques évoquées rendent compte des nombreux processus cognitifs impliqués dans les habiletés visuospatiales, elles traduisent également la diversité des facteurs susceptibles de les influencer. Les habiletés visuospatiales peuvent tout d'abord être altérées par des **facteurs pathologiques** affectant les structures de la réception de l'information visuelle jusqu'à celles qui participent à son intégration et à son traitement. De manière générale, toute altération des organes sensoriels de la vision (acuité, atteinte du champ visuel) ou du système oculomoteur (nystagmus, strabisme, trouble de la fixation) perturbe l'intégration des informations et la possibilité de représentations visuospatiales fidèles à la réalité (Cavézian et al., 2013; Chokron, 2015; Schmetz & Rousselle, 2016). Des atteintes des voies ventrale et dorsale peuvent causer des troubles spécifiques de la cognition visuelle et impacter le niveau d'habiletés visuospatiales en fonction de leur intensité et de la nature des altérations. Les atteintes de la voie ventrale se manifestent par des troubles visuo-perceptifs appelés agnosies visuelles, telles que l'agnosie visuelle aperceptive, qui correspond à l'incapacité à percevoir la forme et l'apparence d'un objet malgré une acuité visuelle préservée ; l'agnosie visuelle associative, caractérisée par l'incapacité à reconnaître ou à attribuer une signification à un objet bien qu'il soit correctement perçu ; la prosopagnosie, une forme d'agnosie visuelle associative où la reconnaissance des visages est altérée ; ou l'agnosie des couleurs, qui empêche l'identification ou la distinction des couleurs (Bauer, 2024; Chokron, 2015; Martinaud, 2012).

PARTIE THÉORIQUE

Les atteintes de la voie dorsale peuvent aussi entraîner divers troubles visuo-spatiaux, tels que l'héminégligence spatiale, caractérisée par une difficulté à percevoir ou à prêter attention à une partie de l'espace située du côté opposé à la lésion ; l'ataxie optique, qui correspond à un trouble de la coordination visuo-motrice qui empêche d'interagir correctement avec les objets perçus ; la simultanagnosie, associée à l'incapacité à percevoir plusieurs objets simultanément dans une scène visuelle ; ou l'akinétopsie, qui se traduit par l'impossibilité de percevoir le mouvement des objets (Álvarez & Masjuan, 2016; Bauer, 2024; Cavézian et al., 2013). Les causes de l'ensemble de ces déficits sont multiples. Elles peuvent être traumatiques ou acquises à la suite d'accidents vasculaires cérébraux (Esposito et al., 2021; Moore et al., 2021), de traumatismes crâniens ou de maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer ou la démence à corps de Lewy qui sont associées à la dégradation progressive des réseaux cérébraux impliqués dans la cognition visuelle (Coughlan et al., 2018; Geldmacher, 2003; Martinaud, 2017; Oishi et al., 2018; Silva & Martínez, 2023). Également, certaines agnosies peuvent être d'origine innée et développementale. Bien qu'ils ne soient pas directement associés à des agnosies, les troubles neurodéveloppementaux tels que la dyslexie, le trouble du développement de la coordination ou trouble développemental du langage oral impliquent fréquemment des altérations du traitement visuel, affectant ainsi les habiletés visuospatiales (Chaix & Albaret, 2013). Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) peut également affecter les habiletés visuospatiales, principalement par le biais de difficultés attentionnelles qui compromettent parfois l'acquisition et le traitement efficaces des informations visuospatiales (Kofler et al., 2018). Des spécificités dans le traitement de l'information ont été rapportées dans l'autisme et seront présentées dans le prochain chapitre.

Les facteurs pathologiques, qu'ils soient acquis ou développementaux, contribuent ainsi à la variabilité clinique des habiletés visuospatiales. Cette variabilité est d'autant plus importante que chaque individu peut être affecté de manière unique en fonction de la nature du trouble ou de la localisation des atteintes cérébrales. Cependant, ces facteurs ne constituent pas la seule source de variabilité puisque des facteurs non pathologiques influencent également le niveau d'habiletés visuospatiales.

Des facteurs socio-démographiques ont été mis en cause dans la variabilité interindividuelle et concernent notamment l'âge, le genre, le niveau socio-culturel ou encore le domaine d'étude. Comme les autres fonctions cognitives, le niveau d'habiletés visuospatiales est modulé au cours de la vie et implique une certaine hétérogénéité de performance entre les individus. Elles se développent au cours de l'enfance, s'améliorent jusqu'à atteindre un « pic » de performance à

PARTIE THÉORIQUE

l'âge adulte puis déclinent progressivement suite au vieillissement (Levine et al., 2016; Meneghetti et al., 2011; Voyer et al., 2017). Des différences liées au sexe ont été documentées dans la littérature et indiquent que les performances dans certaines tâches visuospatiales sont généralement plus élevées chez les hommes (Linn & Petersen, 1985). Elles concernent spécifiquement la composante spatiale du traitement visuospatial et la navigation dans l'espace, la manipulation mentale de structures tridimensionnelles ou encore la perception des relations spatiales (e.g. Barel & Tzischinsky, 2018; Castro-Alonso & Jansen, 2019; Hegarty et al., 2006). L'influence du sexe semble être dépendant de l'âge et du type de tâche, comme l'ont montré Barel et Tzischinsky (2018). Ils indiquent par ailleurs que de telles différences sont absentes chez l'enfant et qu'elles apparaissent seulement à l'âge adulte. Certains auteurs expliquent cela par des facteurs biologiques et neurobiologiques comme les patterns d'activation cérébrale ou les hormones mais proposent également que des facteurs socioculturels et les stéréotypes de genre jouent un rôle crucial (Barel & Tzischinsky, 2018; Castro-Alonso & Jansen, 2019; Levine et al., 2016). Les jeunes garçons seraient plus souvent exposés à des loisirs favorisant les compétences spatiales, tels que les jeux de construction, les jeux vidéo ou certains sports impliquant l'orientation dans l'espace, tandis que les jeunes filles seraient davantage orientées vers des activités verbales ou sociales, moins propices à l'entraînement des capacités visuospatiales (e.g. Levine et al., 2012; Shenouda & Danovitch, 2014). Ainsi, le niveau socioculturel constitue également un facteur déterminant dans le développement des habiletés visuospatiales. Les enfants de parents à statut économique plus élevé bénéficient généralement d'un environnement plus propice au développement des habiletés visuospatiales que les enfants de parents à plus faible statut économique (Verdine et al., 2014). À l'âge adulte, le domaine d'études ou la profession peut également favoriser cette variabilité. L'exemple le plus rapporté dans la littérature est celui des filières STEM (sciences, technologies, ingénierie, mathématiques) qui impliquent régulièrement et entraînent les habiletés visuospatiales de façon plus importante que dans d'autres milieux professionnels (Uttal et al., 2013).

Enfin, certaines particularités du fonctionnement cognitif ont pu être identifiées comme source de l'hétérogénéité des performances visuospatiales. Elles concernent premièrement le niveau de sensibilité sensorielle, à la base de l'entrée sensorielle du traitement perceptif. Tout comme les autres modalités sensorielles, la vision peut être associée à des hypo ou des hypersensibilités et moduler ainsi la capacité de l'individu à détecter certains détails de l'environnement. Bien que de tels résultats fassent souvent référence à des populations pathologiques telles que celle de l'autisme (e.g. Robertson & Baron-Cohen, 2017; Wibble & Pansell, 2023; Wuang & Su,

PARTIE THÉORIQUE

2011), les variations de sensibilité sensorielle et leur impact sur la perception visuelle s'observent également chez les individus au développement typique (Gerstenberg, 2012). La manière dont un individu acquiert et traite l'information peut également influencer ses habiletés visuospatiales. Ce concept fait référence au style cognitif qui est évaluable à l'aide du questionnaire Object-Spatial Imagery and Verbal Questionnaire (OSIVQ; Blazhenkova & Kozhevnikov, 2009 ; traduction française par Bled & Bouvet, 2021) et qui distingue la visualisation et la verbalisation comme deux façons de traiter l'information, en précisant que la visualisation des informations peut impliquer des représentations picturales pour sa dimension objet ou schématiques pour sa dimension spatiale. Ainsi, il a par exemple été montré que les individus qui utilisent davantage un style cognitif visuel de type spatial obtiennent de meilleurs résultats dans des tâches qui nécessitent la manipulation de relations spatiales comme la rotation mentale ou la navigation dans l'espace (Blajenkova et al., 2006; Blazhenkova et al., 2011; Caçola et al., 2014; Csíkos & Kárpáti, 2018). Dans la même façon que la composante spatiale du style cognitif facilite l'accès aux représentations schématiques, un niveau élevé de systématisation de l'information (Baron-Cohen, 2009) permet de favoriser la performances aux tâches visuospatiales. Si elle a été largement décrite dans l'autisme, la systématisation de l'information est aussi retrouvée de façon plus large dans la population générale et permet de dégager des règles ou des schémas à partir de l'information qui est considérée comme un système. Des études ont ainsi pu mettre en évidence que les personnes qui systématisent davantage l'information performent davantage dans les tâches de discrimination visuelle ou de rotation mentale (Baron-Cohen et al., 2003; Conson et al., 2020; Cook & Saucier, 2010). L'ensemble des particularités cognitives présentées ici et les différences liées au traitement de l'information peuvent se traduire par des différences dans l'exploration visuelle de l'environnement et sous-tendre des stratégies visuelles distinctes qui participent aussi à la variabilité observée (voir prochain chapitre). Ainsi, les performances visuospatiales sont donc influencées par des facteurs pathologiques, socio-démographiques et cognitifs qui interagissent parfois et contribuent à la variabilité des capacités visuospatiales dans la population.

En conclusion, les habiletés visuospatiales nous permettent d'appréhender et d'interagir avec le monde qui nous entoure. Elles reposent sur des processus variés, allant de ceux impliqués dans l'entrée sensorielle, à ceux sollicités pour le traitement de l'information et à ceux mobilisés lorsqu'une réponse motrice est nécessaire (voir Figure 3). Ces habiletés jouent un rôle central dans de nombreuses activités quotidiennes et sont notamment impliquées dans les processus

PARTIE THÉORIQUE

d'apprentissage où la manipulation d'informations visuospatiales est essentielle. Il est crucial de prendre en compte la large variabilité des compétences visuospatiales afin d'améliorer et d'adapter les outils d'évaluation clinique mais également d'aider à personnaliser et à optimiser les interventions, notamment dans les contextes éducatifs et cliniques, en fonction des forces et des déficits de chaque individu.

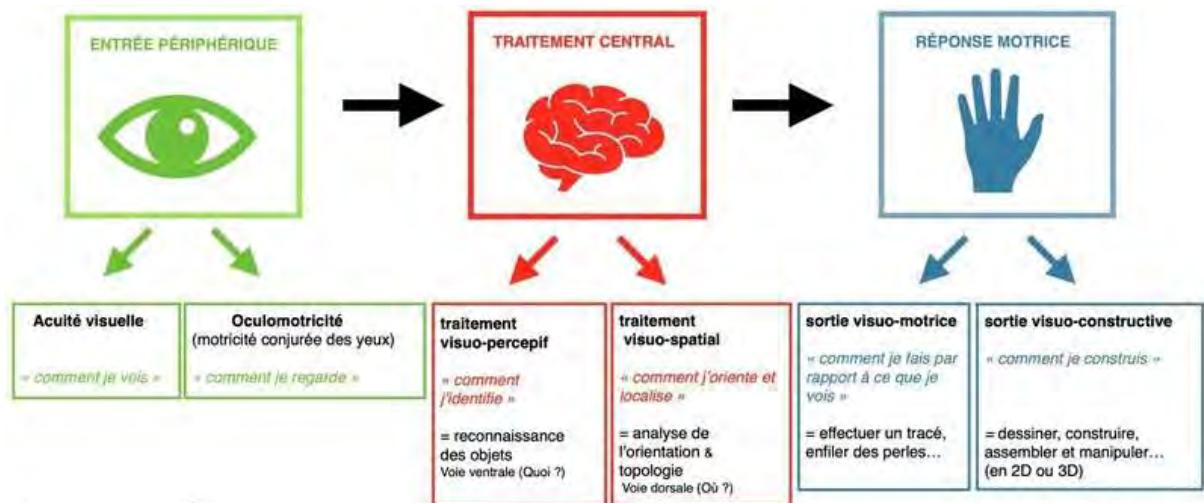


Figure 3. Modélisation du processus neuro-visuel de la prise d'information à l'action

Note. La figure est issue de D'Ignazio 2020, sur la base de Albaret & Chaix (2013) et Irani (2011). Elle est disponible via psychomotricien-liberal.com.

POINTS CLÉS DU CHAPITRE

- Le traitement visuospatial désigne l'ensemble des processus cognitifs permettant de percevoir, manipuler et d'analyser l'environnement en tenant compte des relations spatiales entre les objets de celui-ci.
- Ce traitement mobilise un large éventail de fonctions cognitives, incluant la perception visuelle, l'attention, la mémoire de travail, les fonctions exécutives mais aussi parfois les capacités de raisonnement ainsi que la motricité.
- Sur le plan neuroanatomique, les habiletés visuospatiales reposent sur l'intégration d'un vaste réseau cérébral, notamment les voies dorsale et ventrale, dont les atteintes peuvent générer des troubles spécifiques de la cognition visuelle.
- La variabilité interindividuelle des compétences visuospatiales peut s'expliquer par des facteurs pathologiques (lésions cérébrales, troubles neurodéveloppementaux) mais aussi par des facteurs non pathologiques, qu'ils soient socio-démographiques ou relatifs à des particularités de fonctionnement cognitif.

Chapitre 4. Évaluation des habiletés visuospatiales et résultats dans l'autisme

L'évaluation des habiletés visuospatiales occupe une place essentielle dans le bilan neuropsychologique. Elle rend possible l'identification de profils cognitifs spécifiques, caractérisés par des forces et/ou des difficultés, dans le but d'orienter et d'adapter les interventions. Dans le contexte de l'autisme, cette évaluation présente un intérêt tout particulier car de nombreuses recherches ont mis en évidence des profils cognitifs atypiques impliquant fréquemment des compétences supérieures ou préservées dans le domaine visuospatial.

Ce chapitre vise ainsi à décrire les outils disponibles pour évaluer les habiletés visuospatiales selon les processus qu'ils sollicitent. Il décrit les principaux résultats ayant permis l'acquisition des connaissances actuelles sur les habiletés visuospatiales mais également sur le fonctionnement cognitif au sens plus large dans l'autisme. Une attention particulière est portée à la technique d'eye-tracking, de plus en plus employée pour explorer plus en détail le traitement de l'information visuelle, sur laquelle les travaux de cette thèse se sont appuyés.

4.1. Outils d'évaluation et données dans l'autisme

Parmi les différentes approches qui permettent d'évaluer les habiletés visuo-spatiales, l'approche papier-crayon constitue la méthode la plus largement employée dans le domaine clinique. Cette approche s'inscrit dans le cadre d'une évaluation standardisée et s'appuie sur des tâches expérimentales structurées et normées qui permettent d'interpréter les performances individuelles en les comparant à celles d'une population de référence. Qu'ils prennent la forme de tâches individuelles ou de batteries de tests, ces outils sont particulièrement utiles pour identifier les profils de performance atypiques et évaluer les impacts fonctionnels des particularités cognitives auxquels ils sont associés. L'avantage majeur de ces tests réside dans leur validité psychométrique bien qu'ils présentent également certaines limites. Notamment, ils ne permettent pas de refléter pleinement les capacités fonctionnelles des individus dans la mesure où il s'agit de tâches non écologiques, qui ne ressemblent que peu ou pas à des tâches de la vie quotidienne. Ces tests sollicitent différentes fonctions cognitives telles que la mémoire,

PARTIE THÉORIQUE

l'inhibition ou la planification, complexifiant parfois l'interprétation des résultats. De ce fait, plusieurs de ces outils doivent souvent être employés simultanément et leurs résultats considérés ensemble afin de refléter les habiletés des individus.

Les tâches standardisées les plus fréquemment utilisées dans la pratique clinique sont présentées ici selon les composantes du traitement visuospatial qu'elles ciblent (de façon non exhaustive), allant de processus perceptifs simples à des processus plus complexes impliqués dans le raisonnement analytique. Il est cependant nécessaire de rappeler que ces composantes et les différents processus impliqués sont étroitement liés et interviennent souvent simultanément au cours de la résolution de ces tâches. Ces outils expérimentaux et/ou cliniques ainsi que les performances associées dans le contexte de l'autisme sont présentés ci-après.

4.1.1. Habilétés visuo-perceptives

Les dimensions perceptives du traitement de l'information sont évaluables à l'aide d'une multitude de tâches dans lesquelles il est possible de distinguer les tâches sociales des tâches non sociales. En effet, des tâches spécifiques au traitement des stimuli sociaux tels que les visages sont disponibles. Elles ont été largement utilisées dans le contexte de l'autisme afin de mettre en évidence et d'investiguer les difficultés sociales décrites comme caractéristiques du TSA (Doi & Shinohara, 2013; Entzmann et al., 2023; Forster & Lavie, 2021; Guillon et al., 2014; Harms et al., 2010; Kovarski et al., 2021; Webb et al., 2017; Weigelt et al., 2012). Si ces outils ont joué un rôle central dans l'apport de connaissances sur le versant social, cette thèse se concentre sur les tâches non sociales qui permettent l'évaluation des habiletés visuo-perceptives dans le contexte de l'autisme.

Parmi celles-ci, la tâche visuo-perceptive la plus documentée dans la littérature correspond aux figures encastrées, également appelées figures emboîtées ou enchevêtrées. Si le Embedded Figures Test (EFT) initialement créé par Witkin (1950) constitue la version de référence, différentes versions de cette tâche ont été développées au fil du temps. Elles consistent toutes à évaluer la capacité d'un individu à repérer une forme géométrique simple cachée ou imbriquée dans une forme plus complexe et sollicitent donc essentiellement le traitement visuo-perceptif et la capacité à discriminer une information pertinente parmi d'autres informations visuelles. Elles mobilisent l'attention visuelle et nécessitent une vitesse de traitement suffisante lorsque

PARTIE THÉORIQUE

le temps de réponse est pris en compte. Parmi les versions du test, on retrouve le Group Embedded Figures Test (GEFT; Witkin, 1971) qui correspond à une version collective au format papier-crayon. Il se compose de trois séries de figures de difficulté croissante qui sont chacune limitée dans le temps. Une version adaptée aux jeunes enfants, nommée Children's Embedded Figures Test (CEFT; Karp & Konstadt, 1963) est aussi disponible et présente des formes et des consignes plus simples.

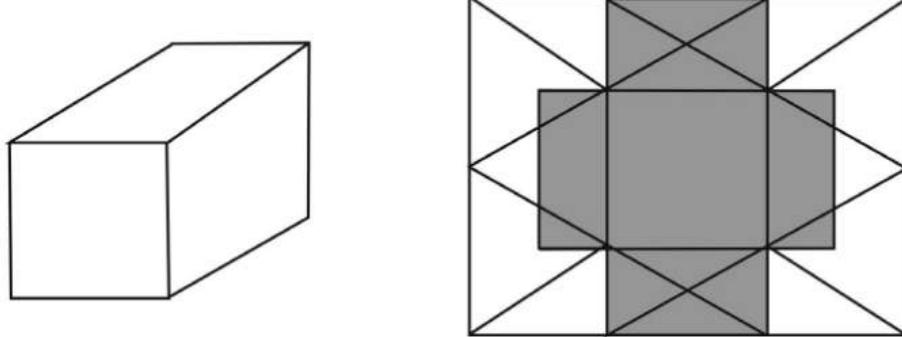


Figure 4. *Exemple d'item du test des figures encastrées issue de Spikins et al., 2018*

Ce type de test a été largement utilisé pour évaluer le style cognitif, notamment le concept de dépendance ou d'indépendance à l'égard du champ perceptif développé par Witkin et ses collaborateurs (Witkin et al., 1977), qui postule que certaines personnes ont plus de facilité à se détacher d'un contexte global pour identifier des éléments spécifiques. Par ailleurs, dans le champ de la psychologie cognitive et dans celui de l'autisme tout particulièrement, ces tâches ont été utilisées pour évaluer la cohérence centrale (Frith, 1989; Happé & Frith, 2006). Les résultats de ces études ont montré que les personnes autistes présentent généralement de meilleures performances que les individus typiques (Shah & Frith, 1983), contribuant à l'émergence de plusieurs théories explicatives de l'autisme (voir Chapitre 2). Depuis ces premiers travaux, des études sont venues enrichir ces résultats et soutenir la présence de meilleures performances associées à des scores plus élevés et des temps de résolution plus courts dans cette population (Brosnan et al., 2012; Jolliffe & Baron-Cohen, 1997). Des facteurs tels que le sexe pouvaient cependant moduler le niveau de performance dans la mesure où,

PARTIE THÉORIQUE

comme c'est le cas en population générale, les hommes autistes semblent performer davantage que les femmes autistes (Schloo & Hulstijn, 2014). Pour autant, la littérature met en évidence une certaine hétérogénéité dans les résultats car certains travaux mentionnent que les différences de performance ne concernent que les temps de réaction (e.g. Edgin & Pennington, 2005; Horlin et al., 2014; Keehn et al., 2009) et d'autres ne rapportent aucune différence significative de performance entre groupes autiste et non autiste (e.g. Bölte et al., 2007; Damarla et al., 2010; Lee et al., 2007; Manjaly et al., 2007; Spencer et al., 2012; White & Saldaña, 2011).

D'autres outils sont également disponibles pour évaluer ces habiletés visuo-perceptives, bien qu'ils aient été moins employés dans le contexte de l'autisme. La batterie de test Visual Perceptual Skills (TVPS; Martin, 2006), qui propose des subtests spécifiques aux différentes dimensions de la perception visuelle, est spécifiquement adaptée à l'enfant et l'adolescent (4-18 ans). Elle comprend par exemple l'épreuve de discrimination figure-fond (Visual Figure-Ground Discrimination), dans laquelle le participant doit retrouver une figure cible dans un ensemble complexe d'éléments visuels, et celle de constance de forme visuelle (Visual Form Constancy), dans laquelle il est demandé de retrouver les stimuli de forme identique. Ce type de tâches est également présent dans la batterie NEPSY-II (Korkman et al., 2007) qui se compose au total de 32 subtests et qui est utilisée pour établir un bilan neuropsychologique chez l'enfant et l'adolescent. Comme dans certains des travaux menés sur les figures enchevêtrées, il a été montré que les enfants autistes performent de la même façon que les enfants non autistes dans ce genre d'épreuves, bien qu'une tendance vers de meilleures performances soient observées pour la tâche de discrimination figure-fond du TVPS-3 (DiCrescio et al., 2021; Narzisi et al., 2013).

4.1.2. Habilétés visuo-spatiales

Les tâches spécifiquement conçues pour évaluer la composante spatiale du traitement de l'information reposent sur la capacité de manipulation et de visualisation mentale d'objets dans l'espace. Ce type de tâches est par exemple retrouvé dans les batteries de tests cliniques comme le TVPS ou la Kaufman Assessment Battery for Children (KABC-II ; Allen, 2013; Kaufman & Kaufman, 2004), bien que la littérature scientifique ne fournisse pas à l'heure actuelle

PARTIE THÉORIQUE

d'informations détaillées sur les performances des enfants autistes dans ces épreuves, qui sont pourtant employées dans le cadre de l'évaluation neuropsychologique.

Parmi les autres outils disponibles pour évaluer spécifiquement le traitement et la manipulation des informations spatiales dans l'autisme, on retrouve l'épreuve des Cubes de Corsi (Corsi Block; Kessels et al., 2000), une tâche qui fait également partie de la batterie d'évaluation de la mémoire de travail du WMS-IV (Wechsler Memory Scale ; Wechsler, 2009). Ce test consiste dans un premier temps à retrouver la séquence chronologique dans laquelle des cubes positionnés sur une planche sont touchés par l'examinateur ce qui permet d'évaluer l'attention et la mémoire de travail visuospatiales (empan). La seconde phase du test est plus complexe car il est demandé de restituer la séquence dans le sens inverse, ce qui permet d'évaluer davantage la flexibilité et la capacité à manipuler mentalement l'information spatiale. Un équivalent standardisé et informatisé de cette tâche est disponible et correspond au Spatial Span du CANTAB (Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery; Robbins et al., 2010). Comme pour les tâches visuo-perceptives, les performances des personnes autistes sont globalement contrastées pour ce type de tâches. Dans certaines études, il est observé que les performances des enfants et adolescents autistes sont comparables à celles des individus neurotypiques, notamment dans la première phase en ordre direct, suggérant une préservation de la mémoire de travail visuo-spatiale dans l'autisme (Edgin & Pennington, 2005; Kaufmann et al., 2013; Macizo et al., 2016). En revanche, d'autres recherches mettent en évidence des performances inférieures avec parfois des difficultés dans la condition en ordre inversé ce qui suggérerait un coût cognitif supérieur lorsqu'il s'agit de manipuler mentalement l'information (Czermainski et al., 2014; Steele et al., 2007; Wang et al., 2018). Malgré l'hétérogénéité des résultats, ces travaux contribuent tout de même à identifier des difficultés dans certaines composantes de la mémoire de travail chez les personnes autistes (Barendse et al., 2013; Habib et al., 2019; Wang et al., 2017).

Enfin, le traitement des informations spatiales joue un rôle central dans différentes tâches de rotation mentale. Ces tâches demandent généralement de manipuler l'information mentalement afin de déterminer si des figures (bi ou tridimensionnelles) sont identiques ou bien de retrouver une figure cible parmi différentes propositions. Elles mobilisent des capacités de visualisation et de manipulation spatiale, et sont considérées comme des indicateurs des capacités d'imagerie mentale (Shepard & Cooper, 1982). Dans la tâche de Shepard et Metzler (1971), les individus doivent comparer deux objets tridimensionnels composés de cubes accolés pour déterminer si

PARTIE THÉORIQUE

leur structure est identique ou bien s'il s'agit d'une structure différente et/ou en miroir. Cette tâche a été adaptée et standardisée au format papier-crayon par Vandenberg et Kuse (1978) et nécessite de retrouver parmi plusieurs options les deux figures identiques à la figure de référence, celles-ci ayant subi une rotation dans l'espace.

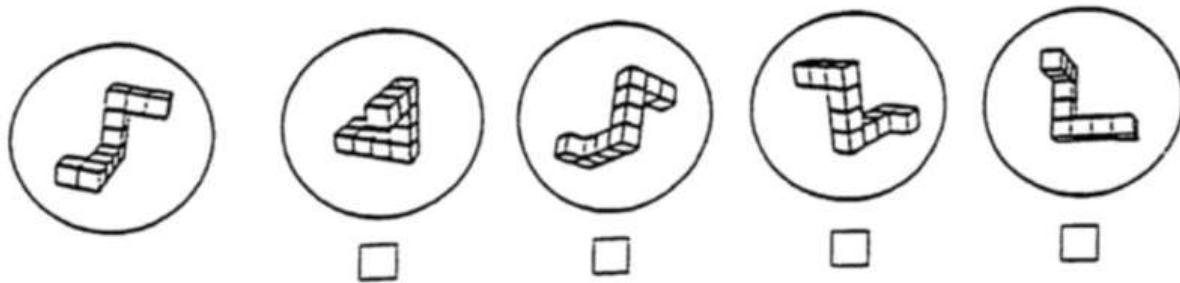


Figure 5. *Exemple d'item du test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse*

Outre les figures tridimensionnelles, des variantes avec des stimuli bidimensionnels sont également utilisées. On retrouve ainsi des versions avec des lettres (comme le « R »), où le participant doit juger si la lettre est correcte ou en miroir (Cooper & Shepard, 1973), ainsi que des versions avec des figures représentant des mains, des silhouettes ou des dessins d'animaux qui sont particulièrement adaptés pour l'évaluation chez l'enfant (Quaiser-Pohl, 2003; Rüsseler et al., 2005; Shepard & Cooper, 1982).

À nouveau, les études portant sur ces tâches de rotation mentale montrent des résultats variables chez les personnes autistes. Certaines ont utilisé des tâches de rotation mentale issues de celle de Vandenberg et Kuse auprès d'adultes autistes et n'ont trouvé aucune différence significative avec les adultes neurotypiques appariés sur l'âge et le niveau intellectuel (e.g. Beacher et al., 2012; Bled et al., 2024). Une autre étude a employé une tâche de rotation impliquant des stimuli représentant des mains et a montré des performances similaires entre adolescents autistes et typiques, que ce soit en termes de scores ou de temps de réponse (Conson et al., 2013). Cependant, d'autres travaux font état de performances supérieures dans l'autisme. Notamment, de meilleurs résultats ont été observés chez des adolescents et adultes autistes dans des versions informatisées de la tâche de rotation mentale tridimensionnelle, en particulier lorsque les stimuli étaient visuellement complexes ou présentés avec des angles élevés, nécessitant une

PARTIE THÉORIQUE

manipulation mentale plus importante (Soulières et al., 2011). Ce type d'avantage a également été retrouvé chez des enfants autistes pour des stimuli en 2D (lettres) et 3D (objets ou figures complexes), ce qui suggérerait une plus grande efficacité dans la manipulation des images mentales (Falter et al., 2008; Hamilton et al., 2009; Keehn et al., 2008). Ainsi, et malgré l'hétérogénéité, les résultats ont été interprétés comme le reflet d'un style cognitif particulier et ont contribué à soutenir l'hypothèse d'une pensée en image dans l'autisme. Par ailleurs, des effets de genre sont régulièrement observés dans ce type de tâche en population neurotypique et les hommes tendent à obtenir de meilleures performances que les femmes, ce qui est un facteur à prendre en compte dans l'interprétation des résultats (Butler et al., 2006; Jordan et al., 2002; Peters, 2005). Il a cependant été suggéré que ces différences liées au genre n'étaient pas forcément retrouvées dans l'autisme (Rohde et al., 2018).

4.1.3. Habilétés visuo-motrices et visuo-constructives

Plusieurs types de tâches ont été développés pour évaluer les habiletés visuo-motrices et visuo-constructives de façon spécifique, allant de tâches de navigation spatiale à des épreuves graphiques ou constructives. Les tâches de navigation spatiale évaluent la capacité à se déplacer efficacement dans un environnement et sollicitent donc la coordination visuo-motrice, la perception de l'espace, la mémoire spatiale ou encore la planification (Edgin & Pennington, 2005; Pellicano et al., 2011). Selon la revue de Smith (2015), les capacités de navigation spatiale chez les personnes autistes sont préservées mais associées à des difficultés lorsque les tâches impliquent de la flexibilité ou de l'adaptabilité au contexte. En environnement réel, il a en effet été montré qu'elles présentent davantage de difficultés en matière de planification des itinéraires ou bien d'utilisation des repères allocentriques (Edgin & Pennington, 2005; Pellicano et al., 2006).

Les tâches visuo-constructives, de par leur nature et de façon générale, impliquent toutes la dextérité manuelle en plus de leurs spécificités individuelles (Cardillo et al., 2022). Parmi ces épreuves, on retrouve premièrement les tâches de reproduction graphique. L'une des plus connues, la Figure Complex de Rey-Osterrieth (Osterrieth, 1944; Rey, 1941), est couramment utilisée pour évaluer la planification visuo-motrice, l'organisation et la mémoire visuelle. Cette épreuve consiste à copier une figure géométrique complexe puis, dans un second temps, à la reproduire de mémoire. La performance est évaluée à l'aide d'un score de précision qui dépend

PARTIE THÉORIQUE

du nombre d'éléments reproduits mais tient aussi compte des stratégies de copie et de l'organisation chronologique du dessin. Il existe des tâches similaires qui consistent à copier des figures, comme le subtest Copie de figures de la NEPSY-II (Korkman et al., 2007). Pour ce type de tâche chez les personnes autistes, les études rapportent des performances semblables à celles de participants neurotypiques (e.g. Kuschner et al., 2009; Sheppard et al., 2007; Zandt et al., 2009) mais aussi parfois des performances inférieures (e.g. Cardillo et al., 2022; Nydén et al., 2010). Cependant, les auteurs de ces études s'accordent à dire que les personnes autistes ont tendance à reproduire la figure de façon plus fragmentée, ce qui traduirait un traitement visuel davantage ciblé sur les détails et le niveau local. Ces résultats viennent ainsi appuyer l'hypothèse d'un traitement perceptif amélioré et d'un avantage pour le traitement local dans l'autisme (Sheppard et al., 2007).

D'autres tâches visuo-constructives prennent la forme de « puzzles » et impliquent la résolution de problèmes visuels. La Tour de Londres, développée par Shallice (1982), est une tâche conçue pour évaluer les capacités de planification et d'organisation. Le test consiste à déplacer des boules de couleurs sur des tiges plus ou moins hautes dans le but de reproduire un motif prédéfini, en un minimum de mouvements. Des outils similaires tels que le test de la tour d'Hanoi (Simon, 1975) ou l'épreuve Tour de la première version de la NEPSY (Korkman et al., 2007) ont également fait l'objet d'études dans le contexte de l'autisme. Si l'absence d'écart de performances entre les individus autistes et non autistes a parfois été avancé (Planche & Lemonnier, 2012), un grand nombre d'études indiquent des performances inférieures chez les individus autistes, avec des différences plus importantes lorsque la difficulté de la tâche augmente. Ils montrent également une tendance à effectuer plus de mouvements que nécessaires et donc à faire preuve de moins d'organisation chez les personnes autistes (e.g. Happé et al., 2006; Hill, 2004; Hughes et al., 1994; Ozonoff et al., 1991; Zinke et al., 2010). Ces résultats soutiennent ainsi l'idée de fonctions exécutives altérées dans l'autisme, notamment en ce qui concerne la planification. Pour autant, des études ayant utilisé une version numérique de cette tâche, qui ne sollicite donc pas la motricité, ont mis en évidence des performances préservées dans l'autisme par rapport à celles de la population générale (Landa & Goldberg, 2005; Sachse et al., 2013). Ces différences de résultats selon la méthodologie suggèrent ainsi que les difficultés de planification pourraient être induites par la composante motrice de la tâche originale.

PARTIE THÉORIQUE

Finalement, l'une des tâches visuo-constructives les plus décrites dans le contexte du TSA est sans doute celle des Cubes de Kohs (Kohs, 1920). Cette tâche est un subtest des échelles d'évaluation de l'intelligence de Wechsler (Wechsler, 2008, 2014a) qui consiste à reproduire le plus rapidement possible des motifs bidimensionnels à l'aide de cubes rouge et blanc. Cette tâche engage fortement les capacités de perception spatiale, de planification, de coordination motrice et de mémoire de travail visuelle. Contrairement aux résultats observés sur les tâches telles que la Tour de Londres, les études menées à l'aide des Cubes de Kohs dans l'autisme ont dans la très grande majorité mis en évidence des performances améliorées dans l'autisme (de Jonge et al., 2009; Happé, 1994; Ropar & Mitchell, 2001; Shah & Frith, 1993; Soulières et al., 2011; White & Saldaña, 2011). Les résultats observés dans cette tâche ont ainsi permis de renforcer l'idée d'un traitement perceptif plus efficace car davantage axé sur les détails (Bölte et al., 2008; Shah & Frith, 1993). De plus, cet outil a contribué à montrer la présence de pics d'habiletés visuospatiales (relativement aux autres habiletés cognitives évaluées dans le contexte de l'intelligence) chez les personnes autistes (Caron et al., 2006; Dawson et al., 2007), bien qu'ils ne soient pas mis en évidence dans toutes les études (Soulières et al., 2011; Wilson, 2023).

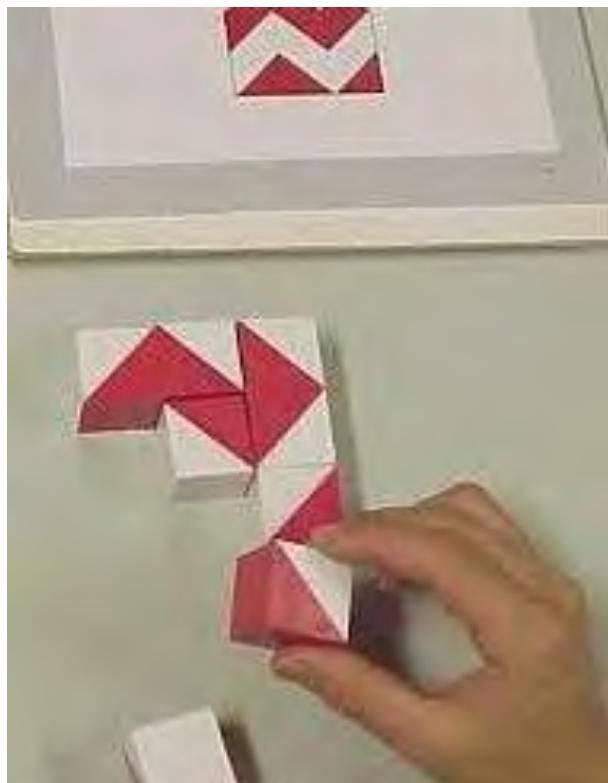


Figure 6. Illustration d'un item des Cubes de Kohs de la WAIS-IV

PARTIE THÉORIQUE

4.1.4. Habiléts de raisonnement non verbal

Pour finir cette présentation des outils, une attention particulière est portée aux tâches de raisonnement non verbal. En particulier, ces tâches concernent les Matrices Progressives de Raven (RPM; Raven et al., 1998; Raven & Raven, 2003) qui figurent parmi les outils les plus utilisés pour évaluer l'intelligence fluide. Cette épreuve consiste à compléter une série de figures présentée sous la forme d'une matrice (3 x 3) en identifiant la règle sous-jacente et en choisissant une réponse parmi les différentes options proposées (Carpenter et al., 1990). Le test se compose de plusieurs séries d'items qui s'enchaînent, avec une difficulté croissante à la fois au sein de chaque série et entre les séries tout au long de l'épreuve. Elles mobilisent ainsi à la fois des processus perceptifs, attentionnels et de raisonnement analogique. Les RPM se déclinent en trois versions principales, chacune adaptée à des populations spécifiques puisque les Matrices Progressives Colorées (CPM; Raven et al., 1998a) sont adaptées pour les jeunes enfants ou les populations présentant des déficiences intellectuelles, les Matrices Progressives Standard (SPM; Raven et al., 1998a) ciblent les adolescents et les adultes et les Matrices Progressives Avancées (APM; Raven et al., 1998b) sont spécifiquement destinées aux populations à plus haut niveau intellectuel. Des épreuves similaires aux RPM sont aussi présentes dans les batteries d'intelligence standardisées, telles que le subtest de Raisonnement Matriciel de la WAIS-IV (Wechsler, 2008) et de la WISC-V (Wechsler, 2014), et visent à évaluer les mêmes compétences dans un cadre plus large d'évaluation intellectuelle.

Dans le contexte de l'autisme, plusieurs travaux ont mis en lumière des performances particulières aux Matrices Progressives de Raven. En effet, lorsque les personnes autistes sont comparées à des individus contrôles appariés en scores aux échelles de Wechsler, elles présentent des performances égales voire supérieures aux Matrices. Certaines études ont rapporté des performances équivalentes entre les groupes (Dawson et al., 2007; Morsanyi & Holyoak, 2010), tandis que d'autres ont mis en évidence des scores significativement plus élevés chez les enfants autistes Asperger (Hayashi et al., 2008). D'autres travaux rapportent des scores similaires mais des temps de résolution plus courts, indiquant que les personnes autistes sont plus rapides et donc plus performantes pour compléter le test des RPM (Soulières et al., 2009). Enfin, il a été souligné que contrairement aux échelles de Wechsler, l'utilisation des RPM pour l'évaluation de l'intelligence des personnes autistes permet d'éviter des biais liés au domaine verbal et de ne pas la sous-estimer (Charman et al., 2011; Dawson et al., 2007; Hayashi et al., 2008; Soulières et al., 2011; Stephenson et al., 2021).

PARTIE THÉORIQUE

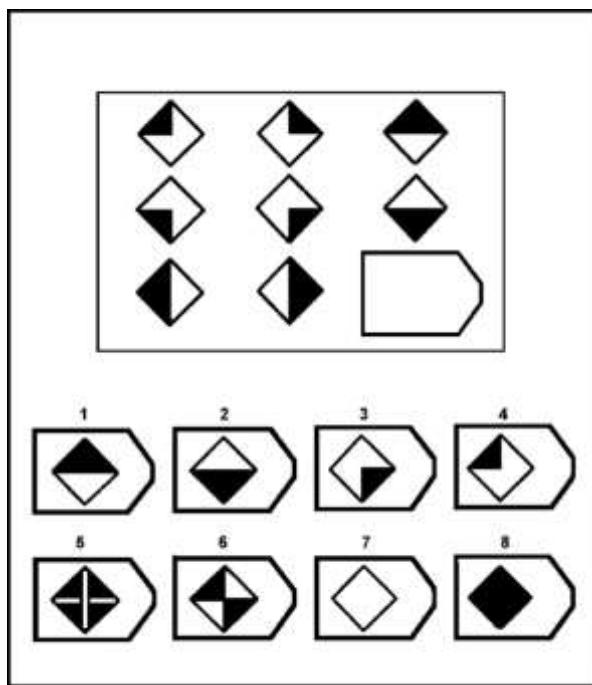


Figure 7. Illustration d'un item des Matrices Progressives de Raven (voir Blair et al., 2005)

4.1.5. Vue d'ensemble et hétérogénéité des résultats

Dans une perspective plus générale, certaines études ont mis en évidence des liens entre le niveau de performance à ces différentes tâches. Ainsi, des corrélations entre les scores aux tâches visuospatiales précédemment présentées ont pu être rapportées en population générale comme dans l'autisme. Elles concernent notamment les tâches des Cubes de Kohs, des Figures encastrées, des Matrices de Raven ou encore les tâches de copie de figures (Cardillo et al., 2022; Courchesne et al., 2015; Dawson et al., 2007; Grinter et al., 2009; Happé & Frith, 2006; Muth et al., 2014; Zappullo et al., 2021). Ces corrélations ont permis de mieux comprendre les mécanismes cognitifs sous-jacents aux performances visuospatiales dans l'autisme, en mettant en évidence l'interdépendance entre les processus perceptifs et d'autres mécanismes de traitement de l'information visuelle. Ce résultat suggère que les différentes tâches reposent en partie sur des processus cognitifs communs malgré qu'elles mobilisent parfois des mécanismes spécifiques selon leur nature (Zappullo et al., 2021).

Ces tâches, présentées de façon non-exhaustive dans ce chapitre, ont permis de nombreux apports dans le champ du TSA, mais aussi plus globalement en sciences cognitives et neurosciences. Leur utilisation a aidé à caractériser les réseaux neuronaux impliqués dans le

PARTIE THÉORIQUE

traitement visuospatial (e.g. Nishimura et al., 2020; Sahyoun et al., 2009; Soulières et al., 2009) ou encore à identifier les facteurs de variabilité des habiletés visuospatiales (voir Chapitre 3). Également, elle a contribué à mettre en évidence les atypies du traitement de l'information dans l'autisme, participant ainsi à l'émergence de théories explicatives du TSA telle que la théorie du fonctionnement perceptif amélioré (Mottron et al., 2006).

En plus de fournir une meilleure compréhension du domaine visuospatial, les études ayant employé ce type d'outil ont participé à souligner des difficultés liées à la planification, la mémoire de travail ou à l'attention chez les personnes autistes (Demetriou et al., 2018; Habib et al., 2019; Sachse et al., 2013; Wang et al., 2017), soutenant ainsi l'idée d'un profil cognitif hétérogène qui présente des forces et des faiblesses. Des difficultés dans certains contextes spécifiques ont pu être rapportées mais la majorité des études évaluant les habiletés visuospatiales a pu mettre en évidence un bon niveau de performances dans l'autisme. Les résultats d'une méta-analyse investiguant les différents résultats pour quatre tâches visuospatiales indiquent ainsi que les performances sont au moins préservées, voire améliorées, dans cette population (Muth et al., 2014). De façon non surprenante au regard de la littérature, cette étude met cependant en évidence la présence d'une forte hétérogénéité interindividuelle au sein de la population autiste. Cette variabilité pourrait être expliquée par des facteurs tels que l'âge, le sexe ou le niveau intellectuel pour lesquels une influence sur le niveau de performance dans le domaine visuospatial a été retrouvée (Courchesne et al., 2015; Morsanyi & Holyoak, 2010; Raabe et al., 2006; Zappullo et al., 2021). Aussi, une potentielle influence du niveau verbal dans l'autisme a été évoquée car des capacités supérieures ont été observées dans les tâches visuelles chez les individus autistes avec un retard de langage, par rapport aux individus autistes sans retard de langage (Nader et al., 2015). Pour autant, ces facteurs ne permettent pas à eux seuls d'expliquer toute la variabilité retrouvée en termes d'habiletés visuospatiales.

Parmi les pistes explicatives de cette hétérogénéité, des caractéristiques individuelles et cognitives associées à l'autisme ont été identifiées et s'avèrent être corrélées aux performances visuo-spatiales dans la population générale. Elles concernent notamment les traits autistiques (évalués à l'aide du questionnaire de Quotient Autistique de Baron-Cohen et al., 2001) et le niveau de systématisation de l'information (évalué à l'aide du questionnaire de Quotient de Systématisation de Baron-Cohen et al., 2003). Ainsi, le degré de traits autistiques semble influencé positivement les aptitudes pour la tâche des Cubes de Kohs (Conson et al., 2019; Fugard et al., 2011; Grinter et al., 2009; Shah & Frith, 1993; Stewart et al., 2009), des Figures

PARTIE THÉORIQUE

encastrées (e.g. Almeida et al., 2010; Conson et al., 2019, 2021, 2022; Cribb et al., 2016; Grinter et al., 2009; Russell-Smith et al., 2012) ou encore le Test de rotation mentale (Conson et al., 2022). De la même façon, les individus dont le niveau de systématisation est élevé performent davantage à ces mêmes tâches (Conson et al., 2019; Cook & Saucier, 2010; Grinter et al., 2009; Russell-Smith et al., 2012). Ensemble, ces résultats suggèrent l'idée d'un continuum dans les habiletés visuospatiales entre population clinique et non clinique, qui serait dépendant du degré de particularités cognitives retrouvées dans l'autisme. Cette approche « trans-diagnostique » pourrait contribuer à mieux comprendre la variabilité interindividuelle retrouvée dans les habiletés visuospatiales, et à identifier les mécanismes cognitifs qui sous-tendent la réussite.

Pour finir, il a été suggéré que certaines des différences observées dans les performances pourraient résulter de différences stratégiques (Soulières et al., 2009). Ce point est notamment soutenu par des données issues de la neuroimagerie fonctionnelle, qui ont révélé des profils d'activation cérébrale particuliers chez les personnes autistes dans des tâches visuospatiales. Dans des tâches complexes comme les Matrices de Raven, des études ont mis en évidence chez les participants autistes une activation accrue des régions occipitales et pariétales, impliquées dans le traitement perceptif et visuel, comparée à une activation plus marquée des régions frontales chez les participants typiques, régions impliquées dans le raisonnement (Nishimura et al., 2020; Sahyoun et al., 2009; Soulières et al., 2009). Cette différence suggère un traitement plus perceptif et moins basé sur le raisonnement abstrait, en accord avec l'hypothèse d'un fonctionnement perceptif amélioré (Mottron et al., 2006). Des résultats similaires ont été observés dans des tâches comme les Figures enchevêtrées où les personnes autistes montrent une plus grande activation des régions occipitales et pariétales, reflétant une plus grande implication des processus perceptifs que chez les personnes non autistes, qui elles activent davantage les régions frontales (Lee et al., 2007; Ring et al., 1999).

En somme, ces résultats suggèrent que les personnes autistes mobilisent des stratégies spécifiques pour résoudre les tâches visuospatiales, ce qui pourrait en partie expliquer l'hétérogénéité observée dans les performances. Pour mieux comprendre ces différences stratégiques et leur impact, il est utile de recourir à des méthodes complémentaires. L'oculométrie, en particulier, offre un moyen privilégié d'analyser l'exploration visuelle des stimuli pendant la tâche et de mieux cerner les stratégies cognitives mises en œuvre.

PARTIE THÉORIQUE

4.2. Apports de la technique d'eye-tracking

4.2.1. Définition de l'outil

En complément de ces approches méthodologiques, certains outils technologiques tels que l'eye-tracking permettent d'enrichir l'évaluation et d'investiguer les processus visuels et attentionnels mobilisés lors des tâches. La technique d'oculométrie, aussi appelée eye-tracking, est une méthode de mesure des mouvements oculaires qui permet de suivre, en temps réel, les déplacements du regard d'un individu. Elle repose sur l'enregistrement de plusieurs indices clés du comportement oculaire, notamment les fixations et les saccades. Ainsi, elle permet de rendre compte de la manière dont l'information visuelle est explorée, en apportant des indications précises sur les processus attentionnels et visuospatiaux (Carter & Luke, 2020; Duchowski, 2017; Holmqvist et al., 2011).

Historiquement, l'oculométrie a vu le jour à la fin des années 1800 avec les premières tentatives de mesure du regard de Louis Émile Javal (1879). Après avoir observé que les mouvements oculaires lors de la lecture ne sont pas fluides, il est le premier à décrire ces mouvements comme des séquences de fixations et de saccades. Toutefois, ce n'est qu'au 20^{ème} siècle que les dispositifs mécaniques visant à mesurer ces mouvements apparaissent. Les premiers oculomètres reposaient sur des systèmes intrusifs comme l'illustre l'exemple du « search coil », une technologie qui utilisait une bobine métallique placée dans une lentille cornéenne pour détecter les déplacements oculaires à l'aide d'un champ magnétique. Comme ils étaient parfois en contact direct avec la cornée de l'œil ou fixés à la tête du participant, ces appareils limitaient fortement le confort des sujets et l'éthique des tâches (Wade, 2010). Ils ont tout de même permis l'apport des premières connaissances confirmant l'importance de considérer l'exploration visuelle pour mieux comprendre les processus impliqués dans le traitement de l'information visuospatiale (Yarbus, 1967).

Avec le développement technologique depuis les années 1990, les dispositifs d'oculométrie sont devenus progressivement plus précis et moins invasifs. La technologie la plus couramment utilisée aujourd'hui est la PCCR (pour Pupil Center Corneal Reflection), qui consiste à projeter une lumière infrarouge sur l'œil et à enregistrer la réflexion de cette lumière sur la cornée et la pupille, permettant de calculer avec précision la position du regard (Holmqvist et al., 2011). Deux grandes catégories de dispositifs se distinguent, parmi lesquels les oculomètres fixes et

PARTIE THÉORIQUE

les dispositifs mobiles. Ces deux types d'outils présentent des spécificités technologiques, des avantages et des limites propres. Les eye-trackers fixes, généralement placés sous un écran d'ordinateur, permettent d'enregistrer les mouvements oculaires d'un individu positionné face à l'écran, souvent avec l'aide d'un repose-tête destiné à limiter les mouvements de la tête et à optimiser la précision des mesures. Ce type de système offre une précision très élevée et une fréquence d'échantillonnage importante comprise entre 250 et 1000 Hz, ce qui les rend particulièrement adaptés pour l'analyse des micromouvements oculaires (Holmqvist et al., 2011; Lemonnier et al., 2021). Ils impliquent cependant souvent l'informatisation des tâches et limitent les mouvements du participant, ce qui peut réduire l'aspect écologique des tâches.

Les eye-trackers mobiles, quant à eux, se présentent sous la forme de lunettes ou de casques qui sont équipés de différentes caméras. Les caméras oculaires, pointées vers les yeux, permettent comme pour les eye-trackers fixes d'enregistrer la réflexion de la lumière sur l'œil. Elles sont associées à une caméra qui permet de filmer la scène visuelle, c'est-à-dire ce que la personne voit. Ce type de dispositif ne mesure pas réellement la position du regard mais recoupe les enregistrements des différentes caméras pour superposer la position du regard sur les images de la scène visuelle. Ces dispositifs présentent un avantage majeur en termes de situation écologique, car ils permettent d'étudier le comportement visuel en conditions réelles sans limiter la personne dans ses mouvements ou ses interactions. Toutefois, ils impliquent une fréquence d'échantillonnage plus faible souvent comprise entre 30 et 120 Hz, ce qui diminue la précision des mesures et complique la détection des mouvements oculaires fins et rapides (Kothari et al., 2020). L'analyse des données issues de ces systèmes s'avère souvent plus complexe en raison de la nature dynamique des stimuli. Ainsi, elle requiert fréquemment un traitement plus lourd et des manipulations manuelles pour reporter précisément les points de regard sur une scène visuelle en mouvement.

Bien que ces deux types d'eye-trackers utilisent des technologies similaires basées sur la réflexion de la lumière infrarouge, leurs différences en matière de précision et de validité écologique orientent leur utilisation vers des domaines d'application parfois variés. L'eye-tracking est en effet largement employé dans de nombreux domaines, qu'ils soient scientifiques ou non. Il permet par exemple d'analyser les comportements d'achat ou la navigation sur les sites web en marketing et il aide à optimiser les interfaces homme-machine en ergonomie (Goldberg & Helfman, 2011). En sciences cognitives et en neurosciences, il peut servir à étudier les mécanismes de la lecture ou encore à mieux comprendre les processus d'apprentissage

PARTIE THÉORIQUE

(Duchowski, 2017; Lai et al., 2013). De façon plus générale, l'eye-tracking constitue un outil particulièrement pertinent pour investiguer les mécanismes cognitifs sous-jacents à diverses fonctions telles que l'attention, la mémoire de travail ou le visuospatial. Il offre des indices objectifs permettant de mieux comprendre les particularités cognitives relatives à l'autisme, et peut ainsi contribuer à affiner le diagnostic ou à orienter les interventions cliniques. Par exemple, elle a été employée dans des travaux visant à investiguer la mémoire de travail ou encore l'attention chez des enfants autistes (de Belen et al., 2023; Zacharov et al., 2022). Certaines études ont d'ailleurs pu montrer l'intérêt de son utilisation dans des paradigmes visant à améliorer leurs capacités attentionnelles et mnésiques (Chan et al., 2024; Fanning et al., 2018).



Figure 8. *Dispositif mobile d'oculométrie, sous forme de lunettes (SMI)*

4.2.2. Exploration visuelle dans le TSA

Le domaine social a été largement exploré grâce à l'oculométrie et les études en eye-tracking ont révélé des particularités marquées dans l'exploration visuelle des visages chez les personnes autistes. Elles ont montré une réduction de l'attention portée aux visages, traduisant un défaut d'orientation sociale, c'est-à-dire une moindre tendance spontanée à diriger leur regard vers les informations socialement pertinentes (Bochet et al., 2021; Hernandez et al., 2009). Également,

PARTIE THÉORIQUE

une réduction de l'exploration de la zone des yeux, une attention accrue à la bouche et aux zones non sociales du visage, ou encore une plus grande variabilité interindividuelle dans les trajectoires oculaires ont été mises en évidence (Keles et al., 2022; Ma et al., 2021; Setien-Ramos et al., 2023). Ces résultats traduisent un défaut d'orientation sociale, caractérisé par une absence d'effet « pop-out » pour les visages et une moindre sensibilité à la direction du regard, indiquant des difficultés dans l'attention conjointe (Chita-Tegmark, 2016). Par ailleurs, des études en neuroimagerie montrent qu'un contact oculaire entraîne souvent une hyperactivation de l'amygdale, suggérant une réponse de stress face aux stimuli sociaux (Dalton et al., 2005). Dans la continuité de ces résultats, des recherches tendent actuellement à évaluer la validité de l'eye-tracking comme outil clinique pour le dépistage et le diagnostic de l'autisme chez les jeunes enfants (Jones et al., 2023; Keehn et al., 2024; Vargas-Cuentas et al., 2017).

Les travaux mobilisant l'eye-tracking dans le contexte de l'autisme concernent près de 900 publications depuis 1989, avec une forte augmentation à partir des années 2010. Toutefois, la grande majorité de ces études se concentre sur le traitement des informations sociales, faciales ou communicationnelles et une recherche ciblée excluant ces dimensions (termes « social », « face » et « communication » sur PubMed) réduit ce nombre à moins de 180 articles. Ainsi, de la même manière que pour les travaux ayant mis en évidence les atypies de traitement des informations faciales et émotionnelles, l'eye-tracking pourrait permettre de mieux comprendre les différences d'habiletés visuospatiales observées entre population autiste et non autiste en analysant les stratégies d'exploration visuelle.

Parmi les études utilisant l'oculométrie pour analyser l'exploration visuelle des personnes autistes dans des tâches visuospatiales, certaines ont apporté des éclairages sur le traitement local et global de l'information, notamment lors de la tâche des Figures encastrées. Il a été montré que les enfants autistes ont des temps de réaction plus courts que les enfants typiques et que la durée de leurs fixations sur les figures sont significativement plus courtes (Keehn et al., 2009). Ce résultat traduit une capacité accrue à discriminer les éléments locaux rapidement et soutient donc la théorie du fonctionnement perceptif amélioré dans l'autisme. En population générale pour le test de Rotation mentale, une étude a pu mettre en évidence des patterns distincts dans l'exploration des figures tridimensionnelles car elle a montré que les individus ayant des traits autistiques importants regardent davantage les coins supérieurs ou inférieurs des figures (Stevenson & Nonack, 2018).

Bien que peu de travaux aient jusqu'à présent employé les outils cliniques évoqués précédemment dans le contexte de l'autisme, la littérature générale (neurotypique) sur les

PARTIE THÉORIQUE

stratégies visuelles offre parfois des pistes intéressantes à considérer pour expliquer les résultats observés dans l'autisme.

Dans la tâche des Cubes de Kohs, trois stratégies d'exploration ont pu être décrites sur la base d'observations comportementales et d'entretiens dans lesquels les individus expliquaient leur manière de résoudre la tâche (Rozencwajg, 1991; Rozencwajg et al., 2005; Rozencwajg & Corroyer, 2001; Rozencwajg & Fenouillet, 2012; Rozencwajg & Huteau, 1996; Schorr et al., 1982). Parmi ces stratégies, la stratégie analytique correspond à l'élaboration d'une représentation mentale du modèle puis à sa segmentation de façon à identifier la face de chaque cube. Le sujet saisit les cubes et les place un à un en veillant à le positionner correctement pour former le motif. Les cubes sont souvent positionnés en ligne ou en colonne et cette stratégie implique des consultations nombreuses du modèle car les individus le regardent pour « vérifier » le bon positionnement de chaque cube. Comme une attention particulière est accordée à chaque élément, cette stratégie a été associée à un traitement local de l'information. À l'inverse, on retrouve la stratégie globale (ou holistique) où le sujet considère le modèle dans son entièreté sans le segmenter en petites unités et le reproduit ensuite par essai-erreurs en comparant la construction au modèle présenté. L'utilisation de cette stratégie n'est généralement pas efficace et implique un temps de résolution bien plus important. Finalement, la stratégie synthétique correspond à une stratégie intermédiaire, où le sujet décompose le modèle et identifie des patterns visuels (forme particulière par exemple ; voir figure 9) qui conditionnent l'ordre dans lequel il positionne les cubes. Ce processus ferait ainsi à la fois appel au traitement local et au traitement global, d'abord pour segmenter puis pour identifier les patterns. Elle implique peu de consultations du modèle car elle s'appuie sur la mémoire de travail de l'individu. Cette stratégie est associée à de meilleures performances et à un temps de résolution plus court.

Dans leurs travaux, les auteurs qui ont distingué ces stratégies ont pu montrer une influence de l'âge sur l'utilisation préférentielle de celles-ci, avec une plus forte utilisation de la stratégie globale lorsque l'âge augmente (Rozencwajg et al., 2005). Selon eux, ce résultat fait sens dans la mesure où cette stratégie est celle qui sollicite le moins les capacités de mémoire de travail, qui diminuent à un âge avancé. Concernant la stratégie synthétique, décrite comme la plus efficace, elle est utilisée par les individus ayant les capacités visuo-spatiales les plus élevées (Rozencwajg & Fenouillet, 2012). Malgré que la tâche des Cubes de Kohs ait été largement employée dans le contexte de l'autisme, aucune étude en eye-tracking n'a encore permis de mettre en évidence l'utilisation préférentielle de l'une ou l'autre des stratégies dans cette

PARTIE THÉORIQUE

population. Il serait donc pertinent de les investiguer pour tenter d'expliquer les mécanismes qui sous-tendent les meilleures performances qui y sont observées.

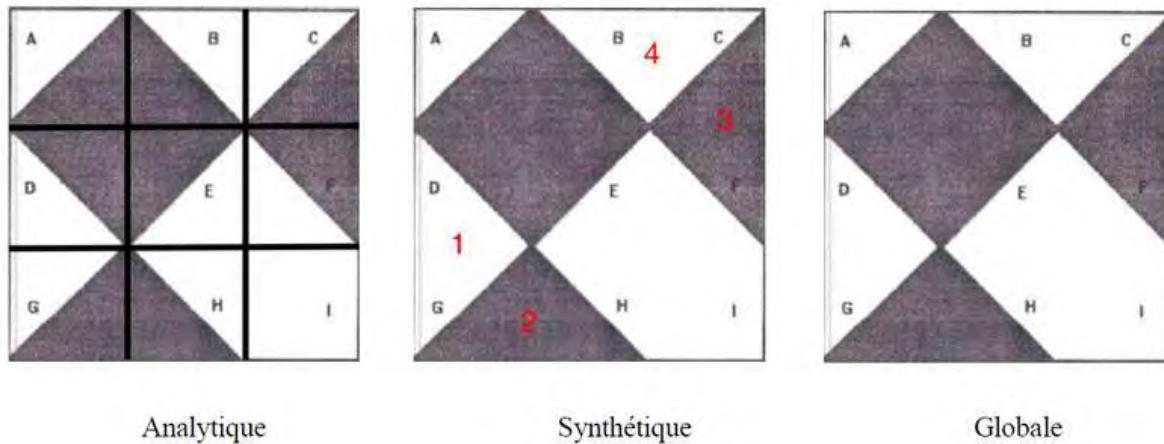


Figure 9. Illustration des stratégies de résolution des Cubes de Kohs pour un même item

Note. La figure est issue des travaux de Rozencwajg et Huteau (1996). Les lettres représentent les unités (face des cubes) nécessaires à la construction du motif. Dans la stratégie analytique, le modèle est segmenté en petites unités ; dans la stratégie synthétique, il est segmenté selon des patterns visuels (triangles indiqués par des chiffres) ; la stratégie globale n'est associée à aucune segmentation.

Du côté des Matrices de Raven, la littérature rapporte deux stratégies de résolution principales qui ont été décrites dès les premiers travaux sur le sujet (Bethell-Fox et al., 1984; Snow, 1978, 1980). La stratégie d'appariement constructif (constructive matching ou CM) consiste à analyser la matrice pour en extraire les règles et construire mentalement un construit de la bonne réponse avant de consulter les différentes options. La seconde, appelée élimination de réponse (elimination response ou ER) implique des allers-retours fréquents entre la matrice et les choix de réponses car elle s'apparente à une stratégie par essai-erreurs qui vise à éliminer progressivement les options jugées incorrectes. La stratégie CM est ainsi associée à une plus grande proportion de temps passé sur la matrice, et à un plus faible nombre de transitions entre la matrice et les réponses que la stratégie ER (Hayes et al., 2011; Snow, 1978; Vigneau et al., 2006). Ces stratégies ont été mises en lien avec le niveau de performance puisque de meilleurs taux de réussite ont été observés pour les indices du regard associés à la stratégie CM (Bethell-Fox et al., 1984; Carpenter et al., 1990; Hayes et al., 2011; Vigneau et al., 2006). Également, la

PARTIE THÉORIQUE

difficulté des items s'avère être déterminante sur la stratégie mise en place car celle-ci est modulée au cours du test (Gonthier et al., 2024; Gonthier & Roulin, 2020). Ainsi, ces travaux ont mis en évidence différents niveaux de variabilité, aussi bien à l'échelle inter-individuelle qu'intra individuelle. Comme de meilleurs résultats à cette tâche ont été décrits dans l'autisme par le passé (Hayashi et al., 2008; Soulières et al., 2009), il serait intéressant d'explorer en eye-tracking les stratégies visuelles des personnes autistes en lien avec leurs performances à la tâche.

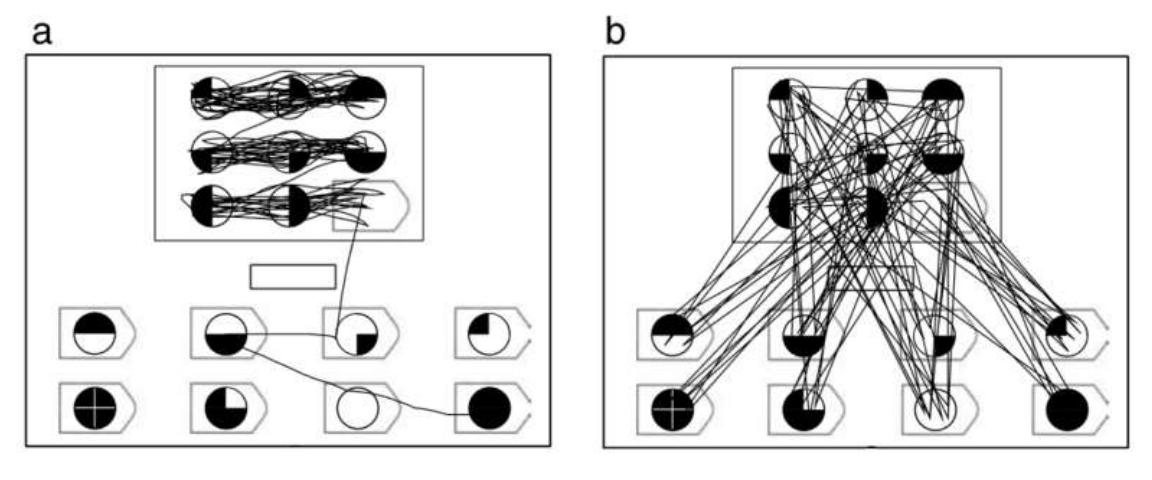


Figure 10. Illustration des patterns d'exploration pour les stratégies CM (a) et ER (b)

Note. La figure est issue de Hayes et al. 2011.

En conclusion, les habiletés visuospatiales dans l'autisme ont pu être évaluées à l'aide d'un large panorama de tâches sollicitant des processus différents, allant de la perception de forme à du raisonnement analytique plus complexe. Bien qu'elles aient été décrites comme au moins préservées voire améliorées dans l'autisme, l'hétérogénéité des résultats obtenue d'une étude à l'autre suggère la présence d'une large variabilité interindividuelle dont l'origine n'est pas encore pleinement caractérisée. De plus, une certaine variabilité est également retrouvée au niveau individuel dans cette population puisque des "pics" de compétences à certaines tâches et des difficultés dans d'autres ont été mis en évidence. Pour mieux comprendre l'ensemble de cette variabilité, les données socio-démographiques et cognitives doivent être intégrées dans l'objectif de distinguer de potentiels profils caractéristiques des niveaux de performance. Dans

PARTIE THÉORIQUE

ce contexte, l'eye-tracking apparaît comme un outil intéressant car il permet d'extraire les stratégies d'exploration visuelle mises en œuvre pour résoudre les tâches proposées. Par ailleurs, ces études dans l'autisme sont encore peu nombreuses et, souvent, elles s'appuient sur des tâches informatisées ou modifiées qui s'éloignent des conditions écologiques rencontrées en contexte clinique ce qui limite la généralisation des résultats et leur application pratique. Une meilleure compréhension de l'hétérogénéité des profils cognitifs dans l'autisme permettra d'affiner les évaluations diagnostiques et d'adapter les interventions éducatives et cliniques aux besoins spécifiques de chaque individu.

POINTS CLÉS DU CHAPITRE

- L'évaluation des habiletés visuospatiales occupe une place centrale dans le bilan neuropsychologique. Elle permet de caractériser les profils cognitifs, souvent marqués par des forces et des difficultés.
- Dans l'autisme, les habiletés visuospatiales sont décrites comme au moins préservées, voire supérieures à la population neurotypique. Les résultats sont cependant hétérogènes d'une étude à l'autre ce qui suggère la présence d'une large hétérogénéité interindividuelle au sein de cette population.
- Des stratégies de résolution sont plus efficaces que d'autres pour résoudre certaines tâches visuospatiales. Leur utilisation plus fréquente dans l'autisme pourrait expliquer les différences de performances observées.

Problématique et objectifs

Les habiletés visuospatiales, qui conditionnent l'aptitude à traiter et à interpréter les informations visuelles qui sont perçues au quotidien, sont associées à une large hétérogénéité dans l'autisme. D'après la littérature préexistante, des caractéristiques individuelles liées au fonctionnement cognitif ou aux stratégies d'exploration visuelle seraient susceptibles d'expliquer le niveau d'aptitudes visuospatiales, aussi bien dans l'autisme qu'en population générale. Ces caractéristiques n'ont pour autant jamais été considérées ensemble pour expliquer toute la variabilité observée. Les objectifs de cette thèse sont donc tout d'abord d'identifier la variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte du TSA, à l'échelle des groupes, des individus et de tâches qui évaluent les différents processus du traitement de l'information visuospatiale. Dans un second temps, l'objectif est de caractériser cette hétérogénéité en tentant d'identifier des profils cognitifs qui expliqueraient la variabilité de performance, à la fois sur la base des particularités de fonctionnement et sur le comportement d'exploration visuelle. Ainsi, la partie empirique de cette thèse comporte quatre parties :

1. Evaluation de l'hétérogénéité des capacités visuospatiales dans l'autisme :

Les recherches menées dans le domaine visuospatial chez les personnes autistes rapportent généralement des aptitudes au moins préservées, voire supérieures à celles observées dans la population typique. Toutefois, les résultats demeurent hétérogènes d'une étude à l'autre, y compris lorsque les mêmes outils d'évaluation sont utilisés. Cela a été interprété comme le reflet d'une forte hétérogénéité des capacités visuospatiales dans la population autiste, sans que cette variabilité ne soit précisément caractérisée. Par ailleurs, peu de travaux se sont intéressés à la variabilité intra individuelle, c'est-à-dire aux différences de performance d'un même individu selon les tâches visuospatiales, qui présentent chacune des spécificités. L'objectif de cette première étude est donc double : d'une part, confirmer que les personnes autistes présentent des performances visuospatiales similaires et/ou supérieures à celles des personnes non autistes ; d'autre part, explorer la variabilité inter- et intra individuelle des performances, en fonction des spécificités cognitives propres à chaque tâche, afin de mettre en évidence d'éventuels profils de performance caractéristiques. Pour cela, quatre tâches couramment employées dans les bilans neuropsychologiques ont été sélectionnées, à savoir les Figures encastrées, le Test de rotation mentale, les Cubes de Kohs et les Matrices progressives de Raven.

PARTIE THÉORIQUE

2. Caractéristiques cognitives comme piste d'explication de l'hétérogénéité :

Plusieurs pistes explicatives de l'hétérogénéité observée sont identifiables au travers de la littérature. Les facteurs socio-démographiques tels que l'âge, le sexe ou le niveau d'études peuvent moduler le niveau de performance. Par ailleurs, certaines études ont souligné un potentiel lien entre le niveau verbal et le niveau d'habiletés visuospatiales. Un intérêt particulier a également été porté aux particularités cognitives du TSA : d'une part le niveau de systématisation de l'information, dont le degré corrèle avec le niveau de performance dans certaines tâches visuospatiales et d'autre part, les particularités sensorielles. Pour finir, les traits autistiques ont fait l'objet de plusieurs études et semblent indiquer une influence significative sur les performances visuospatiales, contribuant ainsi à la variabilité observée au sein de cette population. L'ensemble de ces facteurs seront investigués, à l'aide de questionnaires et de test, comme potentielles pistes explicatives de l'hétérogénéité des habiletés visuospatiales.

3. Stratégies d'exploration visuelle aux Matrices de Raven dans l'autisme :

Au-delà du niveau de performance, l'analyse de l'exploration visuelle lors de tâches complexes constitue un indice pertinent pour mieux apprêhender les stratégies mises en œuvre dans la résolution des tâches. Les Matrices progressives de Raven ont été largement employées car elles permettent d'évaluer le raisonnement analogique et de façon plus générale le traitement de l'information visuelle. En population générale, deux stratégies d'exploration visuelle majeures ont été mises en évidence et l'une d'entre elle a été décrite comme étant plus efficace pour la résolution de cette tâche. Comme des atypies dans le traitement de l'information ont été décrites dans l'autisme, notamment une attention importante au détail, cela pourrait favoriser l'adoption de la stratégie plus analytique et plus efficace. Cette préférence stratégique pourrait contribuer à expliquer les performances parfois élevées observées chez certaines personnes autistes dans ce type de tâche, tout en rendant compte de la grande variabilité interindividuelle rapportée dans la littérature. Ainsi, les stratégies d'exploration visuelle employées tout au long du test par les individus seront identifiées grâce à la technique d'oculométrie (eye-tracking) dans le but de mieux comprendre les spécificités du traitement visuospatial dans l'autisme.

PARTIE THÉORIQUE

4. Stratégies d'exploration visuelle aux Cubes de Kohs dans l'autisme :

De la même façon, différentes stratégies d'exploration visuelle ont été identifiées pour la tâche des Cubes de Kohs en population générale et ont permis d'identifier une stratégie plus efficace. En plus de l'exploration du motif à reproduire, cette tâche implique une certaine organisation pour construire la structure demandée. Pour autant, ces aspects qualitatifs de la construction n'ont pas été investigués. Comme les performances sont très souvent supérieures chez les personnes autistes, il serait intéressant d'évaluer l'influence des stratégies d'exploration visuelle et de construction sur le niveau de performance. Cette étude se veut comparative mais permettra également d'obtenir une meilleure compréhension des mécanismes visuo-constructifs dans un contexte général.

En conclusion, l'ensemble de ces travaux a pour objectif de fournir une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans les habiletés visuospatiales chez les personnes autistes, en explorant la variabilité des performances grâce à des indices cognitifs et aux stratégies d'exploration visuelle.

PARTIE EMPIRIQUE

Méthodologie générale

Méthodologie générale

Ce projet de recherche a été validé par le Comité d'Éthique de la Recherche de l'Université de Toulouse (référence CER #2021-446) et déclaré conforme au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD, validé par Délégué à la Protection des Données).

Il est à noter que le projet initial reposait sur l'inclusion de participants autistes (TSA) et neurotypiques (NT). Le design expérimental a été envisagé pour permettre l'inclusion d'adultes et d'enfants dans une perspective développementale. Bien que l'inclusion des enfants (NT n=19 et TSA n=10) ait été menée tout au long de ce travail de thèse et se poursuive aujourd'hui encore, le nombre de participants restait trop limité pour mener à des analyses pertinentes. Ces données ne seront donc pas présentées dans ce manuscrit. La méthodologie présentée ci-dessous ne concerne donc que les adultes.

Participants

Cinquante-quatre participants adultes ont été inclus. Concernant les critères d'inclusion, les participants devaient être âgés de 18 ans minimum et avoir moins de 40 ans. Ils devaient avoir une vision normale ou corrigée (lunettes ou de lentilles de contact) et avoir un niveau de français suffisant pour la compréhension des consignes (absence de déficience intellectuelle). Les participants du groupe contrôle ne devaient présenter aucune pathologie neurologique ou psychiatrique. Également, les participants ayant un score supérieur au cut-off (32) du questionnaire du Quotient Autistique (AQ ; Baron-Cohen et al., 2001) étaient exclus afin d'écartier la présence d'un potentiel TSA non diagnostiqué. Les participants autistes ont été inclus sous réserve d'un diagnostic formel de trouble du spectre de l'autisme, établi par un professionnel de santé selon les critères du DSM-IV ou du DSM-5, et confirmé par des évaluations standardisées telles que l'Autism Diagnostic Observation Schedule – Second Edition (ADOS-2 ; Lord et al., 2012) et l'Autism Diagnostic Interview – Revised (ADI-R ; Rutter et al., 2003). Les informations issues de ces bilans ont été recueillies lorsqu'elles étaient disponibles (âge diagnostic, scores ADOS et ADI-R, présence d'un retard de langage) lors de l'entretien initial. Elles ont cependant été trop peu nombreuses pour être analysées.

En raison des implications neurobiologiques susceptibles d'influencer les processus cognitifs et les mécanismes de traitement visuospatial, le sexe biologique des participants plutôt que leur genre a été pris en compte.

Méthodologie générale

Un participant du groupe NT a été exclu du fait d'un score AQ trop élevé et les données de 2 participants TSA ont été retirées car les passations ont été stoppées pour cause de fatigue importante. Ainsi, l'échantillon final considéré pour les analyses comportait 22 adultes TSA et 29 adultes NT. L'âge, le sexe et le niveau d'étude étaient globalement comparables entre les groupes (voir Tableau 1).

Tableau 1. Description socio-démographique des échantillons expérimentaux

	TSA (n=22)	NT (n=29)
Age	$M = 26.6$ ans ; $SD = 5.92$	$M = 25.3$ ans ; $SD = 5.44$
Sexe	40.9% de femmes	51.7% de femmes
Niveau d'étude	(1) = 1 (2) = 11 (3) = 3 (4) = 8 (5) = 6	(1) = 1 (2) = 9 (3) = 3 (4) = 5 (5) = 4

Note. Le niveau d'étude a été catégorisé selon six niveaux correspondant au système éducatif français : (1) CAP/BEP ; (2) Baccalauréat / Brevet professionnel ; (3) Bac+2 : DEUG, BTS, DUT, DEUST ; (4) Bac+3 : Licence, Licence LMD, Licence professionnelle ; (5) Bac+5 : Master, DEA, DESS, diplôme d'ingénieur.

Procédure générale

Le recrutement des participants a été réalisé à l'aide des réseaux sociaux, d'associations spécialisées dans le TSA et de réseaux personnels ou professionnels. Les participants ont donné leur consentement libre et éclairé pour la participation à ce protocole de recherche. Un entretien préliminaire permettait de recueillir les informations sociodémographiques de tous les participants (âge, sexe, niveau d'étude) ainsi que les informations relatives au diagnostic pour les personnes autistes. Ils ont été invités à compléter en ligne quatre questionnaires, administrés via la plateforme sécurisée LimeSurvey. La passation expérimentale s'est ensuite déroulée soit en laboratoire au sein de la plateforme CCU (Comportement, Cognition et Usages) sur le site de l'Université Jean Jaurès de Toulouse, soit à leur domicile, dans un environnement calme et

Méthodologie générale

sans distraction extérieure. La phase expérimentale commençait systématiquement par une évaluation de l'acuité visuelle afin de s'assurer de l'absence de déficience visuelle non corrigée. Elle était suivie d'un test de dextérité motrice réalisé dans le but d'investiguer l'influence de cette variable sur la performance aux tâches impliquant la motricité manuelle. Les quatre tâches visuospatiales étaient ensuite administrées dans un ordre randomisé (avec port d'un dispositif eye-tracking) et la session se terminait par la complétion de deux subtests verbaux issus de l'échelle de Wechsler, afin d'investiguer le lien entre le niveau verbal et visuospatial.

Chaque session durait entre 2 et 3 heures selon le rythme des participants, en tenant compte des temps de pause qui étaient régulièrement proposés. Tous les participants ont été remerciés pour leur participation à l'aide d'un bon cadeau d'une valeur de 20 euros.

Description des questionnaires d'auto-évaluation

Quotient Autistique

Le Quotient Autistique (AQ) est un questionnaire auto-administré développé par Baron-Cohen et al. (2001) dans le but d'évaluer la présence de traits autistiques chez l'adulte. Il comprend 50 items, répartis en cinq dimensions : compétences sociales, communication, imagination, attention aux détails et attention switching (flexibilité mentale). Chaque item est présenté sous forme d'affirmation, à laquelle le participant doit répondre sur une échelle de type Likert à quatre niveaux (« tout à fait d'accord » à « tout à fait en désaccord »). Selon la nature de l'item, la réponse vaut 0 ou 1 point (items inversés) résultant en un score total compris entre 0 et 50. Un score élevé est indicateur d'un niveau élevé de traits autistiques et un score supérieur ou égal à 32 (cut-off) est considéré comme potentiellement associé à la présence d'un TSA. Il ne s'agit pas d'un outil diagnostic mais il est couramment utilisé en recherche pour estimer l'expression des traits de personnalité autistique dans la population générale ou clinique.

Quotient de Systématisation

Le Quotient de Systématisation (SQ) est un questionnaire également auto-administré développé par Baron-Cohen et al. (2003) et révisé par Wheelwright et al. (SQ-R; 2006) dans le but d'évaluer la propension des individus à systématiser l'information sous forme de règles ou de schémas et d'en extraire des régularités. La version révisée utilisée dans ce protocole comprend 75 items présentés sous forme d'affirmations auxquelles le participant doit répondre sur une

Méthodologie générale

échelle de type Likert en quatre points de « tout à fait d'accord » à « tout à fait en désaccord ». Chaque réponse est cotée 0, 1 ou 2 points selon la nature de l'item (items inversés). Le score total est ainsi compris entre 0 et 150. Un score élevé est interprété comme une forte propension à la systématisation, caractéristique cognitive souvent associée aux profils autistiques, bien que présente de façon variable dans la population générale.

Profil Sensoriel

Le Profil Sensoriel de Dunn (1999) pour adulte est un questionnaire conçu pour évaluer la sensibilité sensorielle d'un individu dans la vie quotidienne. Il permet de mesurer comment une personne perçoit, réagit et s'adapte aux stimulations de différentes modalités sensorielles (visuelles, auditives, tactiles, etc.). Le questionnaire comprend 60 items pour lesquels il est demandé d'indiquer la fréquence de comportements sensoriels sur une échelle de type Likert à 5 points, allant de « presque jamais » à « presque toujours ». Chaque item est coté de 1 à 5 points en fonction de la fréquence du comportement observé. Les réponses sont regroupées en quatre profils sensoriels distincts (quadrants) correspondants à la sensibilité sensorielle, l'évitement des sensations, la recherche sensorielle et l'enregistrement faible. Le score global (compris entre 60 et 300) et les scores de chaque quadrant permettent d'indiquer des tendances ou des difficultés dans les expériences sensorielles.

Questionnaire d'Imagerie Objet-Spatial et Verbal

L'OSIVQ (Object-Spatial Imagery and Verbal Questionnaire) est un questionnaire permettant d'évaluer le style cognitif dans le traitement de l'information (Blajenkova et al., 2009). Il vise à mesurer la préférence d'une personne pour trois modes distincts de représentation mentale parmi le style visuel-objet (imagerie détaillée et picturale), le style visuel-spatial (traitement des distances et des mouvements) et le style verbal (basé sur les mots et le langage). La version française du questionnaire utilisée dans ce protocole (Bled et Bouvet, 2021) comprend 34 items, répartis en trois sous-échelles correspondant aux trois styles cognitifs mentionnés (14 items pour visuel-objet, 11 items pour visuel-spatial et 9 items pour le verbal). Les participants répondent à chaque affirmation sur une échelle de type Likert à 5 points allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord » où chaque item est coté de 1 à 5 en fonction de la réponse donnée. Ainsi, le score de la dimension visuel-objet est compris entre 14 et 70, celui de la dimension visuel-spatial entre 11 et 55 et celui de la dimension verbale entre 9 et 45.

Méthodologie générale

Description des tests préliminaires

Acuité visuelle

L'acuité visuelle des participants a été évaluée à l'aide de l'échelle de Monoyer (3M), conformément aux standards cliniques. Chaque participant était assis sur une chaise, à une distance de trois mètres d'une planche murale affichant dix lignes de lettres capitales, de taille décroissante. Les participants devaient commencer par lire la ligne du bas, où les lettres sont les plus grandes, et poursuivre vers le haut. La taille des caractères diminuait progressivement, chaque ligne correspondant à un niveau d'acuité visuelle croissant, allant donc de 1/10 à 10/10. Le score retenu correspondait à la dernière ligne entièrement lue sans faute.



Figure 11. *Planche de Monoyer pour l'évaluation de l'acuité visuelle*

Méthodologie générale

Dextérité manuelle

La dextérité fine et la coordination bimanuelle des participants ont été évaluées à l'aide du Purdue Pegboard Test (Tiffin & Asher, 1948), un outil standardisé largement utilisé pour mesurer les habiletés motrices manuelles. L'appareil se compose d'une planche verticale percée de deux rangées parallèles de petits trous, et d'un plateau contenant des tiges métalliques, des colliers et des rondelles.



Figure 12. *Illustration du matériel du test Purdue Pegboard*

Le test comprend quatre sous-épreuves chronométrées :

- Insertion du plus grand nombre possible de tiges avec la main dominante (30 secondes)
- Avec la main non dominante (30 secondes)
- Avec les deux mains simultanément (30 secondes)
- Assemblage de séquences composées d'une tige, d'un collier, et de rondelles avec les deux mains (60 secondes)

Pour chaque sous-épreuve, le nombre d'insertions ou d'assemblages correctement réalisés donnait le score. Un score global était ensuite calculé en additionnant les résultats des quatre conditions. Cette mesure permettait de contrôler d'éventuelles différences de dextérité motrice susceptibles d'influencer les performances dans des tâches telles que celle des Cubes de Kohs.

Méthodologie générale

Description des outils d'évaluation verbale

Similitudes

Le subtest Similitudes est issu de l'échelle d'intelligence de Wechsler (WAIS-IV ; Wechsler, 2008). Il comporte 18 items sous forme de paires de mots présenté oralement par l'expérimentateur et pour lesquelles le participant doit expliquer en quoi les deux termes sont similaires, en quoi ils se ressemblent. Conformément aux directives de standardisation pour les adultes, l'épreuve débutait à l'item 4. Les réponses étaient évaluées selon une grille de cotation standardisée qui attribuait 0, 1 ou 2 points en fonction de la qualité et de la pertinence de la réponse. Le score brut maximal était de 36 points et ce score était converti en score standardisé (compris entre 0 à 19) en fonction de l'âge des participants. Pour les participants du groupe TSA, le score était simplement relevé si un bilan cognitif comprenant ce test avait été réalisé dans les 2 ans avant la participation à l'étude.

Vocabulaire

Le subtest Vocabulaire est également issu de l'échelle d'intelligence de Wechsler (WAIS-IV ; Wechsler, 2008). Cette épreuve comprend 30 items, administrés oralement, pour lesquels le participant devait fournir une définition verbale du mot présenté. Conformément aux consignes de passation pour les adultes, la tâche débutait à l'item 5. Les réponses étaient notées selon une grille de cotation préétablie, permettant d'attribuer 0, 1 ou 2 points en fonction de la validité, de la pertinence et du niveau d'élaboration de la définition fournie. Le score brut maximal était de 57 points, et était ensuite converti en score standardisé en fonction de l'âge du participant (compris entre 0 et 19), selon les normes établies dans le manuel de la WAIS-IV. Comme pour le subtest Similitudes, le score était relevé si un bilan cognitif comprenant ce test avait été réalisé dans les 2 ans avant la participation à l'étude pour les participants TSA.

Description des tâches visuospatiales

Matrices Progressives de Raven - version standard

Les Matrices progressives de Raven en version standard (SPM ; Raven & Raven, 2003) constituent un test d'intelligence non verbale évaluant le raisonnement analogique. L'épreuve

Méthodologie générale

comprend 60 items, répartis en cinq séries (A à E) de 12 items chacune, avec une difficulté croissante au sein de chaque série et entre séries consécutives. Pour chaque item, une matrice de motifs visuels de type 3×3 , dans laquelle l'un des éléments est manquant, est présentée. Les participants doivent choisir, parmi plusieurs options, le motif visuel qui complète correctement la série selon une règle logique implicite. Le premier item de l'outil a permis de s'assurer de la bonne compréhension des consignes. Les réponses étaient données oralement, et ils avaient la possibilité de se corriger s'ils le souhaitaient. Chaque bonne réponse rapportait un point, pour un score total compris entre 0 et 60. Ce test a été administré sans limite de temps, selon les conditions standard énoncées dans le manuel de l'outil.

Cubes de Kohs

La tâche des Cubes de Kohs est un subtest de l'échelle d'intelligence de Wechsler (WAIS-IV ; Wechsler, 2008) qui vise à évaluer les capacités visuospatiales, de planification et de coordination visuomotrice. Les participants doivent reproduire des figures géométriques abstraites à l'aide de cubes à six faces, dont deux sont entièrement rouges, deux entièrement blanches et deux divisées en diagonale en rouge et blanc. Conformément aux procédures cliniques standard pour les adultes, l'épreuve commençait à l'item 5 et se poursuivait jusqu'à l'item 14, sauf en cas de deux échecs consécutifs qui entraînaient l'arrêt de la tâche. Les six premiers items (5 à 10) impliquaient la reproduction de motifs composés de quatre cubes, dans une limite de 60 secondes par item. Les quatre derniers items (11 à 14) nécessitaient la construction de motifs plus complexes composés de neuf cubes, dans une limite de 120 secondes. Le score brut total prenait en compte la validité de la construction et le temps de résolution (score bonifié). Ce score était ensuite converti en note standardisée (comprise entre 0 et 19), en fonction de l'âge des participants, selon les normes issues du manuel de cotation de la WAIS-IV.

Figures enchevêtrées

La tâche des figures encastrées a été administrée à l'aide de la version GEFT – Group Embedded Figures Test (Witkin et al., 1971), largement utilisé pour évaluer les capacités perceptives. L'épreuve se compose de 25 items, répartis en trois parties (7, 9 et 9 items respectivement), chacune devant être complétée dans un temps limité de 5 minutes. Pour chaque item, les participants devaient retrouver une forme géométrique simple imbriquée dans une forme complexe, où elle était dissimulée par un enchevêtrement de lignes. À l'aide d'un feutre

Méthodologie générale

de couleur, les participants devaient tracer les contours ou hachurer pour indiquer la localisation de la figure cible. S'ils souhaitaient corriger leur tracé, un feutre d'une autre couleur était mis à leur disposition et seul le tracé de cette couleur était pris en considération. Chaque réponse correcte équivalait à un point, pour un score total compris entre 0 et 25.

Test de rotation mentale

Le test de rotation mentale (Mental Rotation Test, MRT ; Vandenberg & Kuse, 1978 ; version française : Albaret & Aubert, 1990) est un outil standardisé destiné à évaluer la capacité à manipuler mentalement des objets tridimensionnels dans l'espace. L'épreuve comprenait 20 items, répartis en deux séries de 10 items limitées chacune à 3 minutes. Pour chaque item, une figure cible accompagnée de quatre figures « réponse » étaient présentées. Le participant devait identifier les deux figures identiques au modèle parmi les quatre propositions de réponse après une rotation dans l'espace, les deux autres étant des structures différentes ou similaires mais inversées (« en miroir »). Les réponses étaient données au crayon directement sur le livret. La cotation était dite négative et chaque item pouvait rapporter 0 (une réponse correcte et une incorrecte, ou deux réponses incorrectes), 1 (une seule réponse donnée et correcte) ou 2 points (deux réponses correctes), pour un score total allant de 0 à 40.

Description du dispositif d'oculométrie

Les mouvements oculaires des participants ont été enregistrés à l'aide de lunettes d'eye-tracking mobiles SMI ETG 2w (version 2.6 ; SensoMotoric Instruments), un dispositif non invasif adapté aux conditions expérimentales proches des évaluations cliniques. Durant la réalisation de chaque tâche visuospatiale, il était connecté à un ordinateur via le logiciel iView ETG. Ces outils permettaient d'une part de filmer la scène visuelle observée par le participant, et d'autre part d'enregistrer la position du regard grâce à des caméras infrarouges binoculaires. La fréquence d'échantillonnage était d'environ 60 Hz, soit une image toutes les 16 millisecondes. Le dispositif était compatible avec le port de lentilles de contact ou de verres correcteurs allant jusqu'à ± 4 dioptries. Avant le début de chaque session, une calibration en trois points était effectuée pour garantir la précision de l'enregistrement du regard.

Les données brutes recueillies ont été traitées grâce au logiciel BeGaze 3.7 (SensoMotoric Instruments). L'outil « Semantic Gaze Mapping » permettait d'associer manuellement les

Méthodologie générale

fixations oculaires aux zones d'intérêt (AOIs) définies sur des images de référence représentant chaque stimuli (item), une étape essentielle en raison des mouvements de tête des participants qui engendrait une scène visuelle dynamique. Une correction « offset » était appliquée après acquisition si nécessaire, afin de compenser de possibles décalages dans l'alignement du regard (Holmqvist et al., 2012). Les données ont été retirées des analyses lorsque le signal était inférieur à 60% du temps d'enregistrement des items (retrait de l'item), et pour les participants si plus de la moitié des items étaient de mauvaise qualité (retrait du participant).

Deux AOIs principales étaient définies pour chaque item des tâches analysées : la zone du modèle et la zone de réponse. Les analyses ont porté sur des variables telles que le temps de résolution de chaque item (durée entre le premier regard sur le stimulus et la réponse finale), le pourcentage de temps d'exploration passé dans chaque AOI, ainsi que le nombre de transitions du regard entre ces zones. Un score composite a également été calculé pour quantifier la stratégie visuelle des participants en combinant ces indicateurs. L'objectif était de refléter quantitativement la tendance stratégique en fonction de stratégies préalablement identifiées dans la littérature.

Introduction aux études

Ce manuscrit de thèse contient 4 études distinctes qui ont majoritairement fait l'objet de communications, lors de congrès ou dans des revues nationales et internationales.

L'étude 1, qui vise à évaluer l'hétérogénéité des capacités visuospatiales chez les personnes autistes, a été soumise pour publication dans le *Bulletin scientifique de l'ARAPI* (Association pour la Recherche sur l'Autisme et la Prévention des Inadaptations). Les résultats ont également été présentés sous forme de poster (voir hal-04733991 ou annexes) ainsi que dans le cadre d'une communication orale de type « 180 secondes » lors de la 17^{ème} Université d'Automne de l'ARAPI, qui s'est tenue en octobre 2024 au Croisic (France).

L'étude complémentaire à l'étude 1 a pour objectif d'investiguer les caractéristiques cognitives comme piste d'explication de l'hétérogénéité. Les résultats préliminaires de cette étude ont été présentés sous forme de poster (voir hal-04366737 ou annexes) lors du 3^{ème} Colloque de l'AFNA (Association Française de Neuropsychologie de l'Autisme) qui s'est déroulé en juin 2022 à Toulouse (France). Ils ont également fait l'objet d'une communication orale (symposium ; voir hal-04718472) lors des XXVe Journées Internationales de Psychologie Différentielle organisées à Rennes (France) en juillet 2024.

Les études 2 et 3 emploient l'eye-tracking afin d'évaluer les stratégies d'exploration visuelle aux Matrices de Raven en population neurotypique (étude 2) et autiste (étude 3). Elles ont respectivement été soumises pour publication dans les revues internationales *Methods in Psychology* et *Research in Autism*. L'étude 3 a également fait l'objet d'un poster (voir annexes) présenté lors du 4^{ème} Colloque de l'AFNA qui a eu lieu en juin 2025 à Strasbourg (France).

De la même façon, l'étude 4 qui investigue les stratégies d'exploration visuelle aux Cubes de Kohs dans l'autisme sera soumise pour publication auprès d'une revue internationale dans les prochaines semaines.

Bien que les études présentées dans ce manuscrit de thèse aient découlé d'un protocole expérimental commun, il est important de noter que les échantillons expérimentaux considérés ne sont pas toujours les mêmes d'une étude à l'autre. Certains participants ont parfois dû être exclus en raison de données manquantes ou de mauvaise qualité (si perte de signal trop importante en eye tracking par exemple).

Étude 1

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

A. DIU, L. BOUVET, M. BATTY

Accepté pour publication au Bulletin Scientifique de l'ARAPI
(Parution en décembre 2025)

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

Résumé

Les capacités visuospatiales ont été décrites comme préservées voire supérieures dans l'autisme et associées à une large hétérogénéité (Muth et al., 2014). Cependant, la performance relative d'une tâche visuospatiale à une autre n'a pas été explorée ce qui empêche de rendre compte de la variabilité intra individuelle dans ce domaine. Dans cette étude, quatre tâches visuospatiales (Matrices de Raven, cubes de Kohs, figures encastrées, test de rotation mentale) ont été réalisées par des adultes autistes (n=22) et neurotypiques (n=29). Des scores supérieurs aux Cubes de Kohs sont retrouvés dans le groupe autiste sans qu'aucune différence significative ne soit relevée pour les scores des autres tests. Les analyses corrélationnelles effectuées entre les différents scores indiquent une constance de performance dans le groupe neurotypique mais des profils plus hétérogènes dans le groupe autiste. Bien que ces résultats confirment des habiletés visuospatiales préservées dans l'autisme, ils nuancent les précédents résultats et spécifient une supériorité de résultats seulement pour les Cubes de Kohs. Ces résultats suggèrent également le recours à des processus cognitifs distincts pour la résolution des tâches visuospatiales dans la population autiste.

Mots-clés : autisme, visuospatial, variabilité, cognition

Introduction

Bien que le trouble du spectre de l'autisme se caractérise majoritairement par des difficultés d'ordre social, de plus en plus de recherches mettent aussi en avant un profil cognitif particulier, avec des capacités préservées voire supérieures dans certains domaines (Mottron et al., 2006). C'est, par exemple, le cas des capacités visuo-spatiales qui correspondent aux habiletés de traitement de l'information visuelle et spatiale (Trojano et al., 2018) qui ont été décrites comme supérieures dans l'autisme depuis les premières études sur l'intelligence dans cette population (Lee et al., 2007; Mitchell & Ropar, 2004; Shah & Frith, 1993). Certains auteurs ont pour autant contesté ce résultat en indiquant observer des habiletés similaires à celles de la population générale dans l'autisme (Bölte et al., 2007; Manjaly et al., 2007; White & Saldaña, 2011). Plusieurs tâches sont typiquement utilisées pour évaluer ces capacités et peuvent servir d'indicateurs dans l'évaluation diagnostique. C'est notamment le cas des tâches de figures encastrées, de rotation mentale, des cubes de Kohs ou bien encore des matrices de Raven, qui impliquent des fonctions cognitives distinctes et ont chacune leurs spécificités.

Dans la tâche des figures encastrées (Witkin, 1971), des formes complexes composées de lignes avec des formes géométriques intégrées telles que des triangles ou des rectangles sont présentées. Le participant doit localiser le plus rapidement possible une forme cible simple dans chacune des grandes figures. La tâche des cubes est un subtest de QI de performance qui est inclus dans les échelles de Wechsler pour adultes (WAIS-IV; Wechsler, 2008) et pour enfants (WISC-V; Wechsler, 2014). Le participant reçoit un nombre déterminé de cubes ayant des faces blanches, rouges et/ou des faces à moitié blanche et moitié rouge. La tâche consiste à utiliser ces cubes pour recréer le modèle présenté sous forme d'un motif bidimensionnel. Dans la tâche de rotation mentale développée par Vandenberg et Kuse (1978) et inspirée de celle de Shepard et Metzler (1971), une image bidimensionnelle représentant une structure géométrique tridimensionnelle est présentée aux participants comme modèle. Parmi quatre figures, ils doivent retrouver quelles sont les deux figures ayant subi une rotation dans l'espace et étant identiques au modèle. Pour finir, la tâche des Matrices progressives de Raven (Raven & Raven, 2003) est un test non verbal d'intelligence générale (raisonnement analogique) dans lequel des séries de figures sont présentées sous forme de matrice mathématique et où une des figures est manquante. Le participant doit alors trouver la figure manquante qui respecte une règle logique parmi différentes figures proposées. Si ces différents outils permettent d'évaluer les capacités visuo-spatiales, ils requièrent chacun des habiletés spécifiques. Les tâches de rotation mentale et des cubes de Kohs requièrent par exemple une manipulation mentale de l'information

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

visuelle et font appel à de l'imagerie mentale (Stevenson & Gernsbacher, 2013), la tâche des figures encastrées fait appel à de la discrimination visuelle et les matrices de Raven reposent majoritairement sur du raisonnement analogique.

Depuis le début des années 2000, un certain nombre d'études a employé ces différentes tâches pour évaluer le niveau d'habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme. Une méta-analyse de celles-ci a mis en évidence une large variabilité dans les résultats obtenus pour certaines de ces tâches, notamment les cubes de Kohs, les figures encastrées et le test de rotation mentale (Muth et al., 2014). Elle indique que les capacités visuospatiales sont préservées voire améliorées chez les personnes autistes et nuance ainsi à nouveau l'hypothèse de capacités strictement supérieures. Par ailleurs, celle-ci souligne la grande variabilité des résultats qui, selon les auteurs, est susceptible de provenir de la large hétérogénéité interindividuelle retrouvée dans l'autisme et de différences d'échantillonnages entre les protocoles de recherche. La variation de l'âge ou du quotient intellectuel d'un groupe expérimental à l'autre pourrait par exemple expliquer l'absence de consensus dans les résultats des études puisque ces facteurs peuvent impacter le niveau de performances (Muth et al., 2014). Concernant les Matrices de Raven, il est également fait état de performances préservées (Meilleur et al., 2014; Morsanyi & Holyoak, 2010; Yamada et al., 2012) voire supérieures chez les personnes autistes. En effet, malgré l'absence de différences de scores, de meilleurs temps de résolution ont parfois pu être observés (Simard et al., 2015; Soulières et al., 2009). D'autres études ayant spécifiquement porté sur des personnes diagnostiquées avec un Syndrome Asperger ont, elles, montré des scores plus importants que chez les personnes neurotypiques (Hayashi et al., 2008).

Ces précédents travaux enrichissent les connaissances sur le traitement de l'information visuelle et spatiale chez les personnes autistes et soulignent à nouveau la variabilité interindividuelle qui y est présente. Cependant, ces travaux investiguent de façon indépendante chacune des tâches, ils n'adressent donc pas la question de la variabilité de performance entre les différentes tâches visuospatiales et ne permettent pas d'appréhender le versant visuospatial dans un contexte plus général. Ainsi, l'objectif principal de cette étude est d'explorer la variabilité des performances au travers de quatre tâches visuospatiales couramment décrites dans la littérature. Cette variabilité sera évaluée à différents niveaux : entre les groupes (autiste et neurotypique) pour confirmer les précédents résultats ; entre les individus pour appréhender l'hétérogénéité de performances dans les deux groupes ; entre les tâches pour étudier la constance de performance des individus d'une tâche à l'autre. Concernant les hypothèses, nous nous attendons à des performances similaires ou supérieures dans le groupe autiste ainsi qu'à la

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

présence d'une variabilité plus importante. Les tâches ciblées étant toutes des tâches visuospatiales, nous nous attendons à ce que les performances entre chacune soient corrélées positivement quelle que soit la population.

Matériel et méthode

Participants

Parmi les critères d'inclusion pour cette recherche figuraient un âge compris entre 18 et 40 ans, un bon niveau de compréhension de la langue française, l'absence de trouble visuel ou auditif non corrigé et l'absence d'une déficience intellectuelle. Tous les participants autistes recrutés avaient un diagnostic de trouble de spectre de l'autisme selon le DSM-5. À l'inverse, la présence de tout diagnostic relatif à un trouble neurodéveloppemental était un critère d'exclusion pour les participants neurotypiques. Les données de deux participants autistes n'ont pas été conservées car certaines tâches étaient trop coûteuses (fatigue) et que les passations ont été stoppées.

Au total, 51 participants ont pris part à l'étude. Ils étaient âgés en moyenne de 25.9 ans ($ET = 5.63$, [18-40]) et répartis en deux groupes, autiste (aut, $n=22$) et neurotypique (nt, $n=29$) appariés en âge ($M_{aut} = 26.6$ ans et $M_{nt} = 25.3$ ans ; $U = 278$, $p = .434$), en genre (aut = 41% et nt = 51% de femmes), en niveau d'étude et en habiletés verbales avec les subtests de la WAIS: Vocabulaire ($M_{aut} = 13.2$ et $M_{nt} = 13.4$; $U = 314$, $p = .924$) et Similitudes ($M_{aut} = 14.8$ et $M_{nt} = 14.4$; $U = 292$, $p = .602$). Le recrutement a été réalisé via les réseaux sociaux et la distribution de flyers sur le campus de l'Université Jean-Jaurès de Toulouse.

Matériel

Le test de rotation mentale (MRT; Vandenberg & Kuse, 1978; version française par Albaret & Aubert, 1990) est un test qui mesure la capacité de manipulation mentale d'une image tridimensionnelle dans l'espace. Chaque item correspond à un modèle et quatre figures parmi lesquelles le participant doit indiquer les deux figures identiques au modèle après rotation dans l'espace. Ce test comprend 20 items répartis en deux parties de 10 items à compléter en 3 minutes chacune. Chaque item est noté 0, 1 ou 2 points et le score est compris entre 0 et 40. Dans la tâche des figures encastrées (EFT; Witkin, 1971), la consigne est de retrouver une forme simple imbriquée dans une forme plus complexe et de l'indiquer à l'aide d'un crayon. Elle

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

comporte 25 items présentés en 3 parties de 7, 9 et 9 items, chacune limitée à 5 minutes. Une bonne réponse valant 1 point, le score est compris entre 0 et 25.

Les Matrices Progressives de Raven en version Standard (Raven & Raven, 2003) est un test de raisonnement analogique qui comprend 60 items. La consigne est de compléter une série ou suite logique à l'aide d'une des propositions de réponses. Une bonne réponse vaut 1 point et score est donc compris entre 0 et 60. Dans cette version, aucune limite de temps n'est imposée. Les Cubes de Kohs est un subtest de l'échelle de l'intelligence de Wechsler pour l'adulte (WAIS-IV; Wechsler, 2008) dans lequel la consigne est de reconstituer un motif bidimensionnel à l'aide de cubes ayant différentes faces. Le temps de résolution de chacun des 14 items influence sa notation et la note brute finale qui est convertie en note standard en fonction de l'âge du sujet.

Les subtests Similitudes et Vocabulaire des échelles WAIS-IV (Wechsler, 2008) permettent d'évaluer les habiletés verbales. Ils se composent respectivement de 18 et 30 items. Les notes brutes (36 et 57 au maximum) sont standardisées en fonction de l'âge des sujets en notes standard allant de 0 à 19.

Procédure

Après avoir recueilli le consentement libre et éclairé, l'acuité visuelle était vérifiée à l'aide de l'échelle de Monoyer 3M puis les tâches visuospatiales et verbales ont été proposées. L'ordre de présentation des tâches visuospatiales a été randomisé. Si un bilan cognitif datant de moins de 2 ans était disponible, les notes des subtests Vocabulaire et Similitudes étaient relevés sans être réalisés à nouveau. À titre informatif, un dispositif eye-tracking mobile, permettant d'enregistrer les mouvements oculaires pendant la réalisation des différentes tâches dans leur version originale (papier ou papier-crayon) a été utilisé afin d'identifier les stratégies d'exploration visuelle utilisées (ces données ne seront pas présentées ici). Des pauses étaient régulièrement proposées entre les tâches et le rendez-vous durait environ 2 heures et 30 min. Les participants ont reçu un bon cadeau d'une valeur de 20€ pour leur participation. Cette étude a été menée dans le cadre d'un projet de recherche qui a reçu l'approbation du comité d'éthique de l'Université de Toulouse (#2021-446) et est en conformité avec le RGPD.

Analyses statistiques

Les données de deux participants neurotypiques n'ont pas été exploitables pour deux tâches distinctes (Matrices de Raven et figures encastrées) en raison de problèmes techniques rencontrés lors de leur réalisation. Ainsi, les analyses comparatives ont porté sur 22 sujets

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

autistes et 28 ou 29 sujets neurotypiques selon les tâches. Les analyses corrélationnelles ont quant à elles porté sur 22 sujets autistes et 27 sujets neurotypiques.

La majorité des variables de l'échantillon ne suivant pas une distribution normale, des analyses non paramétriques ont été utilisées. Le niveau de performance (score et temps de résolution) des groupes ont été comparés à l'aide de tests de Mann-Whitney U puis des corrélations de Spearman ont été effectuées afin d'évaluer la constance des scores obtenus par les participants entre les différentes tâches. Ces analyses ont été effectuées de façon indépendante dans chaque groupe expérimental.

Les analyses statistiques ainsi que la représentation graphique des résultats ont été réalisées à l'aide du logiciel Jamovi (version 2.6.17.0).

Résultats

Les analyses descriptives des scores obtenus aux quatre tâches visuospatiales par les participants des deux groupes et les analyses comparatives inter-groupes sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. *Tableau descriptif des scores obtenus aux tâches visuospatiales dans les groupes autiste et neurotypique*

	Autiste	Neurotypique
Matrices de Raven	$M = 52.2 ; ET = 4.25$ [42-58]	$M = 49.9 ; ET = 5.17$ [41-60]
Cubes de Kohs	$M = 11.5 ; ET = 3.05$ [6-18]	$M = 9.7 ; ET = 5.17$ [5-18]
Figures encastrées	$M = 21.8 ; ET = 3.49$ [13-25]	$M = 21.1 ; ET = 3.33$ [12-25]
Test de Rotation mentale	$M = 16.6 ; ET = 9.15$ [3-40]	$M = 18.5 ; ET = 9.46$ [5-39]

Note. Les données présentées correspondent aux moyennes (M), à l'écart-type (ET) ainsi qu'aux valeurs minimales et maximales [min-max] des scores obtenus.

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

Les résultats des analyses comparatives (voir Figure 1) mettent en évidence l'absence de différences significatives entre les scores des groupes concernant les figures encastrées ($U = 258, p = .324$) et le test de rotation mentale ($U = 283, p = .499$). Des scores supérieurs sont observés dans la tâche des Cubes de Kohs ($U = 212, p = .042$) dans le groupe autiste comparativement au groupe neurotypique. Cependant, seule une tendance vers de meilleurs scores dans ce groupe est observée concernant les Matrices de Raven ($U = 218, p = .078$). Les temps de résolution se sont avérés similaires entre les deux groupes puisque aucune différence significative n'a été observée pour les Figures encastrées ($U = 282, p = .611$), le Test de rotation mentale ($U = 299, p = .567$) et les Matrices de Raven ($U = 218, p = .079$).

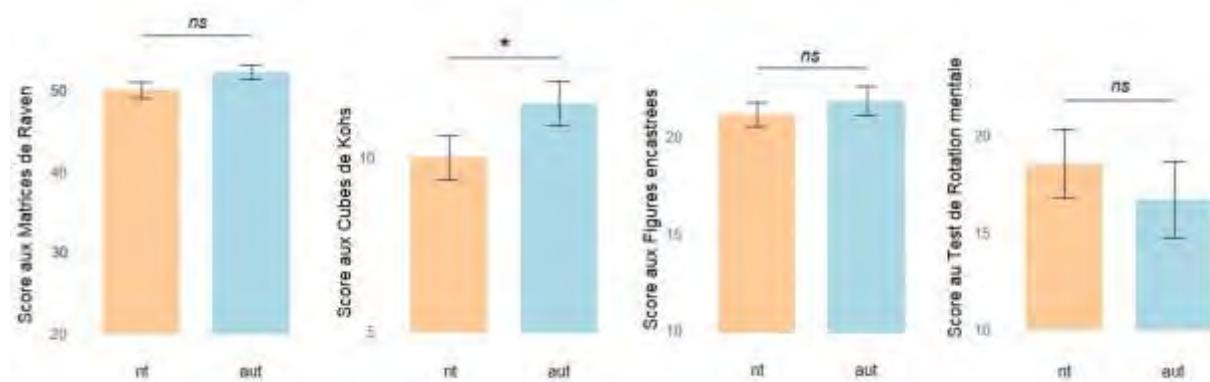


Figure 1. Graphiques représentant les scores obtenus à chaque tâche pour les groupes autiste et neurotypique

Note. La significativité des résultats des analyses (Mann-Whitney) est indiquée sur les graphiques pour chacune des tâches ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, ns pour non significatif).

Les résultats des analyses de corrélation évaluant le lien entre les performances d'une tâche visuospatiale à l'autre dans les deux groupes sont illustrés en Figure 2. Au sein du groupe neurotypique et comme attendu, les corrélations de Spearman indiquent des corrélations positives multiples entre les scores des différentes tâches malgré des scores au Test de rotation mentale et aux Matrices de Raven qui ne sont pas corrélés ($\rho = 0.08, p = .684$). Ce résultat suggère que lorsqu'un sujet réussi l'une des tâches visuospatiales, il a également tendance à réussir aux autres tâches et inversement. Ainsi, malgré un niveau de performance variable d'un individu à l'autre, les profils de performance semblent globalement constants d'une tâche visuospatiale à l'autre pour les sujets neurotypiques.

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

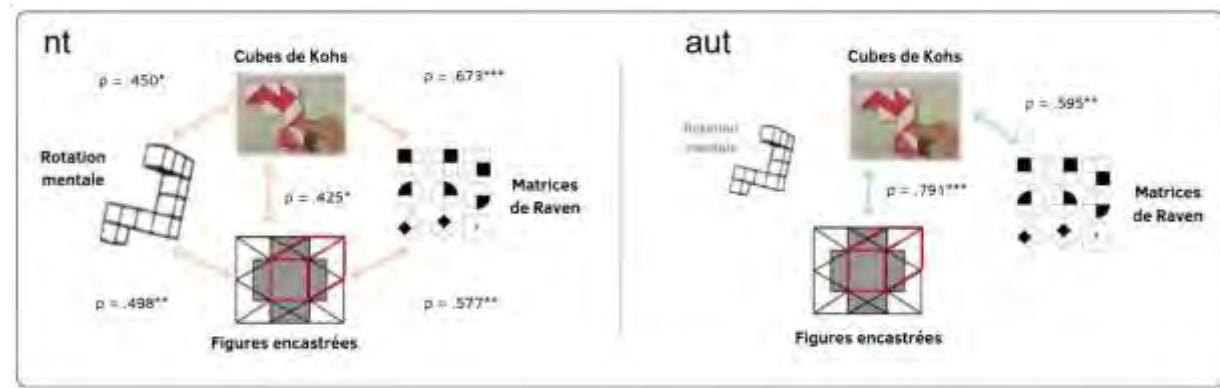


Figure 2. Illustration des corrélations dans le groupe neurotypique (nt) et autiste (aut)

Note. Les résultats des corrélations de Spearman indiqués sur l'illustration correspondent à la valeur de rho (notée ρ) et à la significativité ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$).

Les résultats des analyses corrélationnelles entre les différents scores dans le groupe autiste diffèrent de ceux observés en population neurotypique. Les scores aux Cubes de Kohs corrèlent positivement à ceux des Matrices de Raven ($\rho = 0.595, p = .004$) et à ceux des figures encastrées ($\rho = 0.791, p < .001$) et une même tendance est observée entre ces deux dernières tâches ($\rho = 0.412, p = .057$). Cependant, ces analyses mettent en évidence que les scores au Test de rotation mentale ne corrèlent pas avec ceux d'aucune autre tâche. Ce résultat, en partie seulement similaire à celui retrouvé chez les participants neurotypiques, indique donc une variabilité plus importante dans les profils de performance aux tâches visuospatiales chez les personnes autistes.

Discussion

Les habiletés visuospatiales sont sollicitées dans la résolution de nombreuses tâches du quotidien et peuvent être évaluées à l'aide d'outils utilisés couramment en pratique clinique. Les performances à certaines de ces tâches ont pu être évaluées dans le contexte de l'autisme et indiquent des performances préservées ou améliorées selon les études (e.g.: Muth et al., 2014; Soulières et al., 2009). Pour autant, les relations entre les niveaux de performance de ces différentes tâches n'ont pas encore été investiguées. Cette étude vise ainsi à explorer de façon plus générale la variabilité de performances aux tâches visuospatiales, au niveau des groupes et des individus.

Nos résultats mettent en évidence des performances plus élevées dans le groupe autiste pour les Cubes de Kohs et une tendance identique pour les Matrices de Raven. Aucune différence de

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

performances n'est relevée concernant les Figures encastrées et le Test de rotation mentale entre les deux groupes. Ces résultats, cohérents avec la littérature, indiquent donc des performances visuospatiales au moins préservées chez les personnes autistes par rapport à celles des personnes neurotypiques. Ils ne sont pas concordants avec l'hypothèse de performances strictement supérieures qui avait déjà été remise en question à cause de l'hétérogénéité des précédents résultats. Cette variabilité de résultats pourrait s'expliquer par les différences dans la constitution des groupes expérimentaux puisqu'un grand nombre des études a été mené auprès de personnes anciennement diagnostiquées avec un Syndrome Asperger (voir métanalyse de Muth et al., 2014), ce qui a pu mener aux performances améliorées. Aussi, ces études portaient majoritairement sur des personnes de sexe masculin. La constitution de notre groupe expérimental, plus représentatif du spectre aussi bien en termes de niveau de fonctionnement que de sexe, pourrait expliquer les résultats plus nuancés obtenus.

Concernant la variabilité de performance au sein des groupes, des profils de performance distincts sont observés entre les groupes autiste et non autiste. Si la performance est variable dans les deux groupes, avec des individus qui réussissent plus ou moins les tâches, les corrélations effectuées entre les scores des quatre tâches montrent que les profils de performances sont davantage constants chez les personnes neurotypiques que chez les personnes autistes. Une personne neurotypique qui réussit une tâche aura également tendance à réussir aux autres tâches (et inversement) alors que ce n'est globalement pas le cas dans le groupe autiste où les profils diffèrent, principalement en ce qui concerne le test de Rotation mentale. Autrement dit, cela signifie que chez les personnes autistes, un individu peut être bon à cette tâche sans l'être aux trois autres (et inversement). Cela pourrait donc suggérer que les processus impliqués dans les bonnes performances visuospatiales chez les personnes autistes ne sont bénéfiques qu'à certaines tâches ou bien que les personnes autistes sollicitent des mécanismes différents de ceux des personnes neurotypiques pour la résolution de chacune de ces tâches.

Cette étude permet un nouveau regard sur les habiletés visuospatiales dans l'autisme mais reste tout de même soumise à certaines limites. Comme dans les précédentes études, les participants n'offrent pas la pleine représentativité du spectre puisque le protocole expérimental requiert un effort cognitif relativement soutenu. Malgré une meilleure représentativité dans notre étude, nos conclusions ne font donc référence qu'à une partie de la population. Plus spécifiquement et concernant les outils d'évaluation employés, les résultats aux Cubes de Kohs sont à nuancer dans la mesure où cette tâche est souvent réalisée lors du diagnostic. Ainsi, et même si les

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

participants avaient pour la plupart réalisé cette tâche au moins 2 ans avant les expérimentations, nous ne pouvons pas totalement écarter l'hypothèse d'un effet de test-re-test qui résulterait en l'obtention de meilleurs scores pour ce groupe. Enfin, il est nécessaire de prendre en compte que la tâche de Rotation mentale est une tâche limitée dans le temps et que sa cotation est à points négatifs. Les différents profils de performance distingués dans nos résultats pourraient ainsi être expliqués par la plus grande variabilité induite par les caractéristiques de cette tâche.

Pour identifier les causes de cette variabilité, il serait intéressant de caractériser les profils de performances dans de prochaines études, notamment en identifiant les particularités individuelles qui sous-tendent de bonnes habiletés. Premièrement en investiguant le lien entre le niveau de fonctions exécutives telles que l'attention visuelle ou la mémoire de travail car celles-ci interviennent lors de la résolution de ce type de tâches et pourraient fortement favoriser la performance (e.g. Belacchi et al., 2010; Epelboim & Suppes, 2001; Gonthier & Roulin, 2020; Unsworth et al., 2014). D'autres particularités cognitives et sensorielles pourraient également avantagez les personnes autistes lors des tests visuospatiaux. Comme les particularités sensorielles représentent un élément majeur de l'autisme et font parties intégrantes depuis 2013 des critères diagnostiques (APA, 2013), il serait pertinent d'évaluer l'influence de ces particularités du traitement de l'information sensorielle sur les capacités visuo-spatiales. Outre l'aspect sensoriel, il est aussi possible que les habiletés visuospatiales chez les personnes autistes s'inscrivent dans un style cognitif plus général. La forme des pensées ou le style cognitif, décrit par Grandin (2009) comme pouvant être visuel, abstrait ou verbal, pourrait être à l'origine de la variabilité interindividuelle retrouvée. De la même façon, des capacités de systématisation de l'information qui impliquent une préférence accrue pour les systèmes basés sur des modèles ou des règles ont été décrites dans la littérature (Baron-Cohen, 2009) et seraient susceptibles d'influencer le niveau de performance aux tâches visuo-spatiales. Enfin, la piste des stratégies d'exploration visuelle reste à explorer puisque des études en oculométrie ont mis en évidence des stratégies spécifiques chez les personnes autistes, par exemple pour les figures encastrées (Keehn et al., 2009). À l'heure actuelle, il n'existe pas d'études ayant d'une part caractérisé les stratégies d'observation visuelle dans certaines de ces tâches et d'autre part ayant comparé ces stratégies entre les différentes tâches visuo-spatiales réalisées par des individus autistes. De telles études dans cette population pourraient permettre de mieux comprendre les processus sous-jacents aux performances préservées ou supérieures.

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

En conclusion, la présente étude confirme les habiletés visuospatiales préservées voire supérieures dans l'autisme mais nuance l'hypothèse d'habiletés strictement supérieures en comparaison de celles observées en population neurotypique. Elle suggère que les personnes autistes pourraient avoir recours à des processus cognitifs distincts pour la résolution des tâches visuospatiales, notamment en termes de représentation mentale ou de stratégies de résolution. D'autres investigations restent à mener pour investiguer la présence d'un profil cognitif favorable au domaine visuospatial, qui ne serait pas spécifique mais davantage associé à l'autisme, et qui pourrait expliquer les performances parfois améliorées dans cette population. L'apport de connaissances au sujet des profils d'habiletés visuospatiales pourrait permettre de mieux accompagner les personnes autistes, notamment les jeunes dans le milieu scolaire et dans celui de l'apprentissage où le domaine visuospatial est largement sollicité.

Références

- Albaret, J. M., & Aubert, E. (1990). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 206-209, 11.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-V)*. Elsevier Masson.
- Baron-Cohen, S. (2009). Autism: The Empathizing–Systemizing (E-S) Theory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 68-80. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x>
- Belacchi, C., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(7), 1010-1020. <https://doi.org/10.1080/09541440903184617>
- Bölte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt Perception and Local-Global Processing in High-Functioning Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(8), 1493-1504. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0231-x>

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

Epelboim, J., & Suppes, P. (2001). A model of eye movements and visual working memory during problem solving in geometry. *Vision Research*, 41(12), 1561-1574.

[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(00\)00256-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00256-X)

Gonthier, C., & Roulin, J.-L. (2020). Intraindividual strategy shifts in Raven's matrices, and their dependence on working memory capacity and need for cognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(3), 564-579.

<https://doi.org/10.1037/xge0000660>

Grandin, T. (2009). How does visual thinking work in the mind of a person with autism? A personal account. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1522), 1437-1442. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0297>

Hayashi, M., Kato, M., Igarashi, K., & Kashima, H. (2008). Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder. *Brain and Cognition*, 66(3), 306-310.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.09.008>

Keehn, B., Brenner, L. A., Ramos, A. I., Lincoln, A. J., Marshall, S. P., & Müller, R.-A. (2009). Brief Report : Eye-Movement Patterns during an Embedded Figures Test in Children with ASD. *Journal of autism and developmental disorders*, 39(2), 383-387.

<https://doi.org/10.1007/s10803-008-0608-0>

Lee, P. S., Foss-Feig, J., Henderson, J. G., Kenworthy, L. E., Gilotty, L., Gaillard, W. D., & Vaidya, C. J. (2007). Atypical neural substrates of Embedded Figures Task performance in children with Autism Spectrum Disorder. *NeuroImage*, 38(1), 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.013>

Manjaly, Z. M., Bruning, N., Neufang, S., Stephan, K. E., Brieber, S., Marshall, J. C., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Herpertz-Dahlmann, B., Konrad, K., & Fink, G. R. (2007). Neurophysiological correlates of relatively enhanced local visual search in

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

autistic adolescents. *Neuroimage*, 35(1-3), 283-291.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.036>

Meilleur, A.-A. S., Berthiaume, C., Bertone, A., & Mottron, L. (2014). Autism-specific

covariation in perceptual performances : « g » or « p » factor? *PloS One*, 9(8),

e103781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103781>

Mitchell, P., & Ropar, D. (2004). Visuo-spatial abilities in autism : A review. *Infant and*

Child Development, 13(3), 185-198. <https://doi.org/10.1002/icd.348>

Morsanyi, K., & Holyoak, K. J. (2010). Analogical reasoning ability in autistic and typically

developing children. *Developmental Science*, 13(4), 578-587.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00915.x>

Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual

functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal*

of Autism and Developmental Disorders, 36(1), 27-43.

<https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>

Muth, A., Hönekopp, J., & Falter, C. M. (2014). Visuo-Spatial Performance in Autism: A

Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3245-3263.

<https://doi.org/10.1007/s10803-014-2188-5>

Raven, J., & Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Éd.),

Handbook of Nonverbal Assessment (p. 223-237). Springer US.

https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11

Shah, A., & Frith, U. (1993). Why Do Autistic Individuals Show Superior Performance on the

Block Design Task? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(8), 1351-1364.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb02095.x>

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*

(New York, N.Y.), 171(3972), 701-703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

- Simard, I., Luck, D., Mottron, L., Zeffiro, T. A., & Soulières, I. (2015). Autistic fluid intelligence : Increased reliance on visual functional connectivity with diminished modulation of coupling by task difficulty. *NeuroImage: Clinical*, 9, 467-478.
<https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.09.007>
- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Human Brain Mapping*, 30(12), 4082-4107.
<https://doi.org/10.1002/hbm.20831>
- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract Spatial Reasoning as an Autistic Strength. *PLOS ONE*, 8(3), e59329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059329>
- Trojano, L., Siciliano, M., Cristinzio, C., & Grossi, D. (2018). Exploring visuospatial abilities and their contribution to constructional abilities and nonverbal intelligence. *Applied Neuropsychology: Adult*, 25(2), 166-173.
<https://doi.org/10.1080/23279095.2016.1269009>
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence : Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.003>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604.
<https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition (WAIS-IV)*.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler Intelligence Scale for Children, Fifth Edition (WISC-V)*.
- White, S. J., & Saldaña, D. (2011). Performance of Children with Autism on the Embedded Figures Test : A Closer Look at a Popular Task. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(11), 1565-1572. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1182-4>

Variabilité des habiletés visuospatiales dans le contexte de l'autisme

Witkin, H. A. (1971). *Group Embedded Figures Test* [Jeu de données].

<https://doi.org/10.1037/t06471-000>

Yamada, T., Ohta, H., Watanabe, H., Kanai, C., Tani, M., Ohno, T., Takayama, Y., Iwanami,

A., Kato, N., & Hashimoto, R. (2012). Functional alterations in neural substrates of geometric reasoning in adults with high-functioning autism. *PLoS One*, 7(8), e43220.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043220>

Étude complémentaire

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Les résultats de l'étude 1 mettent en évidence une certaine variabilité entre les groupes et les individus. Nous avons souhaité en investiguer l'origine en nous basant sur les pistes explicatives proposées dans la littérature (voir 3.4. de la partie théorique). Cette analyse complémentaire exploratoire avait pour objectif de considérer de façon intégrée les différents facteurs de variabilité relatifs aux facteurs sociodémographiques (âge, sexe, niveau d'étude) et aux facteurs cognitifs (traits autistiques, systématisation de l'information, particularités sensorielles, style cognitif, habiletés verbales). En effet, plusieurs études ont montré des liens entre certaines de ces caractéristiques cognitives associées à l'autisme, notamment les traits autistiques, le niveau de systématisation et la sensibilité sensorielle (e.g. Sapey-Triomphe et al., 2023; Tavassoli et al., 2014; Wheelwright et al., 2006). Toutefois, ces dimensions n'ont jusqu'à présent jamais été considérées simultanément aux côtés d'autres facteurs pertinents comme le style cognitif ou le niveau verbal afin d'investiguer leur influence sur la variabilité des performances visuospatiales. La « co-occurrence » de ces dimensions pourrait refléter un profil cognitif particulier susceptible d'expliquer au moins une partie de l'hétérogénéité observée dans le domaine visuospatial, aussi bien dans l'autisme qu'en population générale.

Ainsi, pour affiner les résultats de l'étude 1, des analyses complémentaires ont été menées en analysant les caractéristiques individuelles des participants de l'étude 1 et leurs influences sur la performance.

Les scores et sous scores aux quatre questionnaires relatifs aux caractéristiques cognitives ainsi que les subtests verbaux des échelles de Wechsler présentés en méthodologie générale ont donc été analysés ici. Pour les analyses statistiques et en raison d'une taille d'échantillon relativement limitée ($N = 51$), l'utilisation de modèles intégrant plusieurs des variables prédictives (type analyse en clusters) n'a pas été retenue, afin d'éviter les risques de surajustement et de faibles puissances statistiques. Ainsi, des tests indépendants de Mann-Whitney ont été utilisés pour comparer les caractéristiques de chaque groupe. Pour évaluer l'influence des caractéristiques individuelles sur la performance aux tâches visuospatiales, des corrélations de Spearman, des tests de Mann-Whitney (effet du sexe) et des Kruskal-Wallis (effet du niveau d'étude) ont été employés.

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Tableau 1. *Description et comparaison des caractéristiques cognitives entre groupes*

	Groupe	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	Statistique	<i>U</i>	p-value	Taille d'effet
AQ	nt	16.14	6.08	4	28	42.5		<i>p</i> < 0.001***	0.867
	tsa	33.05	9.71	2	46				
social	nt	2.69	1.65	1	7	48.0		<i>p</i> < 0.001***	0.850
	tsa	6.82	1.92	1	9				
attention switching	nt	4.21	2.09	0	8	45.5		<i>p</i> < 0.001***	0.857
	tsa	8.27	2.00	1	10				
attention details	nt	4.66	2.22	1	9	229.0		<i>p</i> = 0.09	0.282
	tsa	5.77	2.43	0	10				
communication	nt	1.97	1.45	0	5	51.5		<i>p</i> < 0.001***	0.839
	tsa	6.59	2.72	0	10				
imagination	nt	2.62	1.74	0	7	130.0		<i>p</i> < 0.001***	0.593
	tsa	5.59	2.86	0	9				
SQ	nt	50.34	15.13	12	81	219.0		<i>p</i> = 0.06	0.314
	tsa	59.41	18.68	22	96				
PS	nt	163.90	17.06	135	208	102.0		<i>p</i> < 0.001***	0.680
	tsa	189.14	19.49	144	224				
Quadrant 1	nt	34.76	6.64	25	47	159.5		<i>p</i> < 0.01**	0.500
	tsa	41.64	7.70	24	56				
Quadrant 2	nt	49.69	7.09	35	65	137.0		<i>p</i> < 0.001***	-0.571
	tsa	41.95	7.40	31	61				
Quadrant 3	nt	41.41	7.36	26	61	136.0		<i>p</i> < 0.001***	0.574
	tsa	51.32	10.08	27	65				
Quadrant 4	nt	38.03	8.04	21	55	61.0		<i>p</i> < 0.001***	0.809
	tsa	54.23	9.38	26	67				
OSIVQ Visuel objet	nt	48.93	6.57	37	63	299.5		<i>p</i> = 0.72	-0.061
	tsa	46.50	11.40	19	63				
OSIVQ Visuel spatial	nt	32.69	7.95	15	48	306.0		<i>p</i> = 0.81	0.041
	tsa	33.91	9.89	19	51				
OSIVQ Verbal	nt	27.62	5.82	16	39	231.5		<i>p</i> = 0.10	-0.274
	tsa	24.91	8.26	12	41				

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Note. AQ pour traits autistiques et ses cinq sous-dimensions, SQ pour niveau de systématisation de l'information, PS pour profil sensoriel et ses quatre quadrants (respectivement enregistrement faible, recherche sensorielle, sensibilité sensorielle et évitement des sensations), OSIVQ pour les trois styles cognitifs visuel objet, visuel spatial et verbal. Les analyses statistiques présentées dans le tableau correspondent à des tests pour échantillons indépendants de Mann-Whitney (U).

Evaluation des caractéristiques cognitives et comparaisons de groupe

L'analyse descriptive des scores cognitifs met en évidence des différences marquées entre les groupes TSA et NT pour plusieurs dimensions (voir Tableau 1). Comme attendu, les participants du groupe TSA présentent des scores significativement plus élevés au questionnaire AQ, ainsi que dans ses sous-dimensions « social », « communication », « attention switching », et « imagination » ($p < .001$), avec des tailles d'effet élevées ($r > .80$). Seule la sous-échelle « attention aux détails » ne diffère pas significativement entre les groupes ($p = .09$). Ce résultat indique des traits autistiques plus importants dans le groupe autiste et des particularités dans le fonctionnement, ce qui était largement attendu. Concernant le niveau de systématisation, les scores SQ tendent à être plus élevés dans le groupe TSA, sans que cette différence ne soit significative ($p = .06$). Ce résultat semble indiquer une tendance vers une systématisation de l'information chez les participants autistes. On observe également que l'étendue des scores est relativement importante, comme les écart-types dans chacun des deux groupes, ce qui indique une forte variabilité interindividuelle. Comme cela est décrit dans la littérature, le profil sensoriel montre une différence significative entre les groupes ($p < .001$), avec des scores PS globalement plus élevés dans le groupe TSA. L'ensemble des quadrants sont associés à des différences significatives entre les groupes. Ils mettent en évidence un enregistrement faible ($p < .01$), une sensibilité sensorielle ($p < .001$) et un évitement des sensations ($p < .001$) plus forts ainsi qu'une recherche sensorielle plus faible ($p < .001$) dans le groupe TSA par rapport au groupe NT. Alors que nous nous attendions à observer des différences de groupe concernant le style cognitif, aucune différence significative n'est observée concernant les scores OSIVQ (visuel-objet, visuel-spatial, verbal), bien qu'une légère tendance soit observée en faveur du groupe NT pour le style verbal ($p = .09$). Enfin et à nouveau, les groupes expérimentaux n'ont montré aucune différence concernant leur niveau verbal aux subtests SIM et VOC des échelles de Wechsler. Ces résultats indiquent que des caractéristiques cognitives fréquemment associées à l'autisme distinguent effectivement nos groupes expérimentaux, malgré qu'aucun élément ne mette en évidence la présence d'un style cognitif particulier dans l'autisme (verbal vs visuel).

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Dans un premier temps, les analyses visant à évaluer l'influence des caractéristiques individuelles sur le niveau d'habiletés visuospatiales ont considéré l'ensemble des participants, indépendamment des groupes, en employant une approche « trans-diagnostique ».

Corrélations entre les variables cognitives dans l'échantillon

Les corrélations de Spearman révèlent une forte cohérence entre toutes les sous-échelles du questionnaire AQ, avec des coefficients très élevés entre les dimensions « social », « communication », « imagination » et « attention switching » ($\rho > 0.750, p < .001$), suggérant qu'elles mesurent des composantes interdépendantes des traits de personnalité autistique. Le score total à l'AQ s'est avéré être positivement corrélé au niveau de systématisation mesuré par le score SQ ($\rho = 0.529, p < .001$) et aux particularités sensorielles reflétées par le score PS ($\rho = 0.653, p < .001$), renforçant l'idée d'un lien entre traits autistiques, systématisation de l'information et atypies sensorielles. Concernant les styles cognitifs de l'OSIVQ, le niveau de systématisation s'est avéré positivement corrélé au style visuel-spatial ($\rho = 0.342, p < .05$) et au style visuel-objet ($\rho = 0.346, p < .05$), tandis que le style verbal s'est montré négativement corrélé aux traits autistiques ($\rho = -0.471, p < .001$), ce qui indique que les personnes avec plus de traits autistiques rapportent un style cognitif moins verbal. De façon cohérente, une tendance à la corrélation négative entre le style cognitif visuel-spatial et le style cognitif verbal a été observé ($\rho = -0.239, p = .09$).

Influence des caractéristiques individuelles sur les performances visuospatiales

L'analyse des effets de l'âge et du niveau d'étude sur les scores aux tâches cognitives ne révèle aucune corrélation significative, bien que des tendances vers des corrélations positives soient observées pour l'âge aux Matrices de Raven ($\rho = 0.255, p = .07$) et aux Figures encastrées ($\rho = .261, p = .07$). Concernant l'effet du sexe, les résultats montrent un effet du sexe sur le score au test de rotation mentale en faveur des hommes ($M_{\text{femmes}} = 13.50, SD = 7.19; M_{\text{hommes}} = 21.40, SD = 9.46; U = 155, p < .001, r = -0.52$), sans qu'aucun effet similaire ne soit observé pour les autres tâches.

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

Tableau 2. *Résultats des corrélations entre les scores aux questionnaires et aux tâches*

	Matrices de Raven	Cubes de Kohs	Figures enchevêtrées	Test de rotation mentale
AQ	0.271 ($p = .06$)	0.319 ($p < .05$)	0.166 ($p = .25$)	0.088 ($p = .54$)
social	0.281 ($p < .05$)	0.377 ($p < .01$)	0.045 ($p = .76$)	0.001 ($p = .99$)
attention switching	0.165 ($p = .25$)	0.166 ($p = .24$)	0.149 ($p = .30$)	-0.065 ($p = .65$)
attention details	0.144 ($p = .32$)	0.173 ($p = .23$)	0.017 ($p = .91$)	0.075 ($p = .60$)
communication	0.263 ($p = .06$)	0.330 ($p < .05$)	0.147 ($p = .31$)	0.144 ($p = .31$)
imagination	0.125 ($p = .39$)	0.132 ($p = .35$)	0.174 ($p = .23$)	0.149 ($p = .30$)
SQ	0.253 ($p = .08$)	0.397 ($p < .01$)	0.375 ($p < .05$)	0.238 ($p = .09$)
PS	0.204 ($p = .16$)	0.176 ($p = .22$)	0.105 ($p = .47$)	-0.119 ($p = .40$)
Quadrant 1	0.053 ($p = .72$)	0.008 ($p = .96$)	0.002 ($p = .99$)	-0.073 ($p = .61$)
Quadrant 2	-0.068 ($p = .64$)	-0.018 ($p = .90$)	0.032 ($p = .82$)	0.083 ($p = .56$)
Quadrant 3	0.149 ($p = .30$)	0.182 ($p = .20$)	0.017 ($p = .91$)	-0.115 ($p = .42$)
Quadrant 4	0.244 ($p = .09$)	0.200 ($p = .16$)	0.118 ($p = .41$)	-0.074 ($p = .61$)
OSIVQ Visuel objet	-0.068 ($p = .64$)	-0.068 ($p = .63$)	-0.025 ($p = .86$)	0.078 ($p = .59$)
OSIVQ Visuel spatial	0.288 ($p < .05$)	0.572 ($p < .001$)	0.443 ($p < .01$)	0.386 ($p < .01$)
OSIVQ Verbal	-0.177 ($p = .22$)	-0.136 ($p = .34$)	-0.062 ($p = .66$)	-0.229 ($p = .106$)

Note. Les analyses statistiques présentées dans le tableau correspondent à des corrélations de Spearman. Le bleu indique les corrélations significatives et le gris les tendances statistiques. Les variables sont identiques à celles du Tableau 1. $N = 51$.

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

L'analyse des corrélations entre les scores aux questionnaires et les performances aux tâches visuospatiales (voir Tableau 2) met en évidence que le niveau de traits autistiques est corrélé avec les performances aux Cubes de Kohs ($\rho = 0.319, p < .05$) et suggèrent une tendance similaire pour les Matrices de Raven ($\rho = 0.271, p = .06$).

Concernant le niveau de systématisation des participants, il s'est avéré être positivement corrélé aux Cubes de Kohs ($\rho = 0.397, p < .01$) et aux Figures enchevêtrées ($\rho = 0.375, p < .01$) de façon significative. À nouveau, des tendances sont observées avec les scores aux Matrices de Raven ($\rho = 0.253, p = .08$) et au test de rotation mentale ($\rho = 0.238, p = .09$), suggérant l'idée que la tendance à systématiser est globalement liée à de meilleures performances dans les tâches spatiales.

Pour les scores à l'OSIVQ, la sous-échelle du style cognitif visuel-spatial s'est montrée significativement corrélée aux scores de chacune des quatre tâches, à savoir les Matrices de Raven ($\rho = 0.288, p < .05$), les Cubes de Kohs ($\rho = 0.572, p < .001$), les Figures enchevêtrées ($\rho = 0.443, p < .01$) et la tâche de rotation mentale ($\rho = 0.386, p < .01$). Aucune des deux autres sous-échelles relatives aux styles cognitifs visuel-objet et verbal ne corrèlent avec les scores de performances.

Les analyses exploratoires effectuées mettent ainsi en évidence l'existence de profils cognitifs cohérents, caractérisés par des corrélations significatives entre certaines caractéristiques individuelles et les performances aux tâches visuospatiales (voir Figure 1). Ces corrélations suggèrent que des dimensions cognitives telles qu'une pensée visuelle spatiale marquée, une forte systématisation, ou encore la présence élevée de traits autistiques pourraient sous-tendre les performances élevées observées dans certaines tâches. Comme ces particularités sont largement associées à l'autisme (e.g. Allison et al., 2015; Baron-Cohen et al., 2001; Bled et al., 2024), elles pourraient contribuer à expliquer les différences de performances observées fréquemment dans la littérature entre population autiste et non autiste. Comme ces atypies du fonctionnement cognitif peuvent aussi être observées dans la population générale, il est possible d'envisager un continuum entre population autiste et non autiste, défini par le degré auquel ces caractéristiques sont présentes. Les profils associés à des niveaux élevés de ces atypies seraient ainsi plus fréquemment rencontrés chez les personnes autistes, sans toutefois leur être propres et spécifiques. Par ailleurs, l'effet du sexe observé pour la tâche de rotation mentale était attendu et souligne que des facteurs supplémentaires pourraient également contribuer à la variabilité interindividuelle, en particulier pour certaines dimensions spécifiques du traitement visuospatial comme la manipulation mentale des relations spatiales.

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

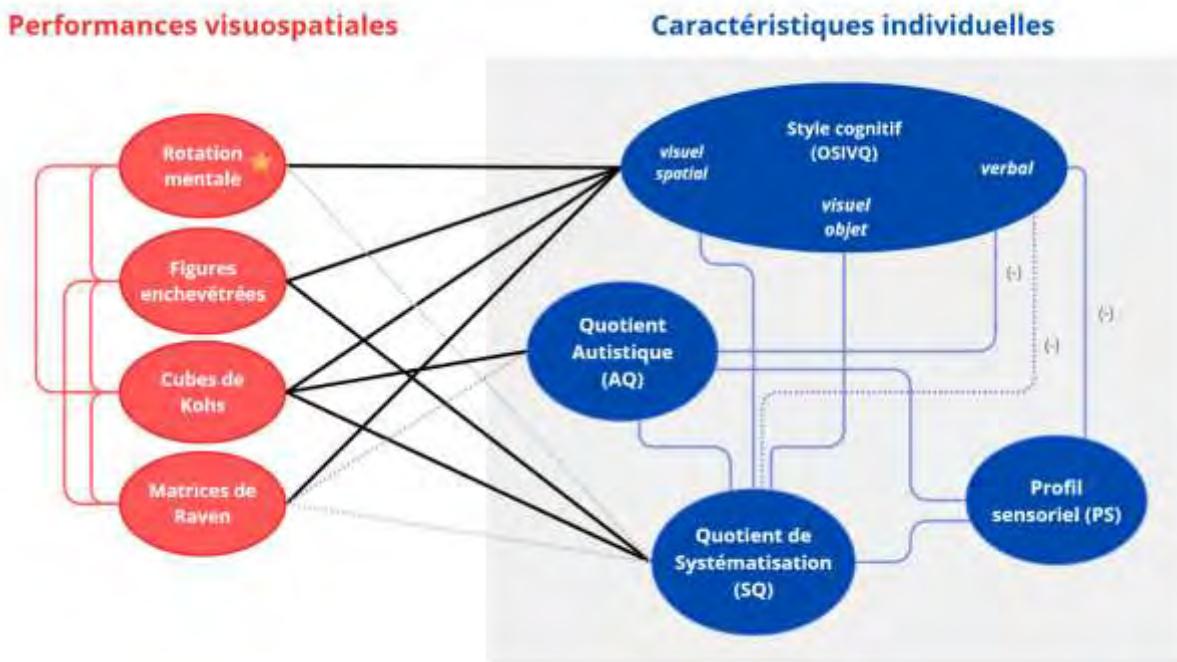


Figure 1. Schéma récapitulatif des résultats obtenus (groupes confondus)

Note. Les résultats qui concernent les sous-échelles des questionnaires n'ont pas été présentés pour plus de clarté. Les traits pleins sur la figure indiquent des corrélations de Spearman significatives ($p < .05$) et les traits en pointillés les tendances à la corrélation (non significatives ; $0.05 < p < .10$). Les corrélations positives entre les scores aux différentes tâches sont rappelées en rouge. L'astérisque jaune indique un effet significatif du sexe, en faveur des hommes. Les signes (-) signalent des corrélations négatives. $N = 51$.

Analyses par groupe : profils distincts dans les corrélations

Lorsqu'on examine les corrélations séparément dans chaque groupe, certaines relations observées dans les analyses précédentes ne sont plus retrouvées. Toutefois, certaines associations restent significatives ou tendancielles dans chacun des deux groupes, notamment la corrélation positive entre le niveau de traits autistiques et celui de systématisation (TSA : $\rho = 0.380$, $p = .08$; NT : $\rho = 0.590$, $p < .001$), ainsi que la corrélation négative entre traits autistiques et style cognitif verbal (TSA : $\rho = -0.659$, $p < .001$; NT : $\rho = -0.319$, $p = .09$).

Dans le groupe NT, on observe une corrélation significative et négative entre le style cognitif visuel spatial et le style cognitif verbal ($\rho = -0.396$, $p < .05$), ce qui suggère une dissociation entre les préférences de modalités du traitement de l'information. En revanche, aucune corrélation n'est retrouvée dans ce groupe entre le style cognitif visuel spatial et le niveau de systématisation. À l'inverse, dans le groupe TSA, une corrélation significative émerge entre le

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

niveau de systématisation et le style cognitif visuel spatial ($\rho = 0.532, p < .05$), soulignant un lien fort entre la tendance à systématiser et la préférence pour le traitement des relations spatiales dans cette population.

Les corrélations entre les scores aux tâches visuospatiales et les dimensions évaluées par les questionnaires révèlent également des profils différenciés selon les groupes. Chez les participants TSA, le style cognitif visuel spatial est significativement corrélés aux scores des Matrices de Raven ($\rho = 0.503, p < .05$), aux Cubes de Kohs ($\rho = 0.813, p < .001$) et aux Figures encastrées ($\rho = 0.640, p < .01$), et le niveau de systématisation corrèle avec les scores obtenus aux Cubes de Kohs ($\rho = 0.598, p < .01$). Également, aucune corrélation n'est retrouvée avec les scores des subtests verbaux employés, ce qui suggère que le niveau verbal n'influence pas le niveau visuospatial. Chez les participants NT, le style cognitif visuel spatial présente également des corrélations avec les performances aux Cubes de Kohs ($\rho = 0.464, p < .05$) et à la tâche de rotation mentale ($\rho = 0.499, p < .01$). Le niveau de systématisation montre quant à lui une tendance à être corrélé aux scores de rotation mentale ($\rho = 0.335, p = .07$), ce qui souligne que ces dimensions cognitives sont également importantes pour le traitement visuospatial en population générale.

En résumé, les résultats des analyses menées dans chaque groupe indiquent une influence du niveau de la systématisation de l'information et du style cognitif visuel-spatial sur le niveau de performance aux tâches visuospatiales. Ils suggèrent cependant que ni la systématisation ni ce style cognitif visuel-spatial, tels qu'évalués par les questionnaires, ne semblent jouer un rôle déterminant dans la résolution de la tâche de rotation mentale chez les personnes autistes. Cette absence de corrélations pourrait expliquer l'hétérogénéité plus importante des profils de performance au sein du groupe TSA et refléter l'emploi de stratégies cognitives différentes de celles mobilisées par les individus neurotypiques. Une explication plausible repose sur le biais perceptif bien documenté des personnes autistes en faveur du traitement local de l'information (e.g. Mottron et al., 2006). Plutôt que d'appréhender la figure dans sa globalité pour la faire mentalement tourner dans l'espace, elles pourraient se concentrer sur les détails de la structure, sur ses composants élémentaires (cubes). Une approche plus analytique, bien qu'adaptée à certaines tâches visuospatiales, pourrait se révéler contre-productive car la résolution de tâches telle que celle de rotation mentale nécessite le traitement de l'objet dans son ensemble. Si elle est vérifiée, cette hypothèse pourrait ainsi expliquer l'hétérogénéité des performances observées dans le groupe TSA, mais également l'absence de meilleures performances à cette

Caractérisation de la variabilité des habiletés visuospatiales

tâche spécifique. Ce point mériterait d'être exploré plus en détail dans de futures recherches, notamment à l'aide de l'eye-tracking et/ou en manipulant la nature des stimuli afin d'évaluer plus précisément les stratégies mises en œuvre.

Références

- Allison, C., Baron-Cohen, S., Stone, M. H., & Muncer, S. J. (2015). Rasch Modeling and Confirmatory Factor Analysis of the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) Scale. *The Spanish Journal of Psychology, 18*, E16. <https://doi.org/10.1017/sjp.2015.19>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ) : Evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 31*(1), 5-17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>
- Bled, C., Guillon, Q., Mottron, L., Soulières, I., & Bouvet, L. (2024). Visual mental imagery abilities in autism. *Autism Research*. <https://doi.org/10.1002/aur.3192>
- Sapey-Triomphe, L.-A., Dierckx, J., Vettori, S., van Overwalle, J., & Wagemans, J. (2023). A multilevel investigation of sensory sensitivity and responsivity in autistic adults. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research, 16*(7), 1299-1320. <https://doi.org/10.1002/aur.2962>
- Tavassoli, T., Miller, L. J., Schoen, S. A., Nielsen, D. M., & Baron-Cohen, S. (2014). Sensory over-responsivity in adults with autism spectrum conditions. *Autism: The International Journal of Research and Practice, 18*(4), 428-432. <https://doi.org/10.1177/1362361313477246>
- Wheelwright, S., Baron-Cohen, S., Goldenfeld, N., Delaney, J., Fine, D., Smith, R., Weil, L., & Wakabayashi, A. (2006). Predicting Autism Spectrum Quotient (AQ) from the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) and Empathy Quotient (EQ). *Brain Research, 1079*(1), 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.01.012>

Étude 2

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye Tracking

Identification des stratégies de résolution de problèmes dans les Matrices
Standard de Raven grâce à l'oculométrie

A. DIU, L. BOUVET, M. BATTY

Soumis pour publication dans *Methods in Psychology*

Résumé

Les Matrices Progressives de Raven (RPM) sont une tâche de raisonnement visuel largement utilisée pour évaluer l'intelligence, et pour laquelle plusieurs stratégies de résolution distinctes ont été identifiées. Des recherches antérieures sur la version avancée (APM) ont mis en évidence un « switch » stratégique avec l'augmentation de la difficulté, basé sur différents indices oculométriques recueillis par eye-tracking. Toutefois, un « switch » inverse a été observé pour la version standard (RSPM, voir Gonthier et al., 2024). Comme ces indices avaient été considérés individuellement, nous proposons dans cette étude l'utilisation d'un score composite intégrant plusieurs indices, afin de refléter l'implication soit d'une stratégie de d'appariement constructif, soit d'une stratégie d'essais-erreurs. L'objectif était double : répliquer les résultats précédents et confirmer l'influence de la stratégie sur la performance, à la fois au niveau des items et des individus, dans le RSPM. Vingt-sept participants ont complété le RSPM tout en portant un dispositif mobile d'eye-tracking, ce qui a permis l'analyse de 486 items. Le score composite a été conçu pour refléter une stratégie d'essais-erreurs lorsqu'il était faible, et une stratégie d'appariement constructif lorsqu'il était élevé. Comme attendu, le score composite s'est avéré influencé par les facteurs de difficulté (séries et complexité), indiquant une modulation stratégique tout au long du test. Un score composite plus élevé était associé à de meilleures performances, tant au niveau des items qu'au niveau des participants. Cette étude confirme l'importance de prendre en compte la difficulté comme facteur déterminant et souligne la pertinence d'un score composite unique pour refléter les stratégies de résolution. Cette approche pourrait permettre d'approfondir l'étude de la variabilité interindividuelle observée dans les tâches de résolution de problèmes, que ce soit dans la population générale ou clinique.

Mots-clés : Matrices Progressives de Raven, stratégie de résolution, eye-tracking, performance

Abstract

Raven's Progressive Matrices (RPM) are a visual reasoning task widely employed to assess intelligence, and for which a number of distinct solving strategies have been identified. Prior research on the advanced version (APM) revealed a strategic shift with increasing difficulty based on different gaze indices captured by eye-tracking but the opposite shift was observed for the standard version (RSPM, see Gonthier et al., 2024). As these indices were considered individually, we propose in this study the use of a composite score based on various indices to reflect the involvement of either a constructive matching or a trial-and-error strategy. The objective was twofold: to replicate previous findings, and to confirm the influence of strategy on performance at item and individual levels in RSPM. A total of twenty-seven subjects completed the RSPM while wearing a mobile eye-tracking device, resulting in the analysis of 486 items. The composite score was designed to reflect a trial-and-error strategy if low and a constructive matching strategy if high. As anticipated, the composite score was consistently affected by the difficulty factors (series and complexity), indicating a strategic modulation throughout the test. A higher composite score was associated with superior performance at both item and participant levels. This study confirms the importance of considering difficulty as a determining factor and highlights the relevance a single score to reflect problem-solving strategies. This approach could allow for further investigation of the inter-individual variability observed in problem-solving tasks in the general or pathological population.

Key words: Raven Progressive Matrices, solving strategy, eye-tracking, performance

Introduction

Raven's Progressive Matrices (RPM) are a reasoning task assessing fluid and general intelligence (Mackintosh, 2011; Mackintosh & Bennett, 2005; Neisser, 1998). Individuals have to complete a 3x3 visual logic sequence with one figure from several responses by determining the rules applied (Carpenter et al., 1990; Meo et al., 2007). This complex task involves various cognitive functions, such as working memory, attentional control, abstract reasoning and mental flexibility (Carpenter et al., 1990; Kane & Engle, 2002; Soulières et al., 2009; Unsworth & Engle, 2005) and calls heavily upon visuospatial abilities, i.e. the mental processes required to identify and process visual stimuli and their spatial relationships (Trojano et al., 2018; Waschl et al., 2017). The RPM minimizes the involvement of non-intelligence-related functions and prevents the underestimation of abilities in populations with functional deficits in contrast to other tests widely used for clinical assessment. For example, higher scores in RPM compared to scores on the Wechsler Full Scale IQ (FSIQ) have been observed in autism in which verbal abilities are often diminished (e.g. Nader et al., 2016). The RPM is therefore a valuable tool for accurately assessing non-verbal intelligence in a large population (atypical or not).

Numerous studies have been carried out in order to identify factors explaining inter-individual differences in performance on this test. Some individual characteristics have thus been identified as determinants of success. Beyond educational level and socio-cultural context (e.g. Brouwers et al., 2009; Rushton et al., 2004), previous findings indicate that older children and adults perform better than younger children, suggesting that both age and stage of development exert an influence on performance (Gonthier et al., 2024; Gonthier & Thomassin, 2015; Ren et al., 2012, 2017; Smirni, 2020). Therefore, a large number of cognitive characteristics modulate the level of RPM success (i.e. working memory, need for cognition, attention control ...) as they are directly involved in the task (Belacchi et al., 2010; Gonthier & Thomassin, 2015; Ren et al., 2012, 2017; Schweizer et al., 2007; Unsworth et al., 2014). However, these identified factors do not fully account for the observed variability in performance: resolution strategies can also explain a large part of this variability (Laurence & Macedo, 2023; Lemaire & Reder, 1999). Some studies have employed self-report questionnaires (Jastrzębski et al., 2018; Mitchum & Kelley, 2010) or think-aloud protocols (DeShon et al., 1995; Jarosz et al., 2019) to investigate the heterogeneity observed in the RPM task, while others have focused on visual exploration strategies to explain it.

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

Two major strategies have been identified through observation of individuals solving the task or eye-tracking data (Bethell-Fox et al., 1984; Snow, 1978, 1980). The first strategy, called "constructive matching" (CM), is characterized by a strong focus on the matrix to mentally construct a hypothetical response and then compare it with the suggested responses. Theoretically, the participant processes the matrix, extracts the rule to apply, makes a mental construct of the correct response and then explores all the answers to choose the corresponding one. The second strategy, called "elimination of response" (ER), is a trial-and-error strategy involving multiple comparisons with each answer choice until the correct one is found. These findings were confirmed by recent research using modern eye-tracking systems (Carter & Luke, 2020) able to more accurately record gaze patterns and to quantitatively describe these strategies through gaze indices (taken as independent indices), including the proportion of time spent observing the matrix, the delay before the first glance at the choice of responses, and the number of gaze transitions between the matrix and the responses. The CM strategy is thus associated with a greater proportion of time spent on the matrix, latency to the first glance at the responses, and a lower number of transitions between matrix and responses than the ER strategy (Hayes et al., 2011; Snow, 1978; Vigneau et al., 2006). The influence of the strategy on performance has been demonstrated, since better success rates have been observed for gaze indices associated with the CM strategy (Bethell-Fox et al., 1984; Carpenter et al., 1990; Hayes et al., 2011; Vigneau et al., 2006). In addition, Gonthier and Roulin (2020) report that individuals generally switch to the ER strategy when difficulty increases using the Advanced version of the Progressive Matrices (APM; Raven et al., 1998b). However, Gonthier et al. (2024) found the opposite result using Raven's Standard Progressive Matrices (RSPM; (Raven, 2000; Raven et al., 1998a) in young people from 6 to 18 years old. They observed a switch from an ER-like strategy to a CM-like strategy when the difficulty increased, particularly in the oldest group of 18-year-olds. The discrepancy in observations raises questions about the influence of the level of difficulty on the variability observed in the use of strategies. Taken together, these results highlight the importance of taking into account both the difficulty factors of the test and the differences between subjects in order to have a broader view of the variability existing in this task. Consequently, it is relevant to distinguish the analyses at item and individual levels due to the effects of intra-test factors and inter-individual variability (Bors & Vigneau, 2003).

While these studies confirm the influence of visual strategies on performance, the majority of them relate to the APM developed for adults with a high academic level, and are therefore not generalizable to a larger population. The RSPM has mainly been used in children and only a

few eye-tracking studies have been carried out to assess solving strategies in young adults including the one by Gonthier et al. (2024). The aim of the present study was therefore to use the RSPM to replicate the results of Gonthier et al. (2024) more ecologically with an adult population and to extend the results of eye-tracking studies obtained through the APM version. When investigating the effects of difficulty, Gonthier et al. chose to attribute an order of difficulty based on success in the items. Here, we considered both the series and complexity of the items as described in the RSPM manual to investigate the difficulty effects. We therefore expected an effect of these difficulty factors on both performance and visual exploration of items but also a tendency to greater success associated with gaze indices reflecting a CM strategy. Furthermore, previous studies relied solely on the identification of strategies based on gaze indices in isolation, without considering them as a unified construct that can be quantified and that expresses a strategy. We thus propose the use of a composite score based on these various gaze indices to reflect the tendency towards one or the other of the two strategies, using a single quantitative data point.

Materials and methods

Participants

Twenty-nine participants aged between 18 and 40 years were primarily recruited from the local University or through social networks. Inclusion criteria were good verbal comprehension abilities, normal or corrected-to-normal vision and audition. The Monoyer scale 3m, an optometric test, was used to assess visual acuity and to ensure that there were no biases in our data related to visual deficits. Additionally, a diagnosis of neurological and/or psychiatric disorders or an Autistic Quotient score exceeding the cutoff (32) were exclusion criteria. Out of the 29 adults who completed the study, one person was excluded due to a low score on the Raven Matrices (15/60) and another one was excluded due to the insufficiency of the eye-tracking signal (less than 60% of recording time). The final group of 27 participants consisted of 14 men and 13 women, with a mean age of 25.11 years ($SD = 5.27$ years, [18-40]).

Procedure

Experiments were carried out in an isolated and silent room, without any external distractions. After being informed of the content of the study and providing their written consent to participate, participants completed the visual acuity test. They then performed Raven's Standard Progressive Matrices task wearing an eye-tracking device. Participants were seated approximately 45 cm from the stimulus book but were free to move during the test. The book

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

was positioned on a stand inclined at approximately 60° to capture participants' visual field and optimize the functioning of the eye-tracking glasses. Once calibration was completed, instructions were given using the first item as training. Participants also completed the Autistic Quotient questionnaire (AQ; Baron-Cohen et al., 2001) via the online platform LimeSurvey. As superior performances have been found for autistic people (Dawson et al., 2007; Soulères et al., 2009), we used AQ to exclude participants with a possible autistic spectrum disorder. At the end of the study, participants received a gift voucher for their participation. This study was conducted as part of a research project that received approval from the local ethics committee (#2021-446).

Measures

Raven's Standard Progressive Matrices test or RSPM/RM38 (Raven, 2000; Raven et al., 1998a) is a 60-item assessment consisting of five sets (or series) of 12 pattern-matching tasks which increase in complexity. It has been reported to have excellent internal consistency ($\alpha = 0.97 - 1.00$) (Raven, 2000). The RSPM Manual guidelines for individual test administration were strictly followed (Raven et al., 1998a). Subjects were asked to indicate which one of the responses correctly completed the picture. They had to state the number of the response aloud and could correct themselves if they needed to. Each correct response was scored as 1 point and the maximum score was 60 points. There was no time limit to complete the test. Score and test resolution time were measured for each participant and each item.

Apparatus, Software and Eye tracking data

An SMI ETG 2w (version 2.6) eye-tracking glasses device was used to collect eye-tracking data during the test under ecological conditions. This mobile device coupled with the iView ETG software recorded the visual scene and tracked gaze using infra-red cameras (binocular). Sampling frequency was one image every 16 ms. This system functions when participants wear contact lenses and corrective lenses up to a certain correction (4+/-d). A 3-point calibration was performed for each participant before starting the test.

Raw eye-tracking data were pre-processed using BeGaze 3.7 software developed by SMI (SensoMotoric Instruments). The software's Semantic gaze mapping tool was used to map the location of participants' fixations during the items onto fixed reference images for each item. A number of 4 rectangular areas of interest (AOI) were defined with the BeGaze AOI editor tools on reference images representing stimuli items: the model area, the response area, the correct response area and the white space (i.e. space outside other AOIs) (see Figure 1). AOIs were sized larger than the target elements to minimize the amount of fixation recorded as off

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

following a slippage of the glasses which would have altered the calibration during the test (Niehorster et al., 2020). When required, an offset correction was applied. The position and size of the AOIs were exactly the same from one item to another, except for the correct response area which varied in location.

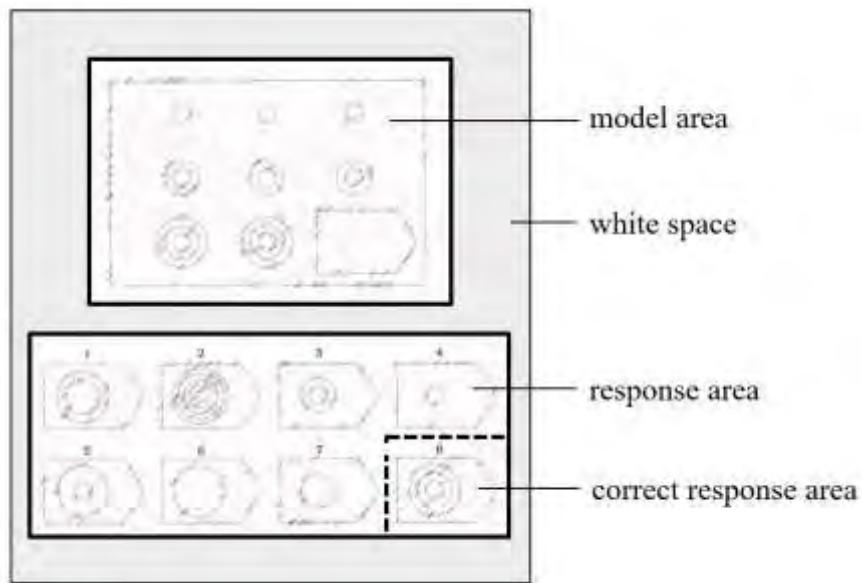


Figure 1. *Illustrative Example of AOIs Delimitation*

Note. The figure shows each area of interest (AOI). The location of the correct response area differs depending on the item. The original version of the item has been modified due to copyright.

The eye-tracking analyses focused on 18 of the 60 test items, which were pre-selected to be representative of all the test items. The first two series (A and B) were not considered, as success rates are high in these series, in contrast to series C, D and E. Within each series, 3 levels of complexity were defined: level 1 on the first four items, level 2 on the four middle items and level 3 on the last four items of the series. Among the four items of each series and each level of complexity, two were selected post-acquisition according to the participants' level of success. This was done so as to approach the 50% success rate in order to compare successful and failed items in the analyses. Thus, analyses focused on 6 items per series, and for each series two items per complexity level leading to the analysis of 18 items (C1, C3, C6, C8, C10, C12, D1, D2, D7, D8, D11, D12, E3, E4, E7, E8, E9 and E10). Of the total number of 486 items analyzed, 3 items (from different participants) were excluded from the analyses because the recording

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

signal was too weak (signal <60%). On average, the time per item for which the eye-tracking signal was usable represented 92.11% of the item resolution time.

In addition to the success or failure on each item, several variables were extracted from the eye-tracking data set. These included the item resolution time (i.e. time between the first observation and the response for which an eye-tracking signal was recorded), the exploration time in each area and the number of gaze transitions between the model and response areas. The exploration time for the model area was specified as a percentage of the resolution time, while the exploration time of the correct response area was expressed as a percentage of the exploration time for the response area. Additionally, the number of gaze transitions was weighted according to the resolution time. The first time before exploring the response area was not retained as a relevant variable as many participants made, at the beginning of the exploration time, a very brief return trip to the response area without staying there, which could have represented a significant bias. A composite score was created to reflect the visual exploration strategy employed by participants for each item using different gaze indices. It was calculated for each item as: (Model area exploration time [%]/ Response area exploration time [%]) * (Item resolution time [s] / number of gaze transitions). This formula was designed to reflect a tendency toward the ER strategy for the lowest scores and a tendency toward the CM strategy for the highest scores (see Figure 2).

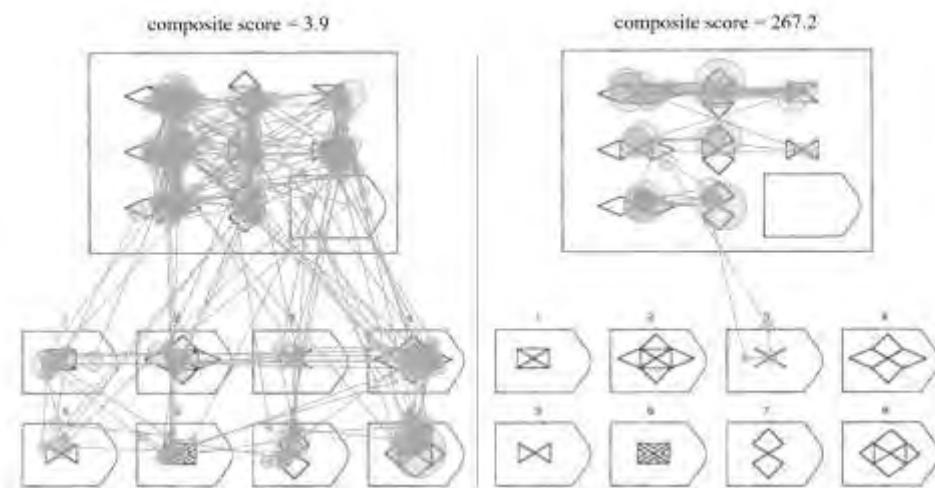


Figure 2. Illustration of the two Strategies

Note. These scan paths show the spatial (lines) and temporal (circles) course during item E9. The left one corresponds to a low composite score (3.9) and reflects a trial-and-error strategy, whereas the right one corresponds to a high composite score (267.2) and reflects a constructive matching strategy.

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

Analyses by level of difficulty were carried out by calculating the mean values for each series and each level of complexity. For all participants, both the scores and resolution times for the 18 and 60 items were recorded, in addition to the mean value of each eye-tracking variable (18 items). All the variables used for analyses are summarized in Table 1.

Table 1. *Summary table showing variables used for item and participant levels of analysis*

Item Level Variables	Participant Level Variables
success level (success or failure)	18- and 60-item scores
item resolution time	18- and 60-item resolution times
model exploration (%)	mean model exploration (%)
correct response exploration (%)	mean correct response exploration (%)
ratio of gaze transitions	mean ratio of gaze transitions
composite score	mean composite score

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using R software (R4.3.2 version) with the critical α -value set to 0.05. The distribution normality (Shapiro-Wilk) and homoscedasticity (Levene) of each variable were checked and revealed that most of the variables did not comply with the parametric test assumptions. The effects of series and complexity on the eye-tracking variables (gaze indices and composite score) were assessed using Friedman's ANOVA tests. We included participants as a blocking factor to control for individual differences. These were followed by post-hoc analyses (Wilcoxon paired with Bonferroni correction) to specify the results. Concerning the success level analyses, Fisher tests were used to assess the potential effect of series and complexity on the proportion of success throughout the RSPM. Mann-Whitney tests for independent data were used to compare the values of eye-tracking variables for failed and successful items. Then, Spearman correlations were performed to assess relations between variables relating to performance (scores and resolution times) and eye-tracking data.

Transparency and openness

This study was not preregistered. Computer code and data are available on the Open Science Framework at <https://osf.io/fetjs/> (Diu, 2024). Raven's Standard Progressive Matrices are not made available due to copyright.

Results

General Test Performance

Participants completed the entire test in an average time of 18 minutes ($SD = 5$ minutes and 36 seconds, [8.43-30.51]). They achieved an average score of 50 points ($SD = 5.21$) with scores ranging from 41 to 60. For the 18 eye-tracking items analyzed, the cumulative completion time was 7 minutes ($SD = 2$ minutes 30 seconds, [3.23-13.20]) associated with an average score of 12.81 points ($SD = 2.90$, [9-18]). Strong correlations between resolution times for the 18 and 60 items, $\rho = 0.93$, $p < .001$, and between scores for the 18 and 60 items, $\rho = 0.89$, $p < .001$, confirmed that the items selected for eye tracking analysis were representative of the whole test. Age, gender and degree level had no effect on participants' performance (score and resolution time).

Inter-item variability

Gaze indices. Descriptive and statistical results about gaze indices according to difficulty factor are presented in Table 2. As expected, the mean resolution time of items increased significantly with the series, $\chi^2 (2) = 41.41$, $p < .001$, $W = 0.767$, and complexity $\chi^2 (2) = 52.07$, $p < .001$, $W = 0.964$, as well as the percentage of time spent on the model area, $\chi^2 (2) = 34.74$, $p < .001$, $W = 0.643$ and $\chi^2 (2) = 24.89$, $p < .001$, $W = 0.461$ respectively. The correct response exploration was reduced by both difficulty factors, $\chi^2 (2) = 6.89$, $p = .032$, $W = 0.128$ and $\chi^2 (2) = 41.41$, $p < .001$, $W = 0.767$. The same effects were observed on the gaze transitions ratio, $\chi^2 (2) = 11.56$, $p < .001$, $W = 0.593$ and $\chi^2 (2) = 11.6$, $p = .003$, $W = 0.214$, reflecting an increase in the number of gaze transitions with difficulty.

Successful Items. Throughout the 18 items analyzed, the level of complexity had a significant effect on success, $X^2 = 102.17$, $df = 2$, $p < .001$, but no effect of the series was observed, $X^2 = 2.978$, $df = 2$, $p = .226$ (see Figure 3).

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

Tableau 2. *Descriptive and inferential statistical data for each gaze index according to series and complexity*

Gaze Indices	Descriptive		Statistical Results	
	<i>M</i> (<i>SD</i>)		Friedman's ANOVA	Post-hoc
Item resolution time (seconds)	24.327 (23.749)			
Series				
C		$\chi^2(2) = 41.41, p < .001^{***}, W = 0.767$		
D	16.991 (9.168)		C-D	$p = .023^*$
E	22.479 (8.038)		C-E	$p < .001^{***}$
Complexity	33.272 (14.186)		D-E	$p < .001^{***}$
1		$\chi^2(2) = 52.07, p < .001^{***}, W = 0.964$		
2	10.951 (3.784)		1-2	$p < .001^{***}$
3	22.234 (8.696)		1-3	$p < .001^{***}$
	39.777 (17.522)		2-3	$p < .001^{***}$
Model exploration (%)	75.5 (11.8)			
Series		$\chi^2(2) = 34.74, p < .001^{***}, W = 0.643$		
C	70.5 (7.26)		C-D	$p < .001^{***}$
D	76.3 (4.24)		C-E	$p < .001^{***}$
E	79.5 (5.33)		D-E	$p = .002^{**}$
Complexity		$\chi^2(2) = 24.89, p < .001^{***}, W = 0.461$		
1	70.9 (5.60)		1-2	$p < .001^{***}$
2	79.0 (5.52)		1-3	$p < .001^{***}$
3	76.5 (6.18)		2-3	$p = .084$
Correct response exploration (%)	28.49 (21.95)			
Series		$\chi^2(2) = 6.89, p = .032^*, W = 0.128$		
C	32.3 (8.85)		C-D	$p = .007^{**}$
D	26.2 (8.48)		C-E	$p = .219$
E	26.9 (11.3)		D-E	$p = 1$
Complexity		$\chi^2(2) = 41.41, p < .001^{***}, W = 0.767$		
1	40.8 (10.8)		1-2	$p < .001^{***}$
2	25.8 (5.63)		1-3	$p < .001^{***}$
3	18.5 (7.50)		2-3	$p < .001^{***}$

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

Number of gaze transitions	11.04 (11.04)	
Series		$\chi^2(2) = 13.8, p < .001***, W = 0.256$
C	8.96 (5.06)	C-D $p = .02*$
D	11.8 (4.03)	C-E $p = .012*$
E	12.3 (6.49)	D-E $p = 1$
Complexity		$\chi^2(2) = 45.9, p < .001***, W = 0.849$
1	5.85 (2.44)	1-2 $p < .001***$
2	9.20 (4.05)	1-3 $p < .001***$
3	18.1 (8.08)	2-3 $p < .001***$
Ratio of gaze transitions	0.53 (0.30)	
Series		$\chi^2(2) = 11.56, p < .001***, W = 0.593$
C	0.613 (0.176)	C-D $p = 1$
D	0.594 (0.155)	C-E $p < .001***$
E	0.389 (0.106)	D-E $p < .001***$
Complexity		$\chi^2(2) = 11.6, p = .003**, W = 0.214$
1	0.629 (0.197)	1-2 $p < .001***$
2	0.481 (0.121)	1-3 $p = .002**$
3	0.485 (0.116)	2-3 $p = 1$
Composite score	17.21 (33.52)	
Series		$\chi^2(2) = 32.89, p < .001***, W = 0.609$
C	10.272 (12.798)	C-D $p = .031*$
D	11.974 (6.242)	C-E $p < .001***$
E	29.191 (21.387)	D-E $p < .001***$
Complexity		$\chi^2(2) = 6.22, p = .045*, W = 0.115$
1	11.228 (8.316)	1-2 $p = .004**$
2	21.938 (19.532)	1-3 $p = .465$
3	18.341 (17.003)	2-3 $p = .258$

Note. Post-hoc analyses were pairwise comparisons with Wilcoxon tests and Bonferroni corrections. $N = 27$. *** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

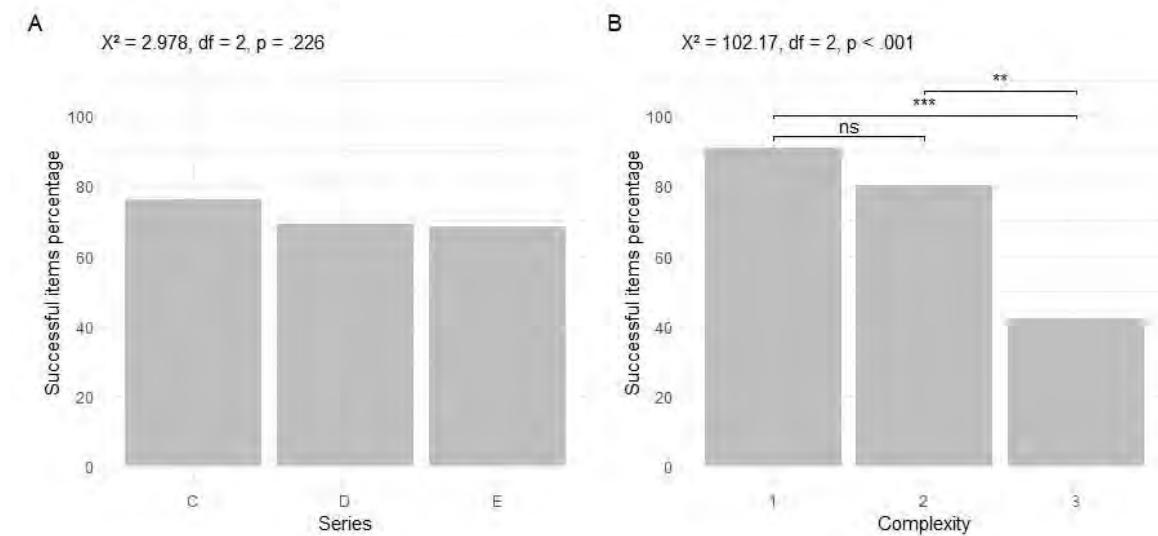


Figure 3. *Percentage of Successful Items Depending on Series and Complexity Levels*

Note. Graph showing the percentage of successful items by level of series (A) and complexity (B). The significance of pairwise comparison (with Bonferroni corrections) of proportions for levels of series and complexity is indicated on the graphs (**p < .001, ** p < .01, * p < .05).

Successful items were associated with shorter resolution times ($M = 19.327, SD = 19.309, N = 344$) than failed items ($M = 36.699, SD = 28.753, N = 139$), $U = 35224, p < .001$. Also, the model exploration was longer, $U = 18739, p < .001$, and the ratio of gaze transitions was lower, $U = 27015, p = .025$, $n=483$, for successful items ($M = 76.4, SD = 12.5$ and $M = 0.523, SD = 0.314$) than for failed ones ($M = 73.2, SD = 9.54$ and $M = 0.553, SD = 0.242$). The correct response exploration was significantly higher for successful items ($M = 36.2, SD = 21.0$ and $M = 9.32, SD = 7.96$), $U = 3939, p < .001$.

Composite Score. As for independent gaze indices, the effects of difficulty factor and success level on the composite score were investigated. The non-linear increase in difficulty is illustrated in our data by the non-linear evolution of the average composite score of the items over the course of the test (see supplementary Figure). Series and complexity level were thus found to increase the composite score, $\chi^2 (2) = 32.89, p < .001$, $W = 0.609$ and $\chi^2 (2) = 6.74, p = .034$, $W = 0.125$ (see Table 2 and Figure 4), reflecting a greater use of the CM strategy with difficulty. Post hoc analysis indicated that the difference in composite score was present between all series levels, but only for levels 1 and 2 for complexity. In addition, composite scores were higher for successful items ($M = 20.4, SD = 38.5$) than for failed items ($M = 9.21, SD = 11.9$), $U = 18858, p < .001$.

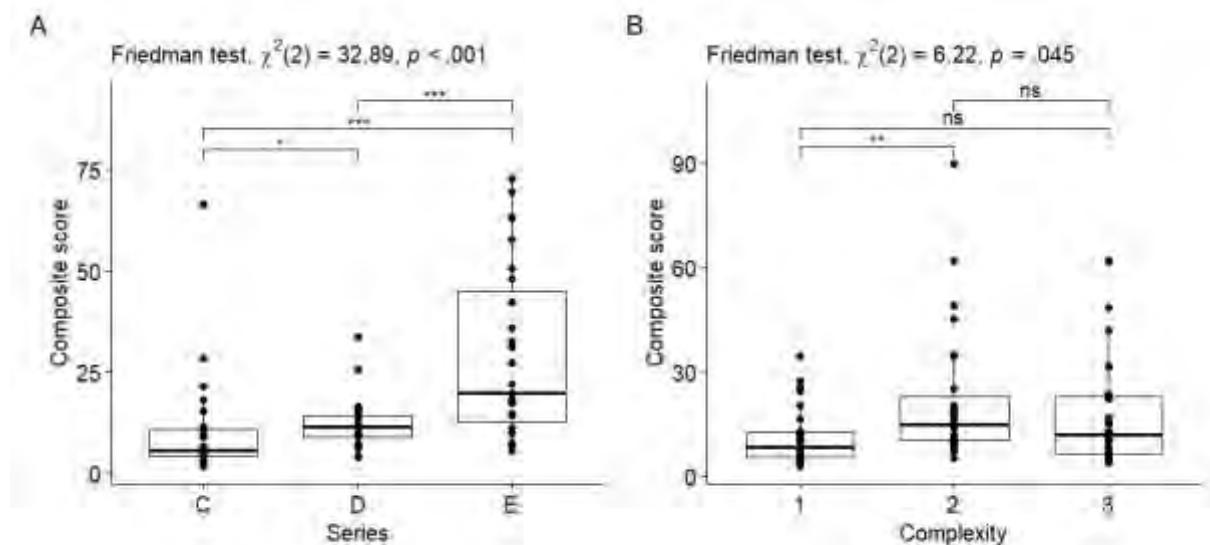


Figure 4. Graphs Showing the Item Average Composite Score by Series and Complexity Levels

Note. Box plot illustrating the effect of series (A) and complexity (B) levels on composite scores of items. Dots indicate the mean value for each participant, as participant was considered as a block factor for analyses. The significance of pairwise comparison results (with Bonferroni corrections) is indicated (** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$)

Inter-individual variability

No significant correlation was found between cumulative resolution time and the scores obtained by participants for the 18 items and the complete test, although a tendency was observed for the complete test, $\rho = 0.369, p = .058$. Correlations were observed between performance level and participants' visual exploration. The 18-items scores were correlated with the model, $\rho = 0.664, p < .001$, and the correct response explorations, $\rho = 0.768, p < .001$. Thus, participants who globally explored the model and correct response the most during the items tended to achieve higher scores. Finally, the mean composite score of participants was found to be positively correlated with the 18-items score, $\rho = 0.666, p < .001$. (Figure 5).

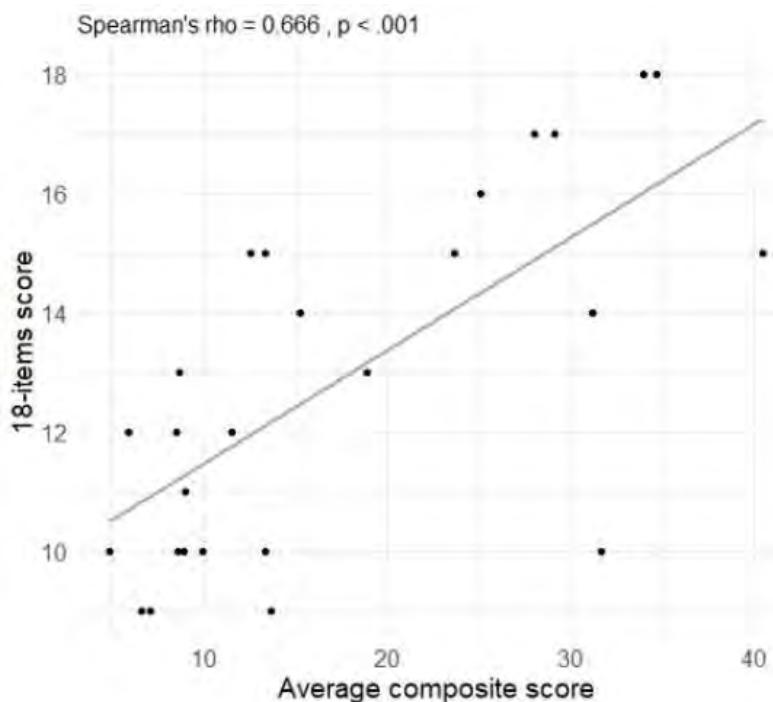


Figure 5. Correlation Plot Between 18-Items Score and Average Composite Score of Participants

Note. Each dot represents data from one participant. $N = 27$.

Discussion

The Raven's Matrix test is a complex task used to assess fluid intelligence, and is available in different versions depending on the target population. While certain characteristics have already been identified as influencing performance and explaining some of the inter-individual variability, recent studies aimed at identifying the solving strategies and their implications for performance notably by using distinct oculometric indices during completion of the advanced version of the test (APM). The objective here was to reproduce these findings on the standard version, the RSPM, a version accessible to a broader population, while paying specific attention to the impact of difficulty on ocular behavior and its link with success level. In addition, we examined the relevance of a composite score based on different gaze indices to produce a single quantitative variable reflecting the strategy used at item and participant levels. Analyses were conducted at both item and individual levels to capture the overall variability observed in line with the approach proposed by Bors and Vigneau (2003). Given the variability identified at these two distinct levels, the results are discussed in separate sections for clarity.

Inter-item variability

Internal difficulty factors were investigated separately and demonstrated a common influence on the resolution time of items as expected. However, only complexity was found to reduce item success. This is consistent with the description provided by Raven (1998) in the RSPM manual which reports an increase in difficulty within each series and some degree of overlap between the five series. While item difficulty does not seem to increase in a linear manner, none of the studies of RSPM strategies has chosen to investigate difficulty depending on these two distinct factors. This first result (Figure 2) illustrates that previous methods using the order of presentation of items or success as a criterion to define difficulty are insufficient and confirm the relevance of distinguishing series and complexity as difficulty factors.

Difficulty factors also modulated the visual exploration behavior in favor of a greater exploration of the model and a reduction in the gaze transitions ratio during items. These results are confirmed with the composite score, a new index designed to reflect visual exploration strategy in a single quantitative data. Indeed, the composite score increased with the difficulty factors, confirming that the easiest items are completed using a more ER-like strategy and that a CM strategy is preferred for the most difficult items. Analyses also demonstrated discrepancies between failed and successful items. Success was linked to shorter resolution times, indicating that prolonged exploration of an item does not lead to an effective reasoning. As anticipated, the correct answer was explored longer and associated with both greater model exploration and fewer gaze transitions for successful items than failed items. The composite score was also higher for successful items. Consequently, the CM strategy appears to be the most efficient strategy. This confirms previous observations in the literature that the CM strategy outperforms the ER strategy in APM (Bethell-Fox et al., 1984; Carpenter et al., 1990; Hayes et al., 2011; Vigneau et al., 2006) and extends these results to the RSPM version, in agreement with the recent data in a young adult experimental group (18-year-olds; Gonthier et al. 2024).

Our results strongly confirm their findings concerning the effects of difficulty on solving strategy in adults in the RSPM. The effect of level of difficulty on the adaptive strategies used by the participants seems to be modulated since opposite results were observed with APM (Gonthier & Roulin, 2020) and RSPM. There are several possible explanations for this difference. Firstly and “simply” it could be due to the manner in which difficulty increases throughout the test. In APM, the difficulty of items is defined as a continuum in the order of presentation, whereas in RSPM the difficulty is discontinuous as the final items of a series are

more difficult than first items of the following series but easier than its final items. The difference between the construction of the two versions could then explain the absence of consistency of the results concerning adaptive strategies when facing difficulty. A second explanation could be, as proposed by Gonthier et al. (2024), that the difference in the level of difficulty between the RSPM and APM versions is high, especially for the last items. The increasing difficulty in APM may lead to a higher cognitive cost (fatigue and motivation), which could encourage a switch to the less costly strategy in APM (Gonthier & Roulin, 2020). Conversely, the cost/benefit ratio for performance may be more favorable in the RSPM version, facilitating an adaptive CM-type strategy aimed at maintaining performance levels. By replicating previous results, this study further consolidates the understanding of adaptive phenomena related to problem-solving strategies in response to difficulty. It also highlights that the composite score is a good index to investigate these strategic modulations and their effects on item performance levels.

Inter-individual variability

Inter-individual variability was assessed with respect to performance levels and visual behavior. Even if our results suggest a trend, they indicate no significant correlation between total resolution time and success. Thus, it appears that individuals respond more or less quickly regardless of their real ability to perform. As scores and resolution times were found to be correlated at item level, it suggests that greater variability can exist at individual level. While these results are not consistent with those of Vigneau et al. (2006) and de Winter et al. (2023) who reported a positive correlation between the average resolution time and the percentage of correct answers in the APM version, they were expected. Indeed, the difference in instructions and procedure between the two versions of the test (i.e., the APM version is time-limited whereas the RSPM is not), may have reduced the possible variability between subjects, explaining the lack of correlation between time and score obtained in our study.

Performance was also found to be influenced by the average visual behavior of the participants. Individuals who explore the model area more tend to perform better, which was expected from the previous results in adults (Vigneau et al., 2006; Winter et al., 2022) but no correlation was found with the gaze transitions ratio. This discrepancy reveals the weakness of eye tracking indices when considered separately. Finally, the highest performance scores were found for individuals with the highest average composite scores, designed to reflect a CM-like strategy. This result, in light of those concerning the gaze indices and previously identified strategies (Carpenter et al., 1990), corroborates and reinforces the established link between strategy and

performance, even at individual level. By considering an integrated unit rather than separate gaze indices, this study confirms the relevant use of the composite score as a good index to investigate inter-individual variability in strategies.

This study shows a strong link between strategy and performance, at both item and individual levels. Solving strategy is modulated throughout the test according to the difficulty of items, underlining the importance of taking intra-test factors into consideration and of defining them clearly. The inter-individual variability in performance could be explained by the preferential use of the CM strategy, the most effective strategy. We thus replicate some of the results obtained by Gonthier et al. (2024) concerning the strategies used by adults to resolve RSPM. Although our conclusions are similar to those obtained earlier for the APM version, results differ concerning the strategy used across the items in the two versions. The difficulty in APM promotes switching from the CM to the ER strategy, whereas it has the opposite effect in the RSPM where the strategy switches from ER to CM. We did not carry out intra-individual analyses but it would be interesting to do so in order to see whether all individuals modulate the strategy in the same way during the RSPM. In APM, intra- and inter-individual variability has been identified and investigated (Gonthier & Roulin, 2020). It appears that the switch is modulated by individual factors such as working memory capacity or the need for cognition (i.e. the tendency to engage in and enjoy complex thinking). Further research is needed to gain a better understanding on the determinants of adaptive behavior in response to difficulty during Raven's Matrices.

The results concerning the composite score, which was designed to reflect strategy at the item or individual level, are a demonstration of its consistency and reliability for strategic identification. The literature identifies various eye-tracking indices as markers of previously identified strategies, but no study has so far implemented these values in a single construct. Since this score integrates different eye indices and accounts for their differences in a quantitative way, it seems to be more representative of the strategy than the indices considered independently. It could facilitate analyses for future research, in particular to investigate the role of strategies in specific populations identified as performing better or worse in this type of task. For example, it would be relevant to assess the implication of these strategies on the sometimes-improved performances found in autism spectrum disorder (Soulières et al., 2009). Other analyses could be carried out to assess the influence of the item nature and rule on the strategy employed. Categorizing items by the logical rule required (linear progression, symmetry, rotation, addition or subtraction...) could reveal whether rule type affects success

and visual strategy. Exploring the relationship between error type and visual exploration could also clarify reasoning failures, as past research has shown the relevance of studying error types (Kunda et al., 2016; Laurence & Macedo, 2023). Since this was an exploratory study, increasing the participant sample is necessary to better capture the full variability in RPM.

In conclusion, this study confirms and extends previous findings in the literature regarding the visual strategies used to solve reasoning tests and demonstrates that none of the results of the APM can be globally transposed to the RSPM version, especially those concerning the influence of level of difficulty. This version, which is better suited to studying specific populations, paves the way for future research including investigations into the causes of the performance differences. As the present study was conducted using a mobile eye-tracking device (glasses), it offered more ecological test conditions than the methodology used in previous studies, which involved digitizing the test. It therefore demonstrates that eye tracking can be used in a real test situation and that the information it provides can be obtained without the need for test digitization. In addition, we proposed a simple index adapted to this test, the composite score, to characterize the strategy used at both the item and the individual level. It could be adapted to other visuospatial tasks widely used in clinical practice such as the block design task (Kohs, 1920) from Weschler scales. This approach seems relevant for further investigation in order to gain a better understanding of the inter-individual variability in intelligence and visuo-spatial abilities.

References

- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ) : Evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>
- Belacchi, C., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(7), 1010-1020. <https://doi.org/10.1080/09541440903184617>
- Bethell-Fox, C. E., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1984). Adaptive reasoning : Compositional and eye movement analysis of geometric analogy performance. *Intelligence*, 8(3), 205-238. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(84\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0160-2896(84)90009-6)

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

- Bors, D. A., & Vigneau, F. (2003). The effect of practice on Raven's Advanced Progressive Matrices. *Learning and Individual Differences, 13*(4), 291-312.
[https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(03\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(03)00015-3)
- Brouwers, S. A., Van de Vijver, F. J. R., & Van Hemert, D. A. (2009). Variation in Raven's Progressive Matrices scores across time and place. *Learning and Individual Differences, 19*(3), 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.10.006>
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures : A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review, 97*, 404-431. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.97.3.404>
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology, 155*, 49-62.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Dawson, M., Soulières, I., Ann Gernsbacher, M., & Mottron, L. (2007). The Level and Nature of Autistic Intelligence. *Psychological science, 18*(8), 657-662.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x>
- DeShon, R. P., Chan, D., & Weissbein, D. A. (1995). Verbal overshadowing effects on Raven's advanced progressive matrices : Evidence for multidimensional performance determinants. *Intelligence, 21*(2), 135-155. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(95\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0160-2896(95)90023-3)
- de Winter, J. C. F., Dodou, D., & Eisma, Y. B. (2023). Responses to Raven matrices : Governed by visual complexity and centrality. *Perception, 52*(9), 645-661.
<https://doi.org/10.1177/03010066231178149>
- Diu, A. (2024). *Materials for the CSS and ACCES [Open Science Framework data repository]*. <https://osf.io/fetjs/>
- Gonthier, C., Harma, K., & Gavornikova-Baligand, Z. (2024). Development of reasoning performance in Raven's matrices is grounded in the development of effective strategy use. *Journal of Experimental Psychology. General, 153*(3), 689-705.
<https://doi.org/10.1037/xge0001518>
- Gonthier, C., & Roulin, J.-L. (2020). Intraindividual strategy shifts in Raven's matrices, and their dependence on working memory capacity and need for cognition. *Journal of Experimental Psychology: General, 149*(3), 564-579.
<https://doi.org/10.1037/xge0000660>
- Gonthier, C., & Thomassin, N. (2015). Strategy use fully mediates the relationship between working memory capacity and performance on Raven's matrices. *Journal of*

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

Experimental Psychology: General, 144, 916-924.

<https://doi.org/10.1037/xge0000101>

Hayes, T. R., Petrov, A. A., & Sederberg, P. B. (2011). A novel method for analyzing sequential eye movements reveals strategic influence on Raven's Advanced Progressive Matrices. *Journal of Vision*, 11(10), 10. <https://doi.org/10.1167/11.10.10>

Jarosz, A. F., Raden, M. J., & Wiley, J. (2019). Working memory capacity and strategy use on the RAPM. *Intelligence*, 77, 101387. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2019.101387>

Jastrzębski, J., Ciechanowska, I., & Chuderski, A. (2018). The strong link between fluid intelligence and working memory cannot be explained away by strategy use. *Intelligence*, 66, 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.11.002>

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence : An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 637-671.
<https://doi.org/10.3758/bf03196323>

Kohs, S. C. (1920). The Block-Design Tests. *Journal of Experimental Psychology*, 3(5), 357-376. <https://doi.org/10.1037/h0074466>

Kunda, M., Soulières, I., Rozga, A., & Goel, A. K. (2016). Error patterns on the Raven's Standard Progressive Matrices Test. *Intelligence*, 59, 181-198.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.09.004>

Laurence, P. G., & Macedo, E. C. (2023). Cognitive strategies in matrix-reasoning tasks : State of the art. *Psychonomic Bulletin & Review*, 30(1), 147-159.
<https://doi.org/10.3758/s13423-022-02160-7>

Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, 27(2), 364-382. <https://doi.org/10.3758/BF03211420>

Mackintosh, N. J. (2011). History of Theories and Measurement of Intelligence. In R. J. Sternberg & S. B. Kaufman (Éds.), *The Cambridge Handbook of Intelligence* (p. 3-19). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511977244.002>

Mackintosh, N. J., & Bennett, E. S. (2005). What do Raven's Matrices measure? An analysis in terms of sex differences. *Intelligence*, 33(6), 663-674.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.03.004>

Meo, M., Roberts, M. J., & Marucci, F. S. (2007). Element salience as a predictor of item difficulty for Raven's Progressive Matrices. *Intelligence*, 35(4), 359-368.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.10.001>

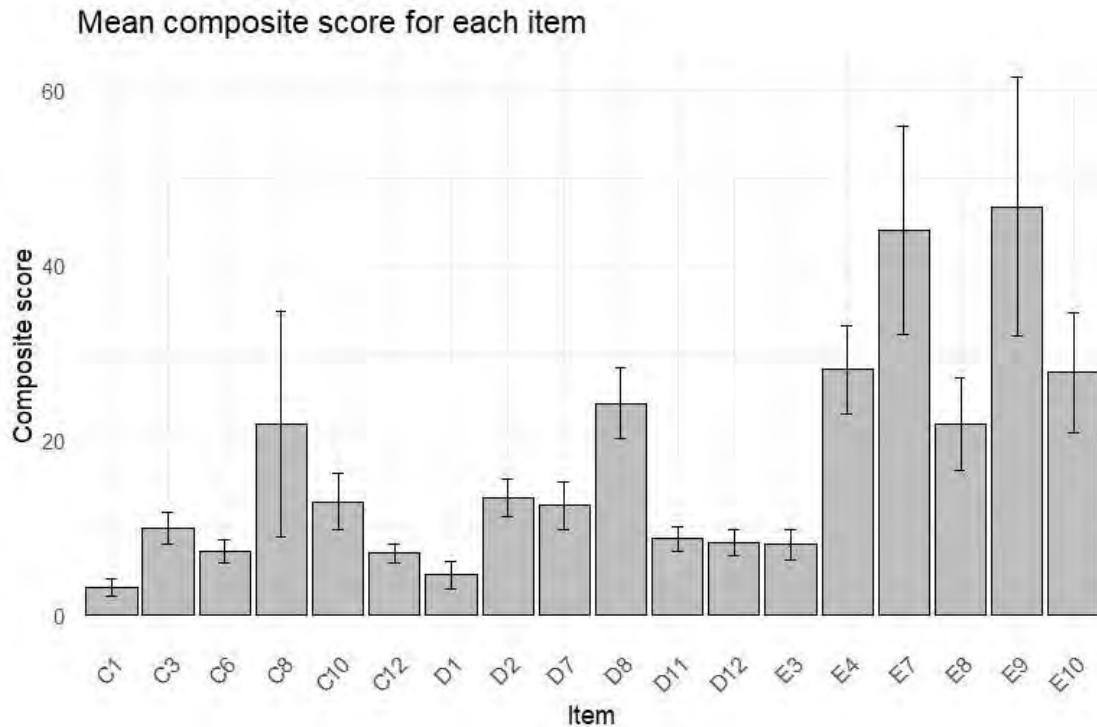
Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

- Mitchum, A. L., & Kelley, C. M. (2010). Solve the problem first: Constructive solution strategies can influence the accuracy of retrospective confidence judgments. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 36(3), 699-710. <https://doi.org/10.1037/a0019182>
- Nader, A.-M., Courchesne, V., Dawson, M., & Soulières, I. (2016). Does WISC-IV Underestimate the Intelligence of Autistic Children? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(5), 1582-1589. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2270-z>
- Neisser, U. (1998). Introduction: Rising test scores and what they mean. In *The rising curve: Long-term gains in IQ and related measures* (p. 3-22). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10270-016>
- Niehorster, D. C., Santini, T., Hessels, R. S., Hooge, I. T. C., Kasneci, E., & Nyström, M. (2020). The impact of slippage on the data quality of head-worn eye trackers. *Behavior Research Methods*, 52(3), 1140-1160. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01307-0>
- Raven, J. (2000). The Raven's Progressive Matrices: Change and Stability over Culture and Time. *Cognitive Psychology*, 41(1), 1-48. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0735>
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998a). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales: Section 3, Standard progressive matrices*. Oxford Psychologists Press.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998b). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales: Section 4, Advanced progressive matrices*. Oxford Psychologists Press.
- Ren, X., Goldhammer, F., Moosbrugger, H., & Schweizer, K. (2012). How does attention relate to the ability-specific and position-specific components of reasoning measured by APM? *Learning and Individual Differences*, 22(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.09.009>
- Ren, X., Schweizer, K., Wang, T., Chu, P., & Gong, Q. (2017). On the relationship between executive functions of working memory and components derived from fluid intelligence measures. *Acta Psychologica*, 180, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.09.002>
- Rushton, J. P., Skuy, M., & Bons, T. A. (2004). Construct Validity of Raven's Advanced Progressive Matrices for African and Non-African Engineering Students in South

Identifying Problem-Solving Strategies in Raven's Standard Matrices Through Eye-Tracking

- Africa. *International Journal of Selection and Assessment*, 12(3), 220-229.
<https://doi.org/10.1111/j.0965-075X.2004.00276.x>
- Schweizer, K., Goldhammer, F., Rauch, W., & Moosbrugger, H. (2007). On the validity of Raven's matrices test: Does spatial ability contribute to performance? *Personality and Individual Differences*, 43(8), 1998-2010. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.06.008>
- Smirni, D. (2020). The Raven's Coloured Progressive Matrices in Healthy Children: A Qualitative Approach. *Brain Sciences*, 10(11), 877.
<https://doi.org/10.3390/brainsci10110877>
- Snow, R. E. (1978). Eye Fixation and Strategy Analyses of Individual Differences in Cognitive Aptitudes. In A. M. Lesgold, J. W. Pellegrino, S. D. Fokkema, & R. Glaser (Eds.), *Cognitive Psychology and Instruction* (p. 299-308). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2535-2_27
- Snow, R. E. (1980). Aptitude Processes. In *Aptitude, Learning, and Instruction*. Routledge.
- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Human Brain Mapping*, 30(12), 4082-4107.
<https://doi.org/10.1002/hbm.20831>
- Trojano, L., Siciliano, M., Cristinzio, C., & Grossi, D. (2018). Exploring visuospatial abilities and their contribution to constructional abilities and nonverbal intelligence. *Applied Neuropsychology: Adult*, 25(2), 166-173.
<https://doi.org/10.1080/23279095.2016.1269009>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Individual differences in working memory capacity and learning: Evidence from the serial reaction time task. *Memory & Cognition*, 33(2), 213-220. <https://doi.org/10.3758/bf03195310>
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.003>
- Vigneau, F., Caissie, A. F., & Bors, D. A. (2006). Eye-movement analysis demonstrates strategic influences on intelligence. *Intelligence*, 34(3), 261-272.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.11.003>
- Waschl, N. A., Nettelbeck, T., & Burns, N. R. (2017). The Role of Visuospatial Ability in the Raven's Progressive Matrices. *Journal of Individual Differences*, 38(4), 241-255.
<https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000241>

Supplementary Data



Supplementary Figure. *Average composite score for each item analyzed with eye-tracking*

Note. Items are listed in chronological order of presentation. Each dot represents data from one participant. $N = 27$

Étude 3

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Stratégies Visuelles pour la résolution des Matrices de Raven :
Une étude sur l'autisme

A. DIU, L. BOUVET, M. BATTY

Version soumise dans la revue *Reseach in Autism*
(Publication en septembre 2025)

Résumé

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) a été associé à de meilleures performances aux Matrices Progressives de Raven (RPM), bien que les mécanismes sous-jacents à cet avantage restent encore mal connus. Chez les individus au développement typique (NT), deux stratégies principales de résolution ont été décrites pour les RPM : l'appariement constructif (Constructive Matching, CM) et l'élimination de réponse (Elimination Response, ER). Cette étude visait à examiner les différences entre groupes dans l'utilisation de ces stratégies à l'aide de lunettes d'eye-tracking, permettant une passation en conditions écologiques. Quarante-six adultes (19 TSA, 27 NT) ont complété la version standard des RPM tout en portant un dispositif mobile de suivi oculaire. Un score composite reflétant la tendance stratégique a été calculé à partir du pourcentage d'exploration des zones de matrice et de réponse, ainsi que du nombre de transitions entre elles. Les résultats n'ont révélé aucune différence significative entre les groupes en termes de précision ou de temps de résolution. Les scores composites les plus élevés, indiquant un recours plus important à la stratégie CM, étaient fortement associés à de meilleures performances, comme rapporté dans des travaux antérieurs. Par ailleurs, pour les items réussis, les individus autistes montraient une préférence plus marquée pour la stratégie CM que les individus NT, bien que les deux groupes aient modulé leur stratégie en fonction de la difficulté des items de manière similaire. Ces résultats suggèrent que les personnes autistes ont tendance à mobiliser un raisonnement visuel plus analytique et constructif, potentiellement soutenu par des traits cognitifs liés à l'autisme. En l'absence d'un avantage de performance avec les RPM de difficulté modérée utilisés ici, nous discutons de la possibilité que la complexité des tâches et la capacité d'adaptation à cette complexité soient des éléments clés pour révéler des différences entre groupes. De futures recherches s'appuyant sur des tâches plus complexes et des échantillons plus diversifiés pourraient permettre de mieux comprendre comment les profils cognitifs autistiques influencent les stratégies de raisonnement et les performances aux RPM.

Mots-clés : Autisme, stratégie de résolution, Matrices Progressives de Raven, eye-tracking

Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) has been associated with superior performance on Raven's Progressive Matrices (RPM), yet the mechanisms underlying this advantage remain unclear. In typically developing (TD) individuals, two main solving strategies have been described for RPM: Constructive Matching (CM) and Elimination Response (ER). This study aimed to investigate group differences in the use of these strategies through eye-tracking glasses, allowing an ecological completion. Forty-six adults (19 ASD, 27 TD) completed the standard RPM while wearing the mobile eye-tracking device. A composite score reflecting strategic tendency was calculated based on the percentage of matrix and response areas exploration and the number of transitions between them. Results revealed no significant group differences in accuracy or resolution time. Higher composite scores—indicating greater use of the CM strategy—were strongly associated with better performance across participants, as reported previously. Moreover, for successful items, autistic individuals showed a more pronounced preference for the CM strategy than TD individuals but both groups modulated their strategy according to item difficulty in a similar manner. These findings suggest that autistic individuals tend to engage in more analytical and constructive visual reasoning, possibly supported by cognitive traits associated with autism. As no performance advantage emerges with the moderately difficult RPM used here, we discuss the possibility that task complexity and adaptability to complexity may be key to revealing group differences. Future research using more complex tasks and diverse samples may clarify how autistic cognitive profiles affect reasoning strategies and RPM performance.

Key words: Autism, solving strategy, Raven's Progressive Matrices, eye-tracking

Highlights

- A composite eye-tracking score reflects strategy use in Raven's Matrices
- Constructive Matching strategy is associated with better performance
- Autistic adults rely more on the effective Constructive Matching strategy
- Both groups adjust strategies based on task difficulty

Introduction

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition that manifests in early childhood and persists throughout life. According to the DSM-5, autism is characterized by differences in social interaction and communication, as well as restricted interests and stereotyped behaviors; sensory atypia have also been described (American Psychiatric Association, 2013). In addition to these distinctive characteristics, studies have demonstrated that autistic individuals exhibit particular aptitudes in specific domains such as visuospatial abilities (Caron et al., 2006; Dawson et al., 2007). For example, autistic people outperform typically developing (TD) individuals at identifying a shape hidden within another in the Embedded Figures task, or at constructing a 2D pattern with cubes in the Block design task (see metanalysis from Muth et al., 2014). Early results on this topic (Shah & Frith, 1983, 1993) contributed to the emergence of the “weak central coherence” theory which hypothesized a tendency to focus on details in the context of a deficit in global processing (Happé, 1999; Shah & Frith, 1983). These findings were initially interpreted as indicative of a low-level intelligence, limited to perceptual skills and shape manipulation. However, the performance of autistic people on Raven's Progressive Matrices —one of the most complex tests of general intelligence—has challenged this view, suggesting that they also have high-level analogical reasoning skills (Dawson et al., 2007; Morsanyi & Holyoak, 2010). This is consistent with the “enhanced perceptual functioning” theory proposed by Mottron et al. (2006), which suggests a preference for local processing supported by superior perceptual skills rather than a deficit in global integration.

Raven's Progressive Matrices (RPM) are a non-verbal test designed to assess fluid intelligence, i.e. the ability to reason and solve problems independently of acquired knowledge (Raven et al., 1998; Raven & Raven, 2003). The test consists of 5 series of 12 items, each corresponding to a sequence of incomplete visual patterns that the participant must complete by identifying the underlying rule. There are several versions of the RPM: Standard Progressive Matrices (SPM), designed for the general population; Advanced Progressive Matrices (APM), which are more complex and suitable for individuals with a high cognitive ability; and Color Progressive Matrices (CPM), designed for young children or people with impaired cognitive skills (Raven et al., 1998). Dawson et al. (2007) pointed out that the competences of autistic individuals are not limited to low-level perceptual abilities but also extend to complex analytical skills, thus paving the way for numerous studies on this task in the context of autism. For example, autistic people have been shown to score higher on the RPM than on the Wechsler scales (e.g.

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Courchesne et al., 2015; Nader et al., 2016; Simard et al., 2015; Soulières et al., 2011). These findings highlight that verbal tests tend to underestimate the intelligence of autistic individuals due to language characteristics in autism, making tools based on visual and non-verbal reasoning more suitable to assess it. At the same time, studies have also reported preserved (Meilleur et al., 2014; Morsanyi & Holyoak, 2010; Yamada et al., 2012) or even superior performances on RSPM in autistic versus non-autistic individuals. While some studies focusing specifically on children diagnosed with Asperger's syndrome have shown higher scores than among TD children (Hayashi et al., 2008), better resolution times without score differences have been observed in the larger autistic population (Simard et al., 2015; Soulières et al., 2009). These differences in performance suggest that several factors could influence the success of autistic people on this task. Among these, one concerns visual exploration strategies, which could play a key role in the way these individuals analyze and solve matrices.

Based on both behavioral observations and eye-tracking data, two primary strategies have been identified for solving Raven's Progressive Matrices (Bethell-Fox et al., 1984; Snow, 1978, 1980). The first, known as "constructive matching" (CM), involves a detailed analysis of the matrix to mentally construct a hypothetical response before comparing it to the available response options. In this approach, individuals extract the underlying rule, generate a mental representation of the correct answer, and then scan the response options to find the matching one. The second strategy, referred to as "elimination of response" (ER), takes a more trial-and-error approach in which participants repeatedly compare each response option against the matrix until they identify the correct answer. These different strategies have been further validated using advanced eye-tracking techniques (Carter & Luke, 2020), which allow for the precise measurement of gaze indices. Specifically, the CM strategy is associated with prolonged focus on the matrix and fewer gaze shifts between the matrix and response options, whereas the ER strategy is characterized by more frequent shifts between the matrix and response options (Bethell-Fox et al., 1984; Vigneau et al., 2006). These strategies have been shown to influence performance, with higher scores and shorter response times associated with gaze indices linked to the CM strategy (Hayes et al., 2011; Liu et al., 2023; Vigneau et al., 2006). Previous research has also shown that the strategy is adapted in order to maintain performance throughout the SPM test as the difficulty increases, switching from the ER to the CM strategy (Gonthier et al., 2024). Furthermore, the CM strategy has been observed to be associated with higher working memory capacity and intelligence and these individual cognitive factors seem to shape the strategy switch during the course of the test as individuals with superior working memory

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

capacity and intelligence are more likely than others to rely on the CM strategy on the most difficult items (Gonthier & Roulin, 2020; Gonthier & Thomassin, 2015; Liu et al., 2023). These findings highlight the importance of considering both internal test factors and individual factors in understanding the determinants of problem-solving strategies.

In the ASD context, eye-tracking studies have highlighted specificities in visual exploration (e.g. Bast et al., 2021; Tan et al., 2018). As few studies have used this technique in visuospatial tasks, our current understanding of the visual strategies used by the ASD population is limited and does not allow us to relate them to existing cognitive theories. Thus, differences reported in the literature regarding RPM performance between autistic and non-autistic individuals may be driven by different strategic preferences induced by an atypical visual behavior. The aim of the present eye-tracking study was therefore to explore strategic differences, as defined in the literature, between autistic and non-autistic individuals. To investigate this further, a composite score based on gaze indices (exploration time of the matrix, exploration time of response options and gaze transitions between matrix and responses) was used. This score, which provides a quantitative measure of strategy use for each item and participant, was designed to reflect a tendency towards the ER strategy when low, and a tendency towards the CM strategy when high. Based on the existing literature, we hypothesize that performance differences could emerge between autistic and non-autistic individuals on the RPM. Higher composite scores are expected to correlate with better performance, indicating greater reliance on the CM strategy. We also expect autistic individuals to achieve higher composite scores than non-autistic ones, suggesting a distinct strategic preference in this population. Considering only successful items, this study examined the influence of group and item difficulty on strategy use, as well as the strategic consistency of individuals in each group to deepen our understanding of group differences. Analyses were carried out at both item and individual level, as recommended by Bors and Vigneau (2003), to provide a global understanding of strategic variability.

Method

Participants

Participants were recruited either from the local university or through social media. Inclusion criteria required good verbal comprehension skills as well as normal or corrected-to-normal vision. Visual acuity was assessed using the Monoyer scale (3m), a standard optometric test, ensuring that visual impairments did not introduce biases into the data. Individuals in the TD group were excluded if they had a history of neurological or psychiatric disorders or if they

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

scored above the cutoff (32) of the Autistic Quotient (Baron-Cohen et al., 2001). All participants in the ASD group had received a formal diagnosis (DSM-IV or DSM 5) using the Autism Diagnostic Observation Schedule (ADOS 2; Lord et al., 2012) and/or the revised version of the Autism Diagnostic Interview (ADI-R; Rutter et al., 2003) or other standardized tools; the diagnosis was confirmed by a medical doctor. Five participants were excluded from the analysis due to insufficient eye-tracking signal quality (i.e. more than half of their data could not be extracted due to a signal below 60%), including two TD and three ASD individuals.

The final sample consisted of 46 participants, aged between 18 and 40 years ($M = 25.3$ years; $SD = 5.28$) including 27 TD ($M_{age} = 25.11$; 48% female) and 19 ASD ($M_{age} = 25.68$; 42% female) participants. Groups did not differ significantly in terms of age ($U = 244$, $p = .788$, $r = .05$), sex distribution ($\chi^2 = 0.164$, $df = 1$, $p = .685$, Cramer's V = 0.060), educational level ($U = 233$, $p = .591$, $r = -0.09$) or verbal abilities, as assessed by the Similarities ($t(44) = -0.32$, $p = .752$, $d = -0.10$) and Vocabulary ($t(44) = -0.12$, $p = .909$, $d = -0.03$) subtests of the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV; Wechsler, 2008).

Procedure

Experiments took place in a quiet and isolated room to avoid external distractions. After providing informed consent, participants completed a visual acuity assessment and performed the Standard Raven Progressive Matrices (SPM) task while wearing an eye-tracking device. They were seated approximately 45 cm from the stimulus book which was placed on a stand tilted at approximately 60° to ensure optimal eye-tracking recording. For each participant, a calibration was conducted before the task, allowing free head movement during the session. Instructions were given using the first item as a training trial. Neurotypical participants completed the Autistic Quotient questionnaire (Baron-Cohen et al., 2001) via the online platform LimeSurvey to screen for potential ASD. All participants received a gift voucher as compensation. The study was part of a larger research project that has received the approval of the University of Toulouse's ethics committee (#2021-446) and that follows the General Data Protection Regulation (GDPR).

Raven's Progressive Matrices

Raven's Standard Progressive Matrices (SPM; Raven & Raven, 2003) consist of five series (A to E), each containing 12 items. Difficulty increases progressively within and across series, ensuring that the last items in a series are more difficult than the first items in the next one. For each item, participants were presented with a matrix of visual patterns (3x3) following a logical rule and containing a missing element. They were asked to select (by saying aloud) the correct

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

figure from different possible responses to complete the matrix and could correct themselves if necessary. As there were 60 items and each correct answer was worth one point, the total score ranged from 0 to 60. There was no time limit on this version of the test.

Data Acquisition and Pre-processing

Data were collected using SMI ETG 2w (version 2.6) mobile eye-tracking glasses to acquire data under ecological conditions. Combined with iView ETG software, this setup recorded the visual scene while tracking gaze position through infrared cameras (binocular tracking) with a sampling frequency of one image every 16 milliseconds. The device was compatible with participants wearing contact lenses or corrective lenses up to a certain prescription level (± 4 diopters). Prior to the test, a three-point calibration was conducted for each participant to ensure optimal tracking accuracy. Raw eye-tracking data were processed using BeGaze 3.7 software (SensoMotoric Instruments). The software's Semantic Gaze Mapping tool was used to align fixation data with reference images of each test item. When necessary after acquisition, an offset correction was applied to correct for minor shifts in gaze alignment (see Holmqvist et al., 2012). Two Areas of Interest (AOIs) were defined on the reference images as the model -or matrix-area and the response options area (see Figure 1). They were sized slightly larger than their target elements to account for potential slippage of the eye-tracking glasses. Their size and position remained consistent across all items.

Series A and B were considered as practice and thus excluded from the analysis, which focused on 18 items selected from series C, D, and E of the SPM test. Within each series, we defined three levels of complexity respecting the test structure: level 1 for the first four items, level 2 for the middle four, and level 3 for the last four. Two items from each level were selected based on TD participants' success rates to approximate a 50% success rate and to allow for a comparison between successful and failed items. The final selection included C1, C3, C6, C8, C10, C12, D1, D2, D7, D8, D11, D12, E3, E4, E7, E8, E9, and E10. Some items were excluded due to insufficient eye-tracking signal quality (<60% signal coverage per item); this concerned 3 items from two TD participants and 13 items from seven ASD participants. Consequently, the final dataset included 812 items (329 from ASD and 483 from TD participants).

In addition to the success level of each item, extracted variables included an *item resolution time* (i.e. duration between the first gaze on the item and the answer), an *exploration percentage* within each AOI (i.e. time percentage spent on each defined area relative to item resolution time) and a *number of gaze transitions* (frequency of gaze transitions between matrix and response areas). A *composite score* was calculated for each item as: Matrix area exploration

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

time [%]/ Response area exploration time [%]) * (Item resolution time [s] / number of gaze transitions). It was designed to quantify participants' visual strategies and reflect a tendency toward an ER strategy when low and a CM strategy when high (see Figure 1). In addition, the mean composite score was calculated for each participant to reflect their overall strategic tendency throughout the test. In order to evaluate intra-individual variability of visual exploration through the test, the *median absolute deviation* (MAD) of the composite score was also calculated for each participant (see a similar analysis by Kovarski et al., 2019). General performance variables such as entire test resolution time and score for each participant were also considered.

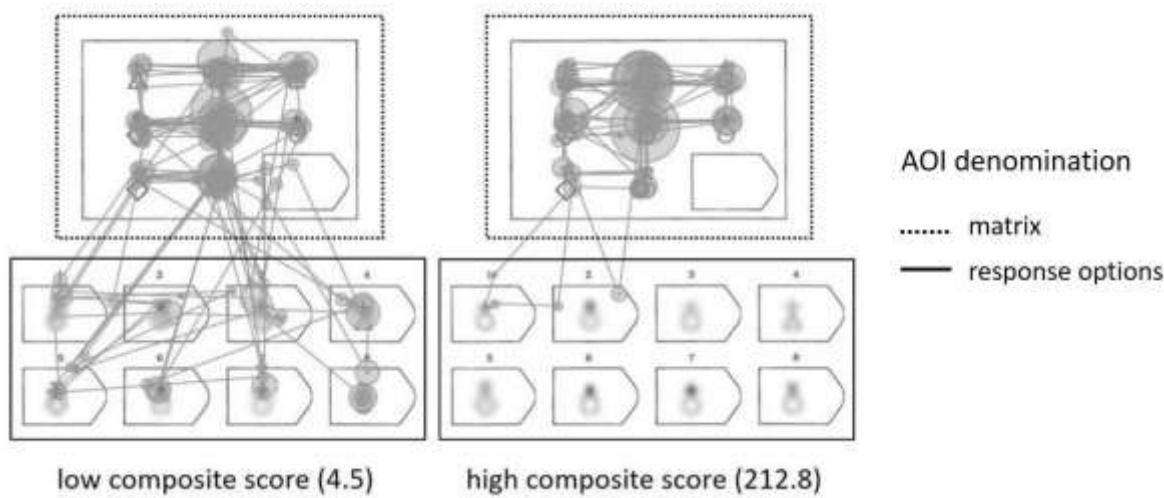


Figure 1. Illustration of Areas of Interest (AOIs) and Strategic Scan Path Patterns for an RPM Item

Note. The figure displays two scan path patterns for item E7 of the RPM task, in which circles represent gaze fixations (size is proportional to duration) and lines indicate eye movements. The scan path on the left corresponds to a low composite score associated with the ER strategy and the one on the right corresponds to a high composite score associated with the CM strategy. AOIs are shown for model and response areas, as described in the legend. Visual stimuli on the item have been blurred for copyright compliance.

Statistical analyses

To better investigate both cognitive processes and individual differences, analyses were conducted at two levels: the item level, which captures the influence of task-internal factors, and the participant level, which reflects interindividual variability in strategy use (Bors & Vigneau, 2003). General performance differences between groups were assessed using Mann-Whitney tests for independent data. The effect of strategy on performance was examined at the

item level by comparing the composite scores of successful and failed items using Mann-Whitney tests. At the participant level, Spearman correlations were conducted to assess the relationship between mean composite scores and overall test performance. To analyze group differences in strategy use, Mann-Whitney tests were used to compare composite scores between groups at the item level, as well as the mean composite scores of individuals at the participant level. To further explore the effects of group and difficulty factors on the composite score in successful items, we used a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) with a Gamma distribution and a log link function. This approach was chosen based on the recommendations of Ng and Cribbie (2017), given the strictly positive and right-skewed nature of the variable. Predictor significance was assessed with a significance threshold of $\alpha = .05$. The model included Group (ASD, TD), Series (C, D, E), and Complexity (1, 2, 3) as fixed effects, along with their interactions. A random intercept for participants (id) was included to account for individual variability. Estimated marginal means are provided in the supplementary materials. Lastly, participants' strategic consistency was investigated by comparing MAD between group using a Mann-Whitney test, and by Spearman correlations to examine its relationship with the overall performance of participants.

Statistical analyses were performed using Jamovi (2.6.17) and JASP (version 0.19.3) software, with the critical α -value set to 0.05.

Results

General performance

Regarding the overall performance on Raven's Matrices, our findings indicate no significant discrepancy in scores between ASD ($M = 51.9$, $SD = 3.89$) and TD ($M = 50.0$, $SD = 5.21$) groups, $U = 195$, $p = .172$. Concurrently, scores on the 18 items selected for eye-tracking analysis did not differ between the ASD ($M = 13.5$, $SD = 2.48$) and TD ($M = 12.8$, $SD = 2.90$) groups, $U = 214$, $p = .339$. Comparative analyses of resolution time revealed no differences between groups, neither for the entire test, $U = 188$, $p = .126$, nor for the 18 items preselected for eye-tracking analysis, $U = 207$, $p = .277$.

Effect of strategy on success

In order to assess the influence of participants' visual exploration behavior on success, comparative analyses were carried out for composite scores between failed ($M = 10.0$, $SD = 14.9$; $N = 226$) and successful ($M = 25.8$, $SD = 50.8$; $N = 586$) items. These showed that

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

successful items were associated with higher composite scores than failed items, $U = 49249, p < .001$, reflecting that a strategic tendency towards constructive matching appears to be more effective than a strategy of response elimination. This finding aligns with the results observed at the individual level since individuals with the highest average composite scores tended to exhibit the highest scores (and inversely) on the 18 selected items, $\rho = 0.628, p < .001$, and on the entire test, $\rho = 0.668, p < .001$ (see Figure 2).

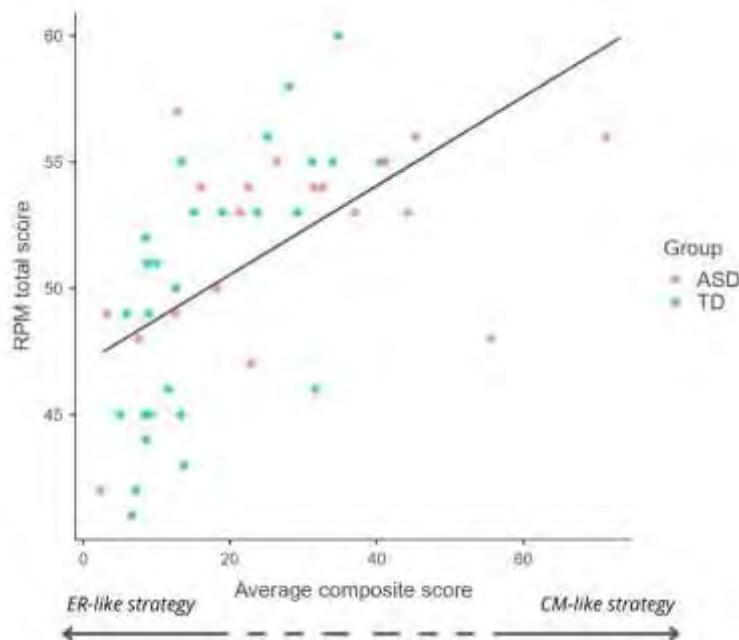


Figure 2. Correlation Plot between the Average Composite Score and the RPM Total Score of Participants

Note. The regression line illustrating the Spearman correlation is shown. Participants from each group are color-coded according to the legend. $\rho = 0.668, p < .001$.

Group effect on strategy throughout items

Comparative analyses on solving strategy between groups revealed that the mean composite scores of individuals with ASD ($M = 27.585, SD = 18.245$) were higher than those of TD participants ($M = 17.157, SD = 10.698$), $U = 168, p = .049$. Despite the lack of significant results, the same trend was observed at item level, as results indicated that ASD individuals ($M = 27.564; SD = 56.312$) tended to have higher composite scores than TD individuals ($M = 17.201; SD = 33.519$), $U = 73251, p = .059$. Thus, it appears that visual exploration in ASD generally tends towards a more constructive matching strategy than in TD.

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Concerning the group effects on the composite score for successful items, a main effect was found for the Group, $\chi^2 (1) = 6.017, p = .014$ (as illustrated in Figure 3), confirming that the composite score differed between groups, with more extreme constructive matching behavior in ASD individuals. Composite scores were also found to be affected by the two factors of item difficulty, series, $\chi^2 (2) = 127.731, p < .001$, and complexity, $\chi^2 (2) = 54.576, p < .001$, reflecting a strategic modulation during the test, regardless of the group. An interaction effect between these two factors was observed as expected, $\chi^2 (4) = 21.120, p < .001$, indicating that the item complexity effect on composite score differed across series. However, no interaction effects were found for either Group*Series, $\chi^2 (2) = 1.296, p = .523$, or Group*Complexity, $\chi^2 (2) = 1.273, p = .529$ (group data illustrated in Figure 4).

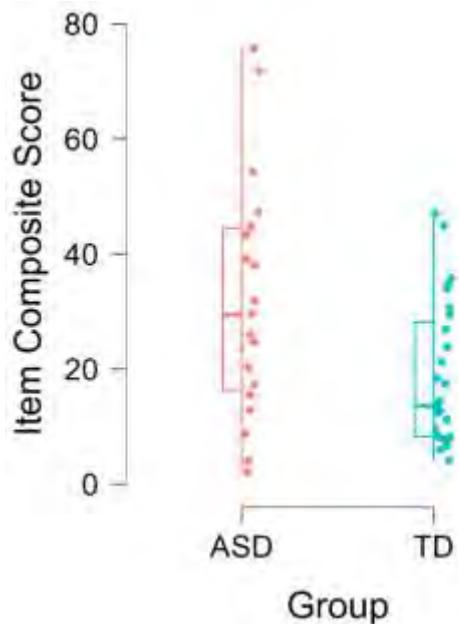


Figure 3. Composite Scores of Successful Items by Participants for ASD and TD Groups

Note. Only successful items were analyzed. As a random intercept for individual variability was considered in the GLMM analysis, each dot aggregates the composite scores and represents a participant.

Strategy Adaptation Throughout Items

Lastly, we investigated the strategy variability using the composite score MAD of individuals, to see whether adaptability led to better results. Although our results did not reveal any significant difference in strategic variability between groups, $U = 200, p = .214$, they showed that individuals who modulated their visual exploration behavior the most during the test were those who obtained the highest scores, both for the 18 items, $\rho = 0.605, p < .001$, and for the entire test, $\rho = 0.657, p < .001$ (see Figure 5).

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

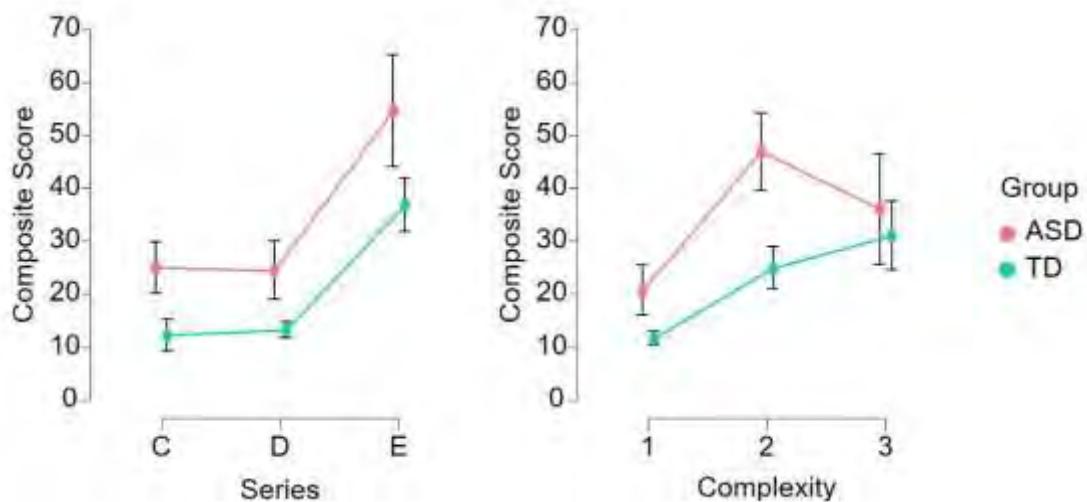


Figure 4. *Average Composite Score by Difficulty Factors (Series and Complexity) and Group*

Note. The graphs illustrate the average composite scores in each group (ASD, TD) according to series (left) and complexity (right) of items. Error bars represent standard errors.

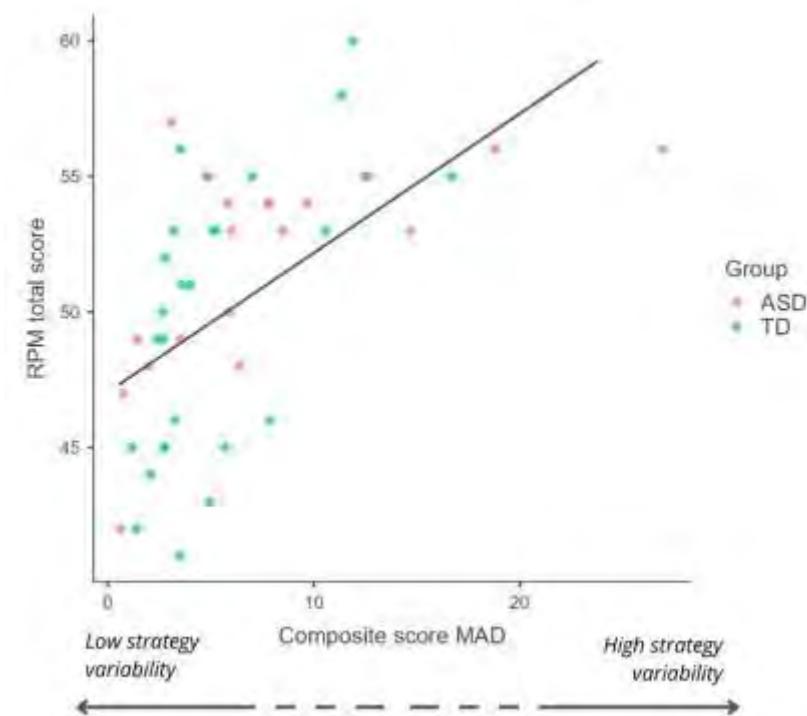


Figure 5. *Correlation Plot between the Median Average Deviation (MAD) of the Composite Score and the RPM Total Score of Participants*

Note. The regression line illustrating the Spearman correlation is shown. Participants from each group are color-coded according to the legend. $\rho = 0.657$, $p < .001$.

Discussion

Superior performances on the RPM task have sometimes been described in autism (Hayashi et al., 2008; Simard et al., 2015; Soulières et al., 2009). While it has been suggested that autistic individuals may use different problem-solving strategies, the nature of these strategies remains unclear. In typical development, eye-tracking research has helped to describe two main strategies to solving the RPM, namely the CM and ER-like strategies (Bethell-Fox et al., 1984; Vigneau et al., 2006). Thus, the aim of this study was to compare the visual behavior of autistic and neurotypical individuals through a composite score designed to reflect the tendency toward the strategies previously identified.

The present study revealed no significant difference in scores or resolution times between groups, suggesting that the general problem-solving abilities of autistic individuals are comparable to those of neurotypical individuals when assessed through the RPM test. This aligns with the observations reported in some previous studies, which did not observe significant differences in performance between autistic and non-autistic individuals either (Meilleur et al., 2014; Morsanyi & Holyoak, 2010; Yamada et al., 2012) but contrasts with research that has shown differences (Hayashi et al., 2008; Simard et al., 2015; Soulières et al., 2009). Although this cannot be confirmed, the differences in results may be due to variations in the sampling of autistic groups across studies, serving as a potential explanation for the lack of significant results in this study. Regarding visual exploration strategies through the composite score, our results showed that a CM-like strategy is generally more effective for solving the RPM compared to an ER-like one. This result, observed at both the item and participant levels, was expected and aligns with previous studies showing that the CM strategy is linked to better performance (e.g. Vigneau et al., 2006). It further validates our methodological approach by demonstrating that the composite score designed reliably reflects the strategy used by participants. Furthermore, when comparing strategy used between the ASD and TD groups, autistic individuals tended to rely more on the CM strategy throughout the test. This tendency was clearly observed at the participant level, while only a trend was found at the item level. This discrepancy may reflect a greater inter-individual variability or a stronger influence of internal difficulty test factors on strategic choice in one of the two experimental groups. However, when focusing on successful items, strategies were found to vary in a similar way across both groups as task difficulty increased, suggesting similar strategic adaptation mechanisms. Finally, autistic individuals showed a more pronounced CM-like exploration behavior, indicating that this strategy was not only more frequent but also more salient. Across

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

both groups, individuals who demonstrated greater variation in their visual exploration strategies throughout the test finally tended to perform better, with no significant differences in the degree of variation between groups. These results underscore the value of strategy adaptability in task performance.

Thus, the preference for the CM strategy observed in autistic people suggests a tendency toward a more analytical approach to problem-solving. It could be explained by several factors, as specific cognitive traits associated with autism could facilitate the use of this strategy. For example, their increased perceptual processing abilities (Mottron et al., 2006; Mukerji et al., 2021) could help them process information within the matrix more efficiently and extract underlying rules more easily. Additionally, a cognitive style characterized by visual thinking (Bled et al., 2021; Grandin, 2009) and a superior ability to maintain mental images (Bled et al., 2024) is likely to further support the CM strategy. Strong mental imagery skills may help them construct and retain a clear representation of the response before matching it to the given options. Furthermore, the increased systemizing abilities observed in autism (Baron-Cohen, 2009), which involve the tendency to analyze, categorize, and build systems based on logical rules and patterns, could make the CM strategy more intuitive. Since CM involves generating a response before systematically comparing it to the response options, autistic individuals might naturally favor this strategy due to their cognitive style. These previous interpretations offer possible cognitive explanations for the greater use of the CM strategy in autism, but this finding also raises questions in light of the existing literature. While working memory abilities have been shown to be positively correlated with the use of the CM strategy on the RPM task in the general population (Gonthier & Thomassin, 2015), several studies have reported impairments in working memory among autistic individuals, particularly in visuospatial working memory (see the meta-analysis of Habib et al., 2019). From this perspective, the preferential use of the CM strategy in autism is somewhat unexpected, given that it engages working memory to a greater extent than the ER strategy. This point highlights the need for further investigation into the cognitive mechanisms that underlie the use of this analytical strategy.

Despite a more frequent use of the CM strategy shown in autism and in other studies, we did not report performance differences between groups. This outcome may reflect the relatively moderate cognitive effort required by the standard version of the test (SPM), which might not be sufficient to reveal the advantage conferred by this strategic preference. The advanced version (APM), which is generally more difficult, could better highlight these differences in strategy and their influence on performance. Some studies in the neurotypical population have

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

shown that as task difficulty increases, individuals with higher cognitive abilities (i.e. intelligence and working memory) tend to use the CM strategy more, while those with lower cognitive abilities are more likely to rely on the ER strategy (Gonthier & Roulin, 2020; Liu et al., 2023). It would therefore be interesting to investigate whether this relationship is similarly observed in autistic individuals. Given their stronger overall preference for the CM strategy, this relationship may be less dependent on cognitive ability levels in autistic individuals than in neurotypical populations. This hypothesis corresponds to the idea that RPM, as a non-verbal measure of fluid intelligence, is better suited to the cognitive profile of autistic individuals compared to other intelligence tests (e.g. Courchesne et al., 2015; Nader et al., 2016; Simard et al., 2015; Soulières et al., 2011).

A limitation of this study and of many others in the field is the issue of representativity within the autism spectrum, as the type of tasks employed in it are not adapted to the full autism spectrum. Consequently, it does not allow for the diversity of cognitive functioning across the spectrum to be accounted for. This limitation underscores the importance of including individuals from a broader spectrum of profiles. Developing methodologies that can accommodate this diversity within the spectrum is crucial for a more comprehensive understanding of autism and, as Tan et al. (2018) suggest, for future research to include participants with different cognitive levels and explore how reasoning abilities and eye movements vary with ASD severity. Such approaches would not only provide more accurate insights into how different individuals address problem-solving tasks such as the RPM but also help clarify whether specific visual exploration patterns are intrinsic to autism or more closely linked to cognitive profiles frequently observed in this population. This would ultimately lead to a more precise understanding of the factors that shape cognitive strategies in autism.

In conclusion, this study provides valuable insights into the strategies employed by individuals with autism during problem-solving tasks in ecological conditions. Although we did not find any differences in performance between autistic and non-autistic individuals, our findings could explain the superior performance of autistic people sometimes found in previous studies using the Raven's Progressive Matrices task. These strategic differences might be underpinned by cognitive characteristics already identified in the literature, and testing these hypotheses in future studies could help to better understand the cognitive mechanisms that drive strategy use and performance in individuals with autism. To provide more reliable conclusions about fluid intelligence and cognitive profile in autism, it is essential to develop methods that better account for the full diversity within the spectrum. A more comprehensive understanding of these

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

processes through ecological conditions in autism is crucial for improving clinical assessments and, ultimately, for the development of interventions.

References

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-V)*. Elsevier Masson.
- Baron-Cohen, S. (2009). Autism: The empathizing-systemizing (E-S) theory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 68-80. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>
- Bast, N., Mason, L., Freitag, C. M., Smith, T., Portugal, A. M., Poustka, L., Banaschewski, T., Johnson, M., & Group, T. E.-A. L. (2021). Saccade dysmetria indicates attenuated visual exploration in autism spectrum disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 62(2), 149-159. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13267>
- Bethell-Fox, C. E., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1984). Adaptive reasoning: Compositional and eye movement analysis of geometric analogy performance. *Intelligence*, 8(3), 205-238. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(84\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0160-2896(84)90009-6)
- Bled, C., Guillon, Q., Mottron, L., Soulières, I., & Bouvet, L. (2024). Visual mental imagery abilities in autism. *Autism Research*. <https://doi.org/10.1002/aur.3192>
- Bled, C., Guillon, Q., Soulières, I., & Bouvet, L. (2021). Thinking in pictures in everyday life situations among autistic adults. *PLOS ONE*, 16(7), e0255039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255039>

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

- Bors, D. A., & Vigneau, F. (2003). The effect of practice on Raven's Advanced Progressive Matrices. *Learning and Individual Differences, 13*(4), 291-312.
[https://doi.org/10.1016/S1041-6080\(03\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S1041-6080(03)00015-3)
- Caron, M.-J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain, 129*(7), 1789-1802. <https://doi.org/10.1093/brain/awl072>
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology, 155*, 49-62.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Courchesne, V., Meilleur, A.-A. S., Poulin-Lord, M.-P., Dawson, M., & Soulières, I. (2015). Autistic children at risk of being underestimated : School-based pilot study of a strength-informed assessment. *Molecular Autism, 6*(1), 12.
<https://doi.org/10.1186/s13229-015-0006-3>
- Dawson, M., Soulières, I., Ann Gernsbacher, M., & Mottron, L. (2007). The Level and Nature of Autistic Intelligence. *Psychological science, 18*(8), 657-662.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x>
- Gonthier, C., Harma, K., & Gavornikova-Baligand, Z. (2024). Development of reasoning performance in Raven's matrices is grounded in the development of effective strategy use. *Journal of Experimental Psychology. General, 153*(3), 689-705.
<https://doi.org/10.1037/xge0001518>
- Gonthier, C., & Roulin, J.-L. (2020). Intraindividual strategy shifts in Raven's matrices, and their dependence on working memory capacity and need for cognition. *Journal of Experimental Psychology: General, 149*(3), 564-579.
<https://doi.org/10.1037/xge0000660>

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Gonthier, C., & Thomassin, N. (2015). Strategy use fully mediates the relationship between working memory capacity and performance on Raven's matrices. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144, 916-924.

<https://doi.org/10.1037/xge0000101>

Grandin, T. (2009). How does visual thinking work in the mind of a person with autism? A personal account. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1522), 1437-1442. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0297>

Habib, A., Harris, L., Pollick, F., & Melville, C. (2019). A meta-analysis of working memory in individuals with autism spectrum disorders. *PLOS ONE*, 14(4), e0216198.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216198>

Happé, F. (1999). Autism: Cognitive deficit or cognitive style? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(6), 216-222. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(99\)01318-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(99)01318-2)

Hayashi, M., Kato, M., Igarashi, K., & Kashima, H. (2008). Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder. *Brain and Cognition*, 66(3), 306-310.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.09.008>

Hayes, T. R., Petrov, A. A., & Sederberg, P. B. (2011). A novel method for analyzing sequential eye movements reveals strategic influence on Raven's Advanced Progressive Matrices. *Journal of Vision*, 11(10), 10. <https://doi.org/10.1167/11.10.10>

Holmqvist, K., Nyström, M., & Mulvey, F. (2012). Eye tracker data quality: What it is and how to measure it. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 45-52. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168563>

Kovarski, K., Malvy, J., Khanna, R. K., Arsène, S., Batty, M., & Latinus, M. (2019). Reduced visual evoked potential amplitude in autism spectrum disorder, a variability effect? *Translational Psychiatry*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41398-019-0672-6>

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Liu, Y., Zhan, P., Fu, Y., Chen, Q., Man, K., & Luo, Y. (2023). Using a multi-strategy eye-tracking psychometric model to measure intelligence and identify cognitive strategy in Raven's advanced progressive matrices. *Intelligence*, 100, 101782.

<https://doi.org/10.1016/j.intell.2023.101782>

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., Risi, S., Gothard, K. M., & Bishop, S. (2012). Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition. *Torrance, CA: Western Psychological Services*.

Meilleur, A.-A. S., Berthiaume, C., Bertone, A., & Mottron, L. (2014). Autism-specific covariation in perceptual performances : « g » or « p » factor? *PLoS One*, 9(8), e103781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103781>

Morsanyi, K., & Holyoak, K. J. (2010). Analogical reasoning ability in autistic and typically developing children. *Developmental Science*, 13(4), 578-587.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00915.x>

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

<https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>

Mukerji, C., Mottron, L., & McPartland, J. C. (2021). Enhanced Perceptual Functioning. In F. R. Volkmar (Éd.), *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders* (p. 1780-1781).

Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91280-6_723

Muth, A., Hönekopp, J., & Falter, C. M. (2014). Visuo-Spatial Performance in Autism: A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3245-3263.

<https://doi.org/10.1007/s10803-014-2188-5>

Nader, A.-M., Courchesne, V., Dawson, M., & Soulières, I. (2016). Does WISC-IV Underestimate the Intelligence of Autistic Children? *Journal of Autism and*

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

Developmental Disorders, 46(5), 1582-1589. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2270-z>

Ng, V. K. Y., & Cribbie, R. A. (2017). Using the Gamma Generalized Linear Model for Modeling Continuous, Skewed and Heteroscedastic Outcomes in Psychology. *Current Psychology*, 36(2), 225-235. <https://doi.org/10.1007/s12144-015-9404-0>

Raven, J. C., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. <https://doi.apa.org/doi/10.1037/t07027-000>

Raven, J., & Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Ed.), *Handbook of Nonverbal Assessment* (p. 223-237). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11

Rutter, M., Le Couteur, A., & Lord, C. (2003). *Autism diagnostic interview-revised*.

Shah, A., & Frith, U. (1983). An Islet of Ability in Autistic Children: A Research Note.

Journal of Child Psychology and Psychiatry, 24(4), 613-620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1983.tb00137.x>

Shah, A., & Frith, U. (1993). Why Do Autistic Individuals Show Superior Performance on the Block Design Task? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(8), 1351-1364. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb02095.x>

Simard, I., Luck, D., Mottron, L., Zeffiro, T. A., & Soulières, I. (2015). Autistic fluid intelligence: Increased reliance on visual functional connectivity with diminished modulation of coupling by task difficulty. *NeuroImage: Clinical*, 9, 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.09.007>

Snow, R. E. (1978). Theory and method for research on aptitude processes. *Intelligence*, 2(3), 225-278. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(78\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0160-2896(78)90019-3)

Snow, R. E. (1980). Aptitude Processes. In *Aptitude, Learning, and Instruction*. Routledge.

Visual Strategies in Solving Raven's Matrices: Insights from Autism

- Soulières, I., Dawson, M., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2011). The level and nature of autistic intelligence II : What about Asperger syndrome? *PLoS One*, 6(9), e25372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025372>
- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Human Brain Mapping*, 30(12), 4082-4107. <https://doi.org/10.1002/hbm.20831>
- Tan, E., Wu, X., Nishida, T., Huang, D., Chen, Z., & Yi, L. (2018). Analogical Reasoning in Children With Autism Spectrum Disorder : Evidence From an Eye-Tracking Approach. *Frontiers in Psychology*, 9, 847. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00847>
- Vigneau, F., Caissie, A. F., & Bors, D. A. (2006). Eye-movement analysis demonstrates strategic influences on intelligence. *Intelligence*, 34(3), 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.11.003>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition (WAIS-IV)*.
- Yamada, T., Ohta, H., Watanabe, H., Kanai, C., Tani, M., Ohno, T., Takayama, Y., Iwanami, A., Kato, N., & Hashimoto, R. (2012). Functional alterations in neural substrates of geometric reasoning in adults with high-functioning autism. *PLoS One*, 7(8), e43220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043220>

Supplementary data

Table 1. Estimated marginal means for the composite score in the RPM test

Estimated Marginal Means

Group	Series	Complexity	Estimate	SE	95% CI	
					Lower	Upper
ASD	C	1	10.845	2.215	7.268	16.183
TD	C	1	5.358	0.923	3.823	7.510
ASD	D	1	15.296	3.173	10.186	22.971
TD	D	1	8.859	1.577	6.249	12.558
ASD	E	1	24.474	5.284	16.030	37.367
TD	E	1	15.300	2.701	10.824	21.625
ASD	C	2	24.387	5.149	16.123	36.887
TD	C	2	11.484	2.147	7.961	16.566
ASD	D	2	27.653	5.923	18.173	42.078
TD	D	2	15.263	2.642	10.872	21.428
ASD	E	2	59.023	13.529	37.663	92.497
TD	E	2	35.166	6.716	24.186	51.130
ASD	C	3	16.901	4.155	10.439	27.362
TD	C	3	10.291	2.159	6.822	15.525
ASD	D	3	11.712	2.768	7.370	18.611
TD	D	3	8.359	2.018	5.208	13.417
ASD	E	3	69.545	17.920	41.970	115.238
TD	E	3	53.581	11.693	34.935	82.181

Note. Results are on the response scale.

Étude 4

Visual exploration and Construction Strategies Underlying Performance in the Block Design Task in Autism

Exploration visuelle et stratégies de construction sous-jacentes à la performance
dans la tâche des Cubes de Kohs dans l'autisme

A. DIU, L. BOUVET, M. BATTY

En préparation pour soumission

Résumé

Le raisonnement visuospatial chez les personnes autistes est souvent associé à de meilleures performances dans des tâches telles que la tâche des Cubes de Kohs (Block Design Task, BDT). La présente étude a investigué les scores ainsi que les stratégies sous-jacentes utilisées par des adultes autistes (TSA) et neurotypiques (NT) lors de la BDT. Quarante-et-un participant (TSA = 18 ; NT = 23) ont réalisé la version standard de la BDT tandis que des enregistrements eye-tracking et des observations comportementales permettaient d'analyser les stratégies d'exploration visuelle et de construction. Les stratégies dites structurées, tant dans l'exploration visuelle que dans la méthode de construction, se sont révélées les plus efficaces : elles étaient associées à des taux de réussite plus élevés et à des temps de résolution plus courts, en accord avec les travaux antérieurs sur le sujet. Nos résultats montrent que les participants TSA recourent à ces stratégies analytiques plus fréquemment que les participants NT, et qu'ils présentent également une meilleure concordance entre les stratégies visuelle et de construction. Bien qu'aucune différence significative de performance (précision ou temps) n'ait été observée entre les groupes, l'usage plus important de ces stratégies chez les personnes autistes pourrait expliquer la supériorité des performances visuospatiales souvent rapportée dans la littérature. Ces résultats soulignent l'importance d'aller au-delà des mesures classiques de performance et de considérer les **stratégies cognitives** comme un élément clé pour comprendre le raisonnement visuospatial dans l'autisme.

Mots-clés : Autisme, stratégie de résolution, Cubes de Kohs, eye-tracking

Abstract

Visuospatial reasoning in autism is often linked to superior performance on tasks such as the Block Design Task (BDT). This study examined not only overall scores but also the underlying strategies used by autistic (ASD) and neurotypical (TD) adults during the BDT. Forty-one participants (ASD = 18; TD = 23) completed the standard BDT while eye-tracking and behavioral data captured both visual exploration and construction strategies. Structured strategies—both in visual exploration and construction—were found to be the most effective, as they were associated with higher success rates and faster completion times, consistent with previous findings. Our results revealed that autistic participants employed these analytic strategies more frequently than neurotypical individuals, along with a stronger alignment between visual and construction approaches. While no significant performance differences emerged between groups, the consistent use of these strategies in the autistic group may help explain their enhanced visuospatial performance often reported in earlier studies. These findings emphasize the importance of looking beyond traditional performance measures such as accuracy and completion time, highlighting that cognitive strategies are key to understanding visuospatial reasoning in autism.

Key-words: Autism, solving strategy, Block Design Task, eye-tracking

Introduction

Over the past decades, numerous studies have revealed strengths in perceptual processing in Autism Spectrum Disorder (ASD), especially for detecting and manipulating visual details. Visuospatial tasks have played a particularly central role in documenting these abilities and shaping cognitive theories of autism. As an example, in the Embedded Figures Test (EFT), autistic individuals consistently demonstrate superior performance by efficiently identifying simple figures hidden within complex visual configurations (Shah & Frith, 1983). While these findings initially supported the development of the Weak Central Coherence (WCC; Frith & Happé, 1994) theory, which hypothesizes that autistic individuals exhibit a deficit in their capacity to integrate information into a coherent whole and thereby demonstrate a local processing bias, subsequent research has challenged this deficit-based interpretation. The Enhanced Perceptual Functioning model (EPF; Mottron et al., 2006), which also integrated empirical data from neuroimaging studies, proposed that superior low-level perceptual functioning in autism is associated with a preference for local processing without a fundamental deficit in global integration. This perspective offered a novel framework for understanding autistic cognition, emphasizing functional differences rather than impairments and highlighting perceptual strengths as fundamental characteristics of autism.

In this context, the Block Design Task originally developed by Kohs (BDT; 1920) has also been a valuable tool for assessing visuospatial abilities in autism. It is a subtest in the Wechsler intelligence scales (Wechsler, 2008, 2014) that involves rapidly and accurately reproducing a two-dimensional geometric design using red and white cubes, thus mobilizing different cognitive processes such as motor coordination, planning and working memory. Similarly to results from the EFT, early findings highlighted superior performance on the BDT in autism and contributed to the development of the cognitive models previously described (Happé, 1994; Shah & Frith, 1993). This visuospatial advantage has been observed in several studies (e.g. Morgan et al., 2003; Pellicano et al., 2006; Ropar & Mitchell, 2001; White & Saldaña, 2011) and supported by a meta-analysis which also highlights a large heterogeneity across individuals (Muth et al., 2014). In addition, this result extends beyond clinical populations, as studies in the general population have found that higher levels of autistic traits are associated with enhanced performance on the BDT (Grinter et al., 2009; Stewart et al., 2009), further supporting a link between autistic cognition and visuospatial strengths. As a result, individuals with autism often show a peak in visuospatial abilities which contrasts with comparatively weaker performance in other cognitive domains (Caron et al., 2006; Dawson et al., 2007; Koyama & Kurita, 2008;

Takayanagi et al., 2021). This notion has however been called into question and does not appear to characterize the entire autism spectrum. For example, individuals with high-functioning autism or those formerly diagnosed with Asperger syndrome under DSM-IV criteria seldom exhibit such a peak (de Jonge et al., 2009; Soulières, Dawson, et al., 2011; Soulières, Zeffiro, et al., 2011; Wilson, 2023). These findings underscore the cognitive heterogeneity within the spectrum and highlight the need for a more nuanced understanding of visuospatial processing in autism.

To account for the variability in performance observed on the BDT, researchers have increasingly focused on the cognitive and neural mechanisms that may underlie this heterogeneity. One key line of investigation has examined how autistic individuals process visual information differently from neurotypical individuals, particularly in terms of their spontaneous focus on local details. In support of this, studies have shown that while neurotypical participants benefit from having complex patterns segmented into smaller components, autistic participants typically show no such improvement, suggesting that they naturally decompose global forms into parts without external prompts (Ropar & Mitchell, 2001). Neuroimaging findings are consistent with this interpretation, as studies have demonstrated that autistic individuals often show increased activation in occipital and parietal regions during visuospatial tasks. As these cerebral areas are typically involved in low-level visual processing and attentional control, they suggest a heightened reliance on low-level visual and perceptual processing mechanisms in autism (Degré-Pelletier et al., 2024; Gaffrey et al., 2007; Keehn et al., 2013). Using fMRI during the BDT, Bölte et al. (2008) found reduced activation in the right ventral V2 area, a region associated with shape integration and holistic processing. Together, these findings point to enhanced perceptual functioning in autism that may be underpinned by distinct cognitive strategies during visuospatial reasoning. Investigating these strategies could therefore provide valuable insights into the mechanisms underlying these superior performances and help explain why some individuals outperform others on the task.

Several distinct strategies for solving the BDT have been identified and described in the general population through behavioral observations and self-reports (Rozencwajg, 1991; Rozencwajg & Corroyer, 2001; Rozencwajg & Huteau, 1996; Schorr et al., 1982). Among them, the analytic strategy involves mentally decomposing the pattern into its constituent parts, identifying the face of each cube and placing them sequentially, often row by row or column by column. This approach reflects a local processing style and typically entails frequent visual glances at the model, as individuals repeatedly check for accuracy in cube placement. In contrast, the global

strategy entails perceiving the design as a whole and attempting to reconstruct it through trial and error. This method is generally less efficient and associated with longer completion times. The third strategy described corresponds to the synthetic strategy. This one represents an intermediate and often optimal approach, where the design is segmented into meaningful visual patterns that guide cube placement. This strategy is believed to engage both local and global processing as the visual input is first segmented and its parts are then integrated into a coherent structure. It relies more heavily on visual working memory, resulting in fewer looks at the model and generally superior performance outcomes. Individual and developmental differences in strategy use have been reported, with older adults more often relying on the global strategy, possibly to compensate for age-related working memory decline (Rozencwajg et al., 2005), while the synthetic strategy is more frequently used by individuals with higher visuospatial abilities and better performance (Rozencwajg & Fenouillet, 2012). Given the consistent observation of enhanced performance on the BDT in autistic individuals, it is possible that they tend to use strategies that emphasize analytic or synthetic approaches, in line with their attention to detail and strong visuospatial abilities. However, no studies to date have directly examined strategy use in autistic populations through an objective method, despite the valuable insights such research could offer into the cognitive processes behind their superior performance.

The present study aimed to investigate the cognitive mechanisms underlying superior performance on the Block Design Task (BDT) in autism by examining the visual and construction strategies used during task completion by autistic and non-autistic individuals. To this end, we used eye-tracking to record how participants visually explored the task. From these data, we calculated a composite score to reflect their inclination toward either an analytic or a global strategy, as defined in prior research (Diu et al., 2025, submitted). We also investigated construction behavior by examining how participants placed the blocks on the grid: sequentially by row or column (analytic strategy), based on meaningful visual patterns (synthetic strategy), or with no apparent order (Gestalt-like or global approach). We hypothesized that autistic individuals would be more likely to adopt efficient strategies—namely, analytic and synthetic approaches—in both visual exploration and construction behavior. Specifically, we expected autistic participants to more frequently use row- or column-based (analytic) and pattern-based (synthetic) construction strategies, which have been associated with better performance on the task.

Method

Participants

Participants were recruited either from the local university or via online platforms. Eligibility criteria included good verbal comprehension and normal or corrected-to-normal vision. Visual acuity was assessed using the Monoyer chart (3 meters) to ensure that visual impairments would not affect task performance. For the typically developing (TD) group, individuals were excluded if they reported a neurological or psychiatric condition, or if their score on the Autism Spectrum Quotient (AQ; Baron-Cohen et al., 2001) exceeded the clinical cutoff of 32. All participants in the ASD group had received a formal diagnosis according to DSM-IV or DSM-5 criteria, confirmed by a doctor and supported by standardized assessments such as the Autism Diagnostic Observation Schedule–Second Edition (ADOS-2; Lord et al., 2012), or the Autism Diagnostic Interview–Revised (ADI-R; Rutter et al., 2003).

The experiments involved a total of 51 participants. However, 10 participants (6 TD and 4 ASD) were excluded because they did not perform well enough to complete at least 2 nine-cube items, or because the eye-tracking signal quality was too weak (i.e. below 60% of recording). Hence, the final sample included 41 adults between 18 and 40 years of age, with 23 individuals in the TD group ($M = 25.1$ years; 52% female) and 18 in the ASD group ($M = 26.7$ years; 39% female). The two groups were matched on age ($U = 186, p = 0.579, r = -0.104$), sex distribution ($\chi^2 = 0.717, = 1, p = 0.397$, Cramer's $V = 0.132$), education level ($U = 189, p = 0.624, r = 0.089$) and nonverbal intelligence ($t(39) = 1.345, p = 0.186, d = 0.423$), as measured by Raven's Standard Progressive Matrices (Raven et al., 1998). No significant group differences were found on verbal comprehension indices, assessed using the Similarities ($t(39) = 0.304, p = 0.763, d = 0.098$) and Vocabulary ($t(39) = -0.561, p = 0.578, d = -0.176$) subtests of the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-IV; Wechsler, 2008).

Procedure

The experiment was conducted in a quiet, distraction-free room to ensure optimal concentration. After giving informed consent, participants first underwent a visual acuity test followed by the manual dexterity assessment. They then completed the BDT and the Standard Progressive Matrices, with the order of these two tasks randomized across participants. Participants from the TD group completed the Autistic Quotient questionnaire (Baron-Cohen et al., 2001) via the online platform LimeSurvey to screen for potential ASD and/or high autistic traits. The BDT was performed while participants wore an eye-tracking device to record their

visual behavior. They were seated approximately 45 cm from the stimulus book which was placed on a stand tilted at approximately 60° to ensure optimal eye-tracking recording. For each participant, a calibration was conducted before the task, allowing free head movement during the session. Instructions were given using the first item as a training trial. All participants received a gift voucher as compensation. The study was part of a larger research project that has received the approval of the University of Toulouse's ethics committee (#2021-446) and that follows the General Data Protection Regulation (GDPR).

Manual dexterity assessment

Manual dexterity was assessed using the Purdue Pegboard Test (Tiffin & Asher, 1948), a standardized measure of fine motor skills and bimanual coordination. The apparatus consisted of a board with two parallel rows of holes, and a tray containing small metal pegs, collars, and washers. The test comprised four timed subtests: inserting as many pegs as possible using (1) the dominant hand, (2) the non-dominant hand, (3) both hands simultaneously, and lastly, (4) assembling sequences of pegs, collars, and washers with both hands. Each trial lasted 30 seconds for the placement tasks and 60 seconds for the assembly task. Scores from each subtest were recorded as the number of correct placements or assemblies and their sum was used in the analysis. This measure allowed us to control for potential differences in manual motor skills that may influence performance on the BDT, which similarly involves rapid and precise hand movements.

Block Design Task

The original BDT subtest from the Wechsler Adult Intelligence Scale – Fourth Edition (WAIS-IV; Wechsler, 2008) was used. Participants were instructed to reproduce geometric designs using red and white cubes, based on patterns shown one at a time. Each cube had six faces with two fully red, two fully white, and two diagonally divided into red and white. In accordance with standard clinical procedures for adult populations, the task began at item 5 and ended at item 14, unless two consecutive failures occurred, in which case the task was stopped. The first six items (items 5 to 10) involved reproducing simple patterns using four cubes within 60 seconds, while the last four items (items 11 to 14) required constructing more complex designs with nine cubes within 120 seconds. According to the WAIS-IV guidelines, a total raw score was obtained combining accuracy and completion time of each item (with bonus points awarded for faster performance) and a standardized age-corrected score was calculated for each participant. In addition, the mean item resolution time at four and nine-cube items was calculated for each participant in order to consider resolution time as a performance indicator.

Strategies identification through eye-tracking records

Data were collected using SMI ETG 2w (version 2.6) mobile eye-tracking glasses to record participants' gaze behavior in conditions closely aligned with those of clinical assessments. The system, combined with iView ETG software, captured the visual scene while tracking binocular gaze position via infrared cameras at a sampling rate of approximately 60 Hz (one image every 16 milliseconds). The device was suitable for participants wearing contact lenses or corrective lenses within ± 4 diopters. Before starting the task, a three-point calibration was performed for each participant to ensure precise eye-tracking. Raw eye-tracking data were processed using BeGaze 3.7 software (SensoMotoric Instruments). The software's Semantic Gaze Mapping tool was used to manually map fixations onto reference images of each item, a necessary step given that the visual scene shifted with participants' head movements. When necessary, an offset correction was applied after data acquisition to adjust for small drifts in gaze alignment (Holmqvist et al., 2012). Three Areas of Interest (AOIs) were defined on each reference image: the model area (the geometric design participants had to reproduce) and the response area (where participants took and placed the cubes) as shown in Figure 1. These AOIs were slightly enlarged relative to their actual elements to accommodate minor slippage of the eye-tracking glasses, and their size and position remained consistent across all items.

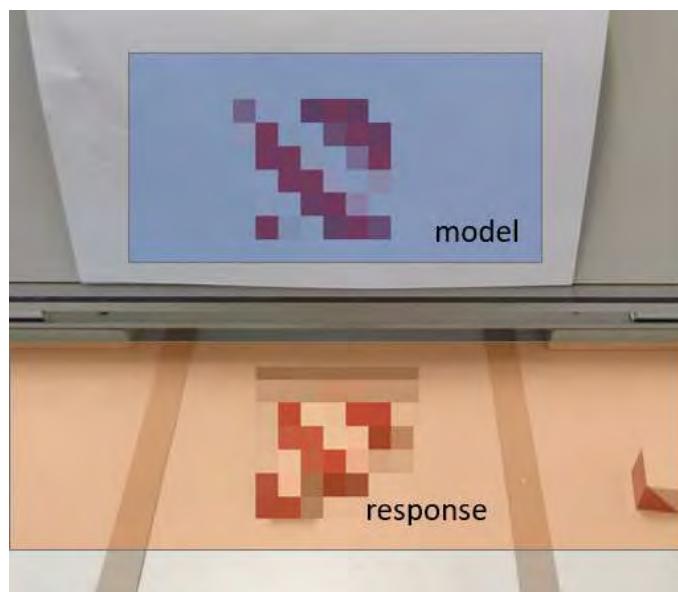


Figure 1. Illustration of the Areas of Interest (AOIs) for a BDT Item

Note. The model AOI (top) includes the geometric pattern that participants were instructed to reproduce. The response AOI (bottom) encompasses the area where participants selected and placed the cubes during the task. The model and the construction were pixelated due to copyright.

Analyses to investigate visual and construction strategies focused on the nine-cube items only. Eye-tracking analyses excluding items with insufficient signal quality (<60% valid data) corresponding to one item for 4 different participants (2 in the TD group, 2 in the ASD group). Extracted variables included the *item resolution time* (from first gaze at the model to final answer), the *exploration percentage* within each AOI (time spent in AOIs relative to the item resolution time) and the *number of gaze transitions* between these AOIs. A *composite score* was calculated for each item (as: model area exploration time [%]/ response area exploration time [%]) * (Item resolution time [s] / number of gaze transitions)) to quantitatively reflect participants' visual strategy, with lower scores indicating a more analytic approach (frequent gaze transitions between model and response areas), and higher scores reflecting a more global-like visual exploration (see Figure 2). *Mean composite scores* were also computed per participant to assess overall strategic tendencies on the four- and nine-cube items.

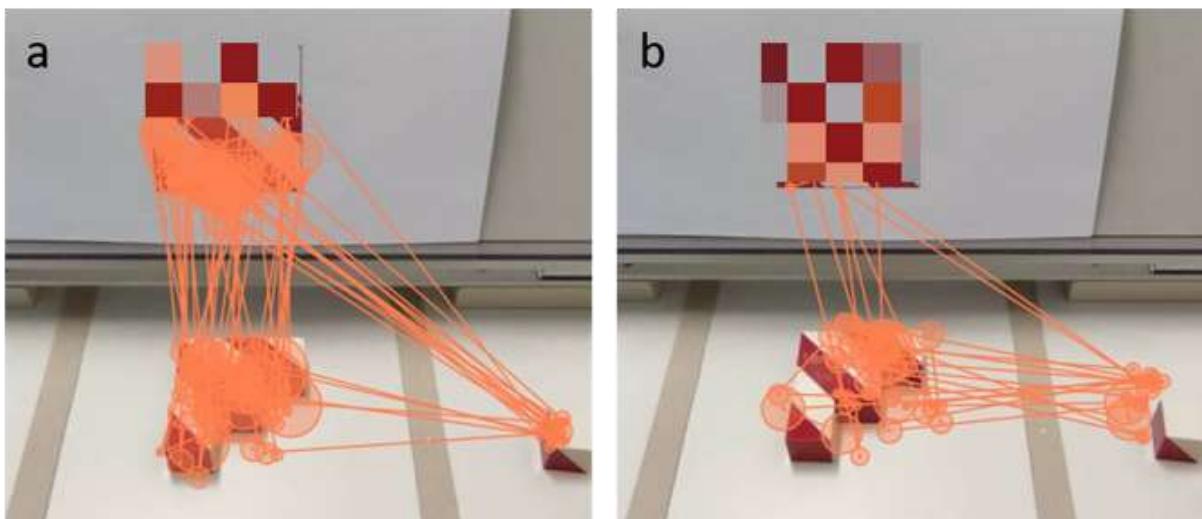


Figure 2. Scan Paths Associated with Low (a) and High (b) Composite Score

Note. Panel A shows the scan path of a participant with a low composite score (217.96), reflecting a global visual exploration strategy. Panel B shows the scan path of a participant with a high composite score (1091.94), reflecting an analytical visual exploration strategy. Some areas were pixelated due to copyright. Scan paths were extracted from data through BeGaze software.

Concerning the *construction strategy*, the order or sequence in which the cubes were placed was extracted for each item from the video recordings. Three different construction strategies were identified: a linear placement (by row or column) was classified as analytic-like construction, a pattern-based placement (involving meaningful subunits or blocks) as synthetic-

like construction, and unordered placement (without a structured sequence) as global-like construction.

Statistical analyses

All statistical analyses were performed using Jamovi (version 2.6.17), which was also used to generate all figures. The significance level was set at $\alpha = .05$. Normality and homogeneity of variance were assessed using Shapiro–Wilk and Levene’s tests, respectively. Where relevant, effect sizes are reported alongside test statistics, using Cohen’s d for t-tests, rank-biserial correlations (r) for Mann–Whitney tests, and Cramer’s V for chi-square analyses.

Group comparisons of BDT performance (both raw and standardized scores) as well as manual dexterity (Purdue Pegboard Test) were analyzed using independent samples t-tests. When assumptions of normality were violated, non-parametric Mann–Whitney U tests were used instead, as was the case for resolution times on four- and nine-cube items. To examine visual exploration strategies, composite scores were compared between successful and failed items, as well as between groups, using Mann–Whitney U tests due to the non-normal distribution of these variables. Associations between categorical variables such as construction strategy and success level or group variables were assessed using Fisher’s exact test as some frequencies in contingency tables were below 5. The effect of construction strategy on item resolution time was analyzed using a Kruskal–Wallis test, followed by Dwass–Steel–Critchlow–Fligner post hoc comparisons. Finally, the relationship between visual exploration strategies and construction strategies was tested using a Kruskal–Wallis analysis, as composite scores did not meet the assumptions for parametric testing. Additionally, three Mann–Whitney U tests were conducted to compare composite scores between groups within each construction strategy, with Bonferroni correction applied to account for multiple comparisons (adjusted $\alpha = .017$).

Results

Performance Level

Performance on the BDT was first examined in terms of accuracy and resolution time across groups. No significant differences were found in total BDT raw scores, $t(39) = 1.36, p = .181$, between ASD ($M = 54.8, SD = 7.53$) and TD ($M = 51.0, SD = 9.70$) groups, although a trend was observed in favor of the ASD group. The same trend was obtained for standard scores, $t(39) = 1.52, p = .138$, regarding ASD ($M = 11.9, SD = 3.23$) and TD groups ($M = 10.5, SD = 2.86$). The average resolution time was similar in both groups, for both four-cube, $U = 186, p$

$= .581$, and nine-cube items, $U = 165, p = .276$. Interestingly, these performance tendencies were observed despite lower manual dexterity scores in the ASD group ($M = 70.2, SD = 10.34$) than in the TD group ($M = 78.2, SD = 8.03$), as measured by the Purdue Pegboard Test, $t(39) = 1.52, p = .008, d = 0.884$.

Visual Exploration Strategy

To investigate visual processing strategies, eye-tracking data were analyzed for the most complex items, i.e. nine-cube items. A composite score was calculated for each item to reflect an analytic strategy when low and a global strategy when high. As expected, composite scores were significantly higher on failed items ($M = 871, SD = 1020, N = 32$) than on successfully completed ones ($M = 543, SD = 352, N = 127$), $U = 1530, p = .031, r = -0.247$, suggesting that global visual exploration is associated with reduced performance. In addition, comparative analyses by group showed that ASD participants ($M = 512, SD = 285$) had significantly lower composite scores than TD participants ($M = 685, SD = 706$), $U = 2455, p = .022, r = 0.212$, indicating a more analytic visual exploration style in autism (see Figure 3). This difference remained significant even when restricting the analysis to correctly completed items only, $U = 1397, p = .003, r = 0.304$. This result suggests that autistic participants engaged more systematically in analytic gaze behavior regardless of performance outcome. Thus, and although overall task performance did not differ significantly between groups, the visual strategy appeared to be more analytic among autistic individuals.

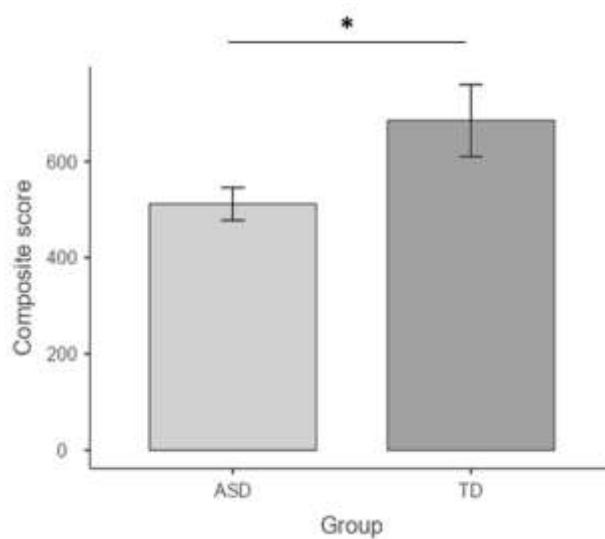


Figure 3. *Mean Composite Score on Items by Group*

Note. The bar plot illustrates the mean item composite score for each group ($N_{ASD} = 70, N_{TD} = 89$). Error bars represent standard error of the mean (SEM). Statistical significance of the Mann-Whitney test is reported ($p < .05^*, p < .01^{**}, p < .001^{***}, ns$).

Construction Strategy

Based on the order in which participants placed the cubes during nine-cube items, three distinct strategies were identified: a global-like strategy (i.e. unordered placement), a synthetic-like strategy (i.e. placement by subunits or patterns) and an analytic-like strategy (i.e. cube-by-cube linear strategy). Overall, out of a total of 159 items analyzed, 46 were constructed using a global-like strategy (28.9%), 75 with a synthetic-like strategy (47.2%), and 38 with an analytic-like strategy (23.9%). Regarding the performance, Fisher's exact test indicated that success rates differed significantly across these strategies, $p < .001$ (see Figure 4). The global-like strategy was associated with the lowest success rate (50%), while the synthetic-like (89.3%) and the analytic-like (97.4%) strategies led to the highest.

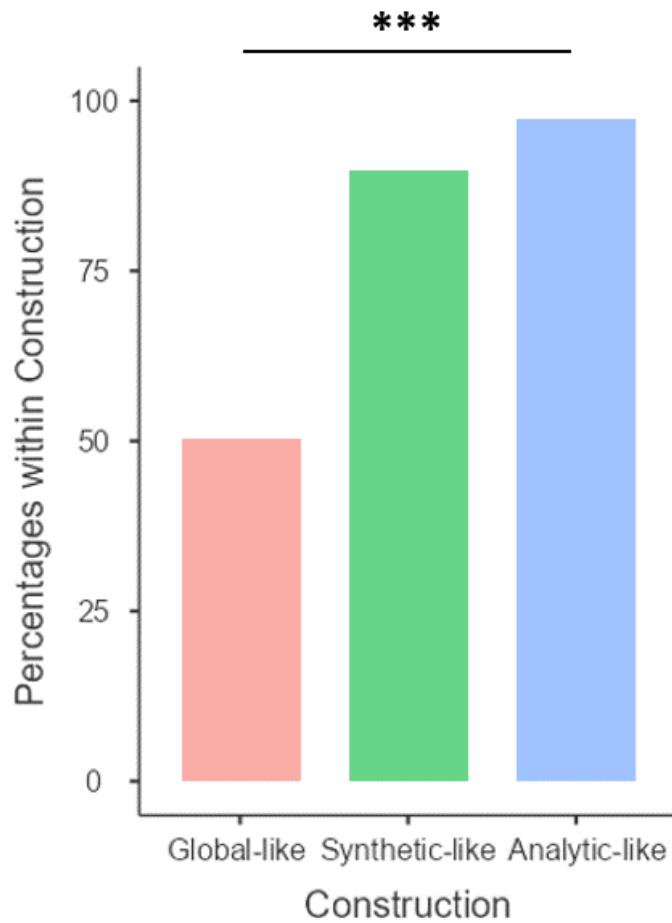


Figure 4. *Percentage of Successful Items by Construction Strategies*

Note. Bars represent the percentage of successful items for each construction strategy. All participants were considered, without regarding the group. Statistical significance of Fisher's exact test is reported ($p < .05^*$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$, ns).

The construction strategy was also found to influence the resolution time, $\chi^2(2) = 43.0, p < .001$ (see Figure 5). Post hoc pairwise comparisons showed that the global-like strategy required significantly more time than the synthetic-like strategy, $W = -8.31, p < .001$, and the analytic-like strategy, $W = -7.92, p < .001$, but showed no significant difference between the synthetic-like and analytic-like strategies, $W = -0.23, p = .985$. These results suggest that structured strategies (synthetic or analytic) not only lead to higher success rates but also allow for more efficient task completion.

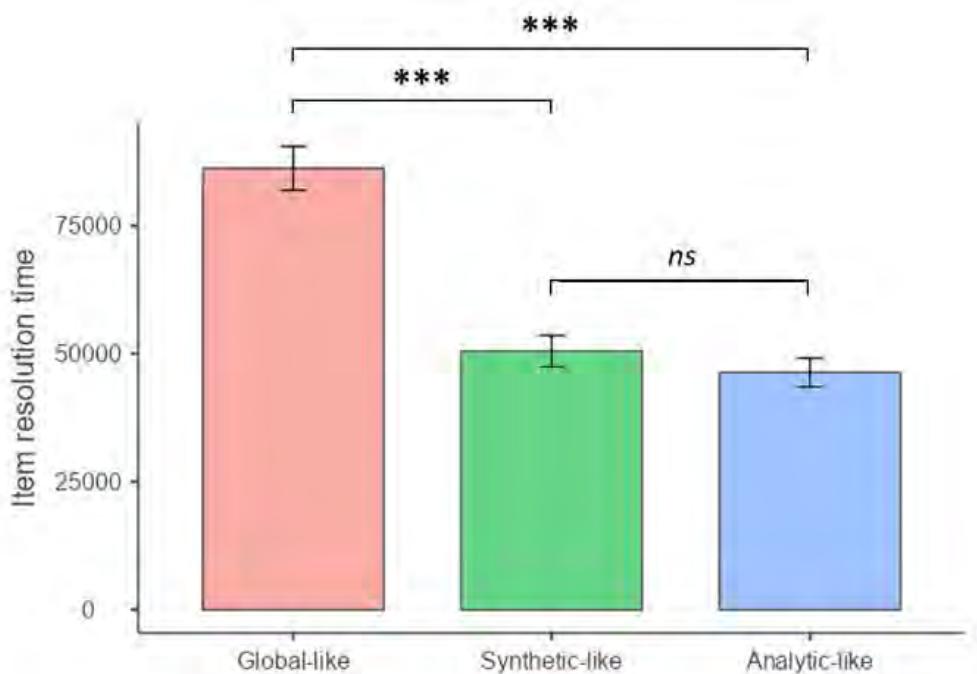


Figure 5. Item Resolution Time Depending on Construction Strategy

Note. The figure illustrates the item resolution time (milliseconds) for Global-like, Synthetic-like and Analytic-like constructions. Error bars represent standard errors of the mean. The graph shows the statistical results of Dwass–Steel–Critchlow–Fligner post hoc comparisons ($p < .05^*$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$, ns).

Group comparisons of proportion using Fisher's exact test revealed significant differences in strategy use, $p < .001$ (see Figure 6). ASD participants used the global-like strategy less frequently (5.7% vs. 47.7%) and were more likely to employ the synthetic-like strategy (64.3% vs. 33.7%) than their TD counterparts. Remarkably, no participant in the ASD group successfully completed an item using the global-like strategy. These findings suggest a more systematic and effective approach to construction in the ASD group.

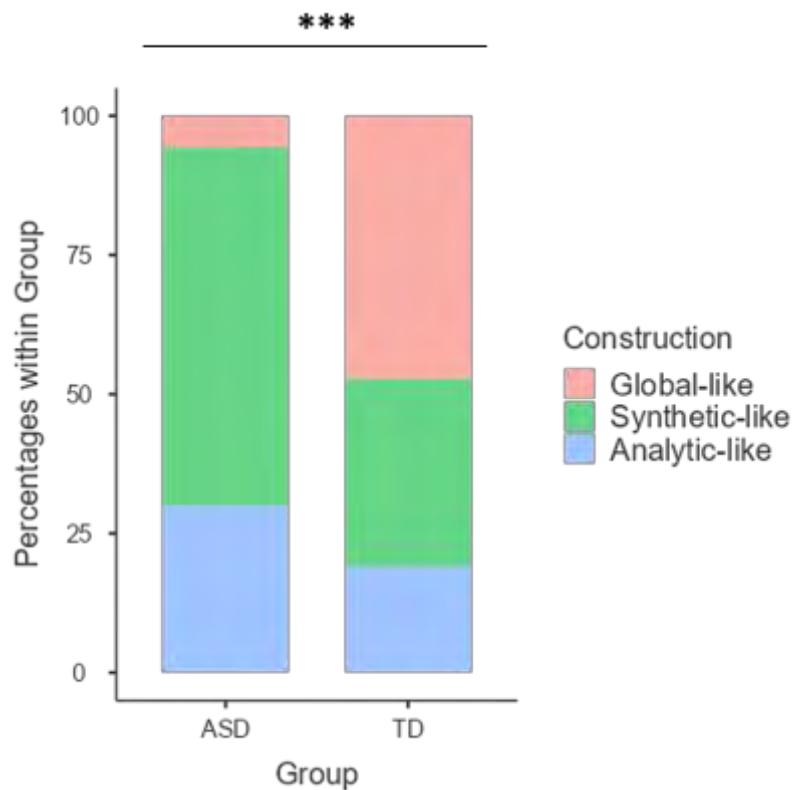


Figure 6. *Percentage of Construction Strategies Use for Items by Group*

Note. Bars represent the number of items completed using each construction strategy in the ASD and TD groups. All nine-cube items were considered, without regarding the success level. Statistical significance of Fisher's exact test is reported ($p < .05^*$, $p < .01^{**}$, $p < .001^{***}$, ns).

Interaction Between Visual and Construction Strategies

Finally, we investigated whether the visual exploration strategy interacted with the construction strategy to influence performance on the items. Analyses revealed no significant interaction between the two, indicating that the type of visual exploration did not systematically correspond to a specific construction method across the full sample, $\chi^2 (2) = 0.025$, $p = .987$. Considering the group, comparisons of composite scores between ASD and TD participants indicated no significant difference for the global-like strategy, $U = 67$, $p = .534$, $r = -.202$, nor for the synthetic-like strategy, $U = 562$, $p = .225$, $r = .167$. However, they revealed a strong difference for the analytic-like strategy, $U = 50$, $p < .001$, $r = .720$, with higher scores reflecting a global strategy observed in the TD group (see Figure 7). These results suggest that, in the TD group, visual exploration does not strictly align with the construction strategy, as participants tend to adopt a global-like exploration strategy even when engaging in analytic construction. In contrast, ASD individuals show greater consistency between analytic visual exploration and analytic construction strategies.

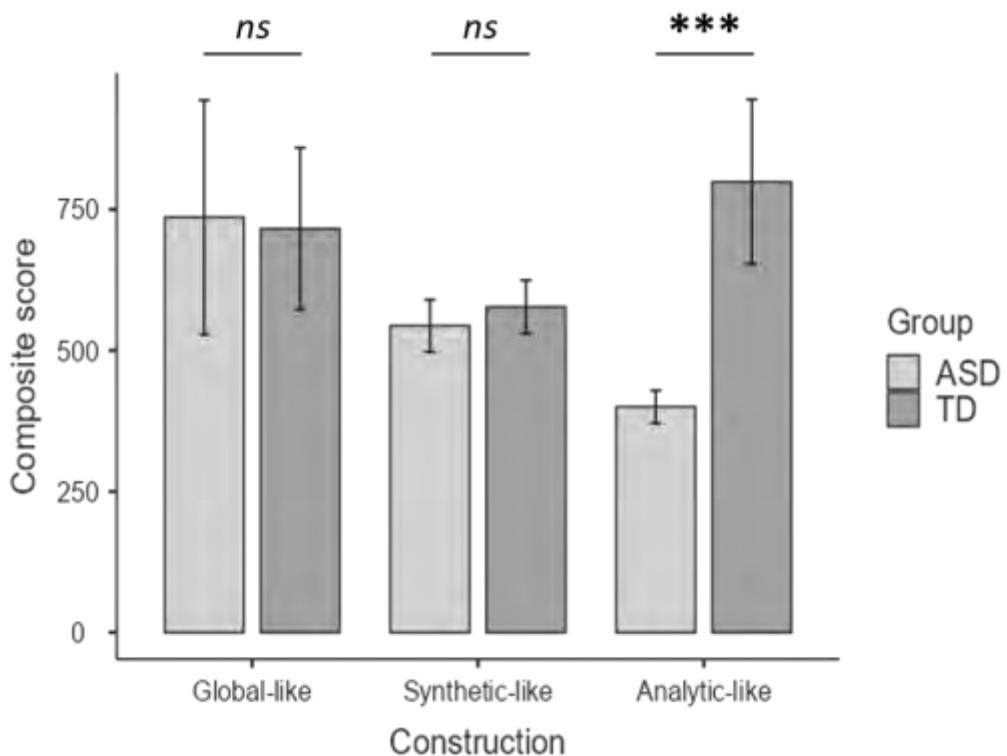


Figure 7. *Mean Composite Score of items by Construction Strategy and Group*

Note. Error bars represent standard error of the mean (SEM).

Discussion

Visuospatial abilities in autism have long been the focus of cognitive research, particularly through tasks such as the Block Design Task (BDT), where findings suggest superior performance in autistic individuals compared to neurotypical controls (e.g. Happé, 1994; Shah & Frith, 1993). These observations contributed to the emergence of explicative models such as the EPF model (Mottron et al., 2006), which emphasizes a cognitive style oriented toward local and detail-based processing. As previous work in general contexts has shown that some resolution strategies are more efficient in performing the BDT, it becomes particularly relevant to ask whether autistic individuals differ in their strategies. In the present study, we sought to examine this question by investigating both visual exploration and construction strategies using eye-tracking during administration of the standard version of the BDT. Rather than just focusing on raw and standardized scores, our aim was to explore how autistic and non-autistic adults approach the task, and whether these strategies differ between groups and relate to task success.

Surprisingly, our results revealed no significant difference in overall performance on the BDT between the autistic and neurotypical groups even if subtle trends toward better performance for autistic individuals were observed. This finding is however consistent with previous studies that also failed to find a significant group difference (Bölte et al., 2008; de Jonge et al., 2009), suggesting that superior visuospatial abilities in autism may not always translate into higher performance. Interestingly, despite evidence of reduced manual dexterity in the autistic group, the lack of performance difference suggests the involvement of compensatory mechanisms. These may include enhanced visuospatial reasoning or more efficient strategy use, allowing autistic individuals to offset motor difficulties.

Analyses of both visual exploration and construction behavior revealed that certain strategies were more effective than others in completing the BDT. In terms of visual processing, analytic-like exploration was associated with greater success, while global-like exploration was more frequently observed in failed trials. This finding is consistent with earlier studies indicating that detail-focused visual strategies, such as the analytic strategy, enhance accuracy in BDT (e.g. Rozencwajg & Corroyer, 2001; Rozencwajg & Huteau, 1996). However, we found no clear difference in effectiveness between the synthetic and analytical strategies as described in these previous BDT studies. This difference in results could be related to methodological differences, as some studies used an adapted version of the BDT, which did not include the same items as the original (Rozencwajg & Corroyer, 2001; Rozencwajg & Fenouillet, 2012). Although visual exploration and construction behavior were analyzed independently, both point in the same direction, as participants who engaged in more analytic-like behaviors tended to perform better in terms of accuracy and resolution time. These two success factors are central to the BDT scoring system, which rewards not only correct solutions but also the speed with which they are achieved through a point-bonus notation (Wechsler, 2008). Together, these results highlight the key role of strategic approach in explaining performance heterogeneity in BDT.

When comparing groups, autistic participants consistently favored the more effective strategies, such as synthetic and analytic strategies. In visual exploration, they displayed significantly more analytic gaze behavior than neurotypical participants, regardless of performance outcome. Similarly, for the construction, they relied predominantly on synthetic and analytic-like strategies and none of the few items completed using a global construction strategy resulted in failure for them. While no overall interaction was found between visual exploration and construction strategies across participants, autistic individuals specifically exhibited a stronger alignment between the analytic construction strategy and an analytic visual exploration pattern.

This consistent use of structured and systematic approaches in the ASD group aligns with previous evidence of a local processing bias in autism (Mottron et al., 2006) and suggests that autistic participants tend to process visuospatial information in a more segmented and detail-focused manner, independently of performance accuracy.

Although no significant performance difference was observed between autistic and neurotypical participants in our study, the analysis of strategy use provides important insights into the underlying mechanisms of visuospatial reasoning in autism. Previous research has often referred to peaks of ability in autism as indicative of enhanced perceptual or analytic processes (e.g. Caron et al., 2006; Soulières, Dawson, et al., 2011; Stevenson & Gernsbacher, 2013). In this light, our findings suggest that even in the absence of superior performance, autistic individuals engage in strategies that align with this enhanced perceptual processing. This supports the idea that task success may depend not only on final scores but also on how internal resources are mobilized to meet task demands. These reasoning strategies in autism may rely on a distinct cognitive profile, potentially offering advantages in tasks where perceptual detail and internal structure are key. However, such benefits may be modulated by other factors, including executive resources, processing speed, or manual dexterity. In our sample, autistic participants exhibited reduced manual dexterity compared to neurotypical controls, which may have influenced their performance despite the use of effective perceptual strategies. This observation may also help explain why some previous studies, if they matched groups on motor abilities, reported better performance in autistic individuals.

Several limitations should be considered when interpreting the present findings. First, we did not account for the order of item presentation or potential differences in difficulty, which may be influenced not only by item complexity but also by the types of patterns to be reproduced. Moreover, our analyses focused exclusively on the nine-cube items, and it would be valuable for future research to investigate whether the differences observed here also apply to the four-cube items. Our approach to analyzing strategy use both in visual exploration and construction did not allow us to capture possible within-task or within-trial shifts in strategies. This limitation may have led to an underestimation of the dynamic nature of problem solving and affected the interpretation of our results. Finally, even though our strategy categories were defined using objective criteria, some items may have been classified in a way that does not fully reflect the real strategy used, especially when the strategy was unclear or ambiguous.

Future research should more closely examine intra-individual variability in strategy use, to better understand how individuals may flexibly shift between different approaches across tasks

or contexts. In parallel, the well-documented inter-individual variability in autism, such as differences between individuals formerly diagnosed with Asperger syndrome and others on the spectrum, also warrants further investigation, as it may contribute to distinct patterns of cognitive processing and strategy preference. It would also be valuable to examine the different types of errors made during construction (Dunn et al., 2021; Joy et al., 2001) and whether these errors are associated with specific patterns of visual exploration or construction strategies in autism. Additionally, we did not investigate underlying cognitive resources such as memory and attention, but studying how these relate to different strategic profiles could help us better understand what drives performance and how cognitive abilities interact with strategy use. From a developmental perspective, exploring how strategy use changes across the lifespan in autism would provide important insights into whether these patterns represent early traits, adaptive compensations, or learned behaviors. Finally, identifying cognitive profiles that favor certain strategies could inform interventions tailored to support learning and problem-solving in autistic individuals.

In conclusion, the present study sheds new light on the cognitive mechanisms underlying visuospatial reasoning in autism. Our results demonstrate that certain strategies—particularly analytic and synthetic approaches—are associated with greater performance in the BDT, and that autistic individuals tend to adopt these effective strategies more consistently than neurotypical participants. These findings reinforce the idea that performance in autism cannot be fully understood without considering the cognitive style and strategic engagement underlying task resolution. In doing so, our study contributes to a more refined understanding of the so-called “peaks” observed in autism, suggesting that they may arise not only from enhanced perceptual capacities, but also from distinct, structured modes of problem solving. Investigating these cognitive dynamics in greater depth, especially through the lens of intra-individual variability, represents a key step toward more personalized and accurate models of autistic cognition.

References

- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ) : Evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism,

males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>

Bölte, S., Hubl, D., Dierks, T., Holtmann, M., & Poustka, F. (2008). An fMRI-study of locally oriented perception in autism: Altered early visual processing of the block design test. *Journal of Neural Transmission*, 115(3), 545-552.
<https://doi.org/10.1007/s00702-007-0850-1>

Caron, M.-J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, 129(7), 1789-1802. <https://doi.org/10.1093/brain/awl072>

Dawson, M., Soulières, I., Ann Gernsbacher, M., & Mottron, L. (2007). The Level and Nature of Autistic Intelligence. *Psychological science*, 18(8), 657-662.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x>

Degré-Pelletier, J., Danis, É., D.Thérien, V., Bernhardt, B., Barbeau, E., & Soulières, I. (2024). Differential neural correlates underlying visuospatial versus semantic reasoning in autistic children. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 34, 19-29.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhae093>

de Jonge, M., Kemner, C., Naber, F., & van Engeland, H. (2009). Block design reconstruction skills: Not a good candidate for an endophenotypic marker in autism research. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 18(4), 197-205.
<https://doi.org/10.1007/s00787-008-0708-6>

Dunn, A. C., Qiao, A., Johnson, M. R., & Kunda, M. (2021). Measuring More to Learn More From the Block Design Test: A Literature Review. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 43(43).
<https://escholarship.org/uc/item/0px211b8>

- Frith, U., & Happé, F. (1994). Autism: Beyond “theory of mind”. *Cognition*, 50(1), 115-132. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90024-8)
- Gaffrey, M. S., Kleinhans, N. M., Haist, F., Akshoomoff, N., Campbell, A., Courchesne, E., & Müller, R.-A. (2007). A typical participation of visual cortex during word processing in autism: An fMRI study of semantic decision. *Neuropsychologia*, 45(8), 1672-1684. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.008>
- Grinter, E. J., Van Beek, P. L., Maybery, M. T., & Badcock, D. R. (2009). Brief Report: Visuospatial Analysis and Self-Rated Autistic-Like Traits. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(4), 670-677. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0658-3>
- Happé, F. G. (1994). Wechsler IQ profile and theory of mind in autism: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 35(8), 1461-1471. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01287.x>
- Holmqvist, K., Nyström, M., & Mulvey, F. (2012). Eye tracker data quality: What it is and how to measure it. *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 45-52. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168563>
- Joy, S., Fein, D., Kaplan, E., & Freedman, M. (2001). Quantifying qualitative features of Block Design performance among healthy older adults. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 16(2), 157-170. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(99\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(99)00063-3)
- Keehn, B., Müller, R.-A., & Townsend, J. (2013). Atypical attentional networks and the emergence of autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(2), 164-183. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.014>
- Kohs, S. C. (1920). The Block-Design Tests. *Journal of Experimental Psychology*, 3(5), 357-376. <https://doi.org/10.1037/h0074466>
- Koyama, T., & Kurita, H. (2008). Cognitive profile difference between normally intelligent children with Asperger’s disorder and those with pervasive developmental disorder

not otherwise specified. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 62(6), 691-696.

<https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2008.01871.x>

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., Risi, S., Gothard, K. M., & Bishop, S. (2012). Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition. *Torrence, CA: Western Psychological Services*.

Morgan, B., Maybery, M., & Durkin, K. (2003). Weak central coherence, poor joint attention, and low verbal ability: Independent deficits in early autism. *Developmental Psychology*, 39(4), 646-656. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.39.4.646>

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

<https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>

Muth, A., Hönekopp, J., & Falter, C. M. (2014). Visuo-Spatial Performance in Autism: A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3245-3263. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2188-5>

Pellicano, E., Maybery, M., Durkin, K., & Maley, A. (2006). Multiple cognitive capabilities/deficits in children with an autism spectrum disorder: "Weak" central coherence and its relationship to theory of mind and executive control. *Development and Psychopathology*, 18(1), 77-98. <https://doi.org/10.1017/S0954579406060056>

Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales: Section 3, Standard progressive matrices*. Oxford Psychologists Press.

Ropar, D., & Mitchell, P. (2001). Susceptibility to Illusions and Performance on Visuospatial Tasks in Individuals with Autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(4), 539-549. <https://doi.org/10.1017/S002196300100717X>

- Rozencwajg, P. (1991). Analysis of problem solving strategies on the Kohs block design test. *European Journal of Psychology of Education, 6*(1), 73-88. <https://doi.org/10.1007/BF03173149>
- Rozencwajg, P., Cherfi, M., Fernandez, A. M., Lautrey, J., Lemoine, C., & Loarer, E. (2005). Age Related Differences in the Strategies Used by Middle Aged Adults to Solve a Block Design Task. *The International Journal of Aging and Human Development, 60*(2), 159-182. <https://doi.org/10.2190/H0AR-68HR-RRPE-LRBH>
- Rozencwajg, P., & Corroyer, D. (2001). Strategy development in a block design task. *Intelligence, 30*(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00063-0](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00063-0)
- Rozencwajg, P., & Fenouillet, F. (2012). Effect of goal setting on the strategies used to solve a block design task. *Learning and Individual Differences, 22*(4), 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.03.008>
- Rozencwajg, P., & Huteau, M. (1996). Les stratégies globale, analytique et synthétique dans les cubes de Kohs. *Les stratégies globale, analytique et synthétique dans les cubes de Kohs, 41*(1), 57-64.
- Rutter, M., Le Couteur, A., & Lord, C. (2003). *Autism diagnostic interview-revised*.
- Schorr, D., Bower, G. H., & Kiernan, R. J. (1982). Stimulus variables in the block design task. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 50*(4), 479-487. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.50.4.479>
- Shah, A., & Frith, U. (1983). An Islet of Ability in Autistic Children: A Research Note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 24*(4), 613-620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1983.tb00137.x>
- Shah, A., & Frith, U. (1993). Why Do Autistic Individuals Show Superior Performance on the Block Design Task? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 34*(8), 1351-1364. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb02095.x>

- Soulières, I., Dawson, M., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2011). The level and nature of autistic intelligence II : What about Asperger syndrome? *PLoS One*, 6(9), e25372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025372>
- Soulières, I., Zeffiro, T. A., Girard, M. L., & Mottron, L. (2011). Enhanced mental image mapping in autism. *Neuropsychologia*, 49(5), 848-857. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.027>
- Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract Spatial Reasoning as an Autistic Strength. *PLOS ONE*, 8(3), e59329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059329>
- Stewart, M. E., Watson, J., Allcock, A.-J., & Yaqoob, T. (2009). Autistic traits predict performance on the block design. *Autism*, 13(2), 133-142. <https://doi.org/10.1177/1362361308098515>
- Takayanagi, M., Kawasaki, Y., Shinomiya, M., Hiroshi, H., Okada, S., Ino, T., Sakai, K., Murakami, K., Ishida, R., Mizuno, K., & Niwa, S.-I. (2021). Review of Cognitive Characteristics of Autism Spectrum Disorder Using Performance on Six Subtests on Four Versions of the Wechsler Intelligence Scale for Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-04932-x>
- Tiffin, J., & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard : Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32(3), 234-247. <https://doi.org/10.1037/h0061266>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition (WAIS-IV)*.
- Wechsler, D. (2014). *Wechsler Intelligence Scale for Children, Fifth Edition (WISC-V)*.
- White, S. J., & Saldaña, D. (2011). Performance of Children with Autism on the Embedded Figures Test : A Closer Look at a Popular Task. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(11), 1565-1572. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1182-4>

Visual exploration and Construction Strategies Underlying Performance in the Block Design Task in Autism

Wilson, A. C. (2023). Cognitive Profile in Autism and ADHD : A Meta-Analysis of Performance on the WAIS-IV and WISC-V. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 39(4), 498-515. <https://doi.org/10.1093/arclin/acad073>

DISCUSSION GÉNÉRALE

DISCUSSION GÉNÉRALE

Dans le contexte de l'autisme, les habiletés visuospatiales sont souvent considérées comme un domaine de compétence car des performances supérieures ont été mises en évidence dans certaines tâches visuospatiales, telles que les Figures encastrées (e.g. Shah & Frith, 1993), les Matrices progressives de Raven (e.g. Dawson et al., 2007) ou encore les Cubes de Kohs (e.g. Caron et al., 2006). Ces résultats ont permis, dès la fin du siècle dernier, l'émergence de modèles théoriques visant à expliquer l'origine des particularités cognitives observées dans l'autisme. Parmi ces modèles, on retrouve notamment la théorie du fonctionnement perceptif amélioré (EPF; Mottron et al., 2006), la théorie du monde intense (Markram & Markram, 2010) ou encore la théorie empathie-systématisation (Baron-Cohen, 2009). Si certaines études mettent en évidence une supériorité de performance, d'autres concluent simplement à des performances préservées, comparables à celles observées dans la population typique (e.g. Bled et al., 2024; Morsanyi & Holyoak, 2010; White & Saldaña, 2011). Les résultats diffèrent selon les études, les individus, le type de tâches ou encore la méthodologie employée, et une hétérogénéité importante des habiletés visuospatiales dans l'autisme a été mise en évidence (Muth et al., 2014). Ainsi, cette thèse avait pour objectif d'investiguer la variabilité interindividuelle (entre individus et groupes) et intra-individuelle (d'une tâche à l'autre) afin d'identifier les facteurs cognitifs susceptibles de la caractériser.

Dans un premier temps, nous avons évalué les performances de personnes autistes et neurotypiques à travers quatre tâches (Matrices Progressives de Raven, Cubes de Kohs, Figures encastrées et Test de rotation mentale), ce qui a révélé l'absence de différences entre les performances des groupes autiste et non autiste pour les tâches des Figures encastrées et de rotation mentale. Les résultats indiquent cependant des scores supérieurs aux Cubes de Kohs dans le groupe autiste. Ils confirment donc les meilleures performances aux Cubes de Kohs, résultat régulièrement observé et interprété comme le reflet d'un avantage perceptif dans cette population (de Jonge et al., 2009; Happé, 1994; Ropar & Mitchell, 2001; Shah & Frith, 1993; Soulières et al., 2011; White & Saldaña, 2011). De façon surprenante, cette différence est retrouvée malgré une dextérité manuelle diminuée chez les personnes autistes, ce qui suggère que la supériorité des performances des personnes autistes à cette tâche pourrait être minimisée. L'absence de différence au test de rotation mentale s'aligne quant à elle avec les conclusions plus nuancées d'une méta-analyse récente (Muth et al., 2014), qui remettait en question les résultats antérieurs concernant un avantage dans l'autisme et indiquait des performances similaires entre population autiste et non autiste. De même, les performances aux Figures encastrées apparaissent ici équivalentes entre les groupes, ce qui est cohérent avec certains

DISCUSSION GÉNÉRALE

travaux ayant indiqué l'absence de différence dans le niveau de performance entre population autiste et typique (e.g. Bölte et al., 2007; Damarla et al., 2010). Enfin, concernant les Matrices de Raven, nos résultats s'accordent avec les études ayant montré des performances comparables entre les personnes autistes et neurotypiques (Meilleur et al., 2014; Morsanyi & Holyoak, 2010; Yamada et al., 2012). Ces résultats sont donc relativement cohérents avec la littérature car ils confirment les compétences visuospatiales au moins préservées voire supérieures dans l'autisme, bien qu'ils nuancent globalement l'idée de performances visuospatiales strictement supérieures.

Les analyses corrélationnelles menées pour investiguer la variabilité interindividuelle ont montré que le niveau de performance d'une tâche à l'autre était davantage constant dans le groupe neurotypique que dans le groupe autiste, qui présentait des profils de performance plus hétérogènes. Cette dissociation a été observée spécifiquement au niveau de la tâche de rotation mentale, pour laquelle les scores se sont avérés corrélés à aucun score des autres tâches visuospatiales dans le groupe autiste. Ce résultat reflète une variabilité inter et intra individuelle plus marquée au sein du groupe autiste, ce qui pourrait indiquer que les processus cognitifs mobilisés pour résoudre ce type de tâches visuospatiales diffèrent de ceux mis en œuvre par les individus neurotypiques. Il contraste toutefois avec ceux obtenus par Soulières et ses collaborateurs (2011) qui avaient mis en évidence des profils de performance homogènes chez les participants autistes, notamment entre les Cubes de Kohs et les tâches de rotation mentale. Cette divergence pourrait s'expliquer, au moins en partie, par certaines différences méthodologiques telles que les contraintes temporelles ou la méthode de cotation adoptées dans la présente étude. Tout d'abord, la performance de certaines personnes autistes a pu être plus fortement impactée par la limite de temps imposée dans notre protocole expérimental (3 minutes par phase de test). En effet, plusieurs travaux suggèrent que certains profils dans l'autisme présentent une vitesse de traitement plus lente, ce qui pourrait réduire leur nombre de réponses et ainsi altérer les scores (Mayes & Calhoun, 2008; Oliveras-Rentas et al., 2012). Concernant la cotation, l'attribution de points négatifs pour les réponses incorrectes pourrait avoir masqué des différences de performance entre les groupes et ne pas rendre pleinement compte de leur niveau de réussite. Nous avons aussi pu observer (sans que des analyses ne soient entreprises) que le nombre de réponses fournies était souvent inférieur chez les participants autistes, mais qu'il était souvent associé à un nombre d'erreurs plus faible que chez les participants neurotypiques. Il serait donc intéressant de considérer le pourcentage de réponses correctes (relativement au nombre de réponses données) des participants dans de

DISCUSSION GÉNÉRALE

prochaines analyses afin d'obtenir une mesure plus juste et représentative des habiletés visuospatiales. Cela permettrait d'examiner plus en détail l'impact de ces facteurs méthodologiques sur l'évaluation des compétences visuospatiales dans l'autisme. Une telle approche offrirait une interprétation plus précise de la variabilité intra et interindividuelle observée, tout en permettant de mieux cerner les spécificités cognitives des personnes autistes.

Dans la continuité de ces premiers travaux, nous avons investigué l'influence de caractéristiques individuelles sur la performance aux différentes tâches visuospatiales. Nous avons tout d'abord mis en évidence des profils cognitifs distincts dans l'ensemble de notre échantillon, caractérisés par une certaine homogénéité des caractéristiques cognitives associées à l'autisme. En effet, les corrélations entre ces particularités de fonctionnement indiquent qu'elles sont co-exprimées à un niveau élevé chez certains individus et plus faiblement co-exprimées chez d'autres. Ce résultat est cohérent avec plusieurs études qui ont montré des liens entre les caractéristiques cognitives associées à l'autisme en population générale, notamment les traits autistiques, le niveau de systématisation et la sensibilité sensorielle (e.g. Sapey-Triomphe et al., 2023; Tavassoli et al., 2014; Wheelwright et al., 2006). L'étude complémentaire à l'étude 1 a également mis en évidence une influence de certaines de ces particularités de fonctionnement sur les compétences visuospatiales, aussi bien dans l'autisme qu'en population générale. Plus précisément, nos résultats ont montré que des traits autistiques importants, un niveau élevé de systématisation et un style cognitif visuel-spatial étaient associés à de meilleures performances pour plusieurs des tâches employées. Les corrélations entre ces caractéristiques pour l'ensemble des participants (autistes et non autistes confondus) semblent indiquer l'idée d'un continuum sur la base de ces caractéristiques « transdiagnostiques ». En effet, comme ces particularités de fonctionnement sont davantage associées aux personnes autistes qui montrent des niveaux plus élevés de traits autistiques (Baron-Cohen et al., 2001), de systématisation (Baron-Cohen et al., 2003) et un style cognitif préférentiellement visuel-spatial (Muth et al., 2014), et qu'elles sont aussi présentes à des degrés divers dans la population générale (e.g. Allison et al., 2015; Ruzich et al., 2015), cela pourrait expliquer à la fois les différences de performance entre groupes et la variabilité interindividuelle.

L'absence de corrélations entre ces facteurs (systématisation et style cognitif visuel-spatial) et la performance pour la tâche de rotation mentale dans le groupe autiste indique que ces participants ne mobilisent peut-être pas les mêmes ressources cognitives que les participants typiques pour sa résolution. Une explication plausible repose sur un biais perceptif bien

DISCUSSION GÉNÉRALE

documenté chez les personnes autistes en faveur du traitement local de l'information (Mottron et al., 2006). Ce biais s'inscrit dans un cadre théorique plus large distinguant le traitement global de l'information, qui consiste à percevoir la figure dans son ensemble, et le traitement local, qui privilégie l'analyse des détails constitutifs (Doucet et al., 2024; Navon, 1977; Poirel et al., 2008). Plutôt que de traiter la structure géométrique dans sa globalité, les participants autistes pourraient se concentrer davantage sur les détails (les cubes qui constituent les structures géométriques), ce qui pourrait être contre-productif car la tâche nécessite la rotation mentale de la structure globale. Cette hypothèse irait d'ailleurs dans le sens des travaux de Cardillo et collègues (2020) qui soulignent que le traitement local pourrait interférer avec le traitement global nécessaire lors de la rotation mentale, entraînant parfois une baisse de performance. Par ailleurs, notre étude n'a pas permis de mettre en évidence un effet du profil sensoriel général sur la performance. Cela pourrait être lié à la nature de l'outil utilisé car le profil sensoriel est un questionnaire d'évaluation sensorielle multimodale qui cible grandement les réponses comportementales aux stimulations sensorielles. Une échelle telle que le SPQ (Sensory Perception Quotient; Tavassoli et al., 2014), qui évalue plus finement la perception sensorielle, pourrait être plus adaptée pour évaluer l'influence de la sensibilité sensorielle sur le domaine visuospatial. Enfin, les résultats de l'étude n'ont indiqué aucune corrélation entre le niveau verbal et visuospatial des participants autistes, alors qu'une étude antérieure a pu suggérer qu'un niveau visuospatial plus élevé pourrait s'accompagner d'un niveau verbal plus faible dans cette population, et inversement (Nader et al., 2015). Toutefois, l'échantillon expérimental de l'étude ne permet pas de tirer des conclusions solides sur ce point, notamment en raison du niveau verbal relativement élevé et de la faible représentativité de l'échantillon autiste étudié.

En résumé, cette première partie empirique met en évidence une hétérogénéité dans les habiletés visuospatiales et propose des pistes intéressantes pour expliquer son origine. Elle soutient l'idée d'un profil cognitif particulier et facilitateur du domaine visuospatial, qui serait plus souvent retrouvé dans l'autisme mais qui pourrait également être retrouvé en population typique. Ces profils pourraient sous-tendre le recours à des stratégies de résolution différentes ce qui pourrait expliquer le niveau de performances visuospatiales observé dans le contexte de l'autisme. Ces stratégies peuvent être investiguées à l'aide de méthodes telle que l'eye-tracking, qui définit la seconde partie empirique de cette thèse. Ainsi, nous avons souhaité explorer les stratégies visuelles pour les tâches visuospatiales pour lesquelles des meilleures performances (ou des tendances) ont été observées dans le groupe autiste. Ces études concernent ainsi les tâches des Matrices de Raven et des Cubes de Kohs.

DISCUSSION GÉNÉRALE

À partir de plusieurs indices relevés en oculométrie, relatifs au pourcentage d'exploration des zones du modèle (matrice ou modèle à reproduire) et de réponse, au nombre de transitions entre chaque zone et au temps de résolution de l'item, un score composite a été créé pour refléter la tendance vers les stratégies décrites en population générale pour chacune des deux tâches. L'objectif de ce score était non seulement de combiner différents indices visuels en une mesure unique pour quantifier le comportement d'exploration visuelle, mais également de proposer à plus long terme un outil directement mobilisable en pratique clinique. En effet, nos études ont été menées dans les conditions standards d'évaluation et ce type de méthodologie pourrait, à l'avenir, permettre aux professionnels de mieux appréhender les stratégies cognitives mises en œuvre par les individus. Bien qu'il ne soit pas encore facilement accessible, il pourrait être envisagé de développer des outils oculométriques automatisées permettant de générer directement cet indice.

Concernant les Matrices de Raven, la littérature préexistante avait déjà pu définir deux stratégies distinctes qui correspondent à la stratégie d'appariement constructif (CM pour *constructive matching*), dite analytique, et à la stratégie d'élimination de réponse (ER pour *elimination response*), dite essais-erreurs (e.g. Hayes et al., 2011; Snow, 1978; Vigneau et al., 2006). Le score composite développé pour cette tâche permettait ainsi de refléter une stratégie de type CM pour des scores composites élevés et une stratégie de type ER pour des scores composites faibles. De façon cohérente avec cette littérature, la stratégie analytique s'est avérée plus efficace pour la résolution des Matrices, ce qui s'est traduit par des scores composites plus élevés aux items réussis et pour les participants les plus performants. Nos résultats indiquent également un effet de la difficulté des items sur la stratégie employée, soulignant l'importance de prendre en compte les facteurs internes au test lors de l'évaluation des processus cognitifs impliqués et également l'intérêt d'examiner l'adaptabilité de la stratégie au fil de la tâche. Dans la continuité de ces analyses, nous avons employé la même méthodologie pour comparer le comportement d'exploration visuelle des personnes autistes à celui des personnes neurotypiques lors de la résolution des Matrices de Raven. Aucune différence significative de performance (scores et de temps de résolution) n'a été observée entre les groupes, comme dans notre étude 1 et dans de précédentes études (Meilleur et al., 2014; Morsanyi & Holyoak, 2010; Yamada et al., 2012). Les résultats indiquent cependant de façon intéressante une propension plus marquée à utiliser la stratégie CM dans le groupe autiste. Cette stratégie étant plus efficace pour résoudre la tâche, cette préférence stratégique pourrait contribuer à expliquer les meilleures performances parfois relevées dans des études précédentes sur l'autisme (Hayashi

DISCUSSION GÉNÉRALE

et al., 2008; Simard et al., 2015; Soulières et al., 2009). Si la variabilité (MAD) du score composite s'est avérée équivalente entre les groupes autiste et non autiste, nos résultats indiquent que les participants qui ont le plus modulé leur stratégie au cours du test sont ceux qui ont le mieux réussi la tâche. À cet égard, l'étude de cette variabilité stratégique pourrait s'avérer particulièrement pertinente pour explorer la flexibilité cognitive, notamment dans le TSA, où une certaine rigidité est fréquemment observée, mais également dans d'autres troubles pour lesquels l'évaluation de l'adaptabilité des stratégies permettrait de mieux caractériser les profils cognitifs.

Enfin, les analyses visant à comparer les stratégies de résolution aux Cubes de Kohs chez les personnes autistes et non autistes se sont appuyées sur les stratégies décrites dans des études antérieures (e.g. Rozencwajg, 1991; Rozencwajg & Fenouillet, 2012; Rozencwajg & Huteau, 1996) : la stratégie « globale » correspond à un traitement global du motif à reproduire, la stratégie « synthétique » à la décomposition en pattern et la stratégie « analytique » à sa décomposition cube par cube. Ainsi, un score composite faible reflétait une tendance stratégique de type analytique alors qu'un score composite élevé reflétait une tendance stratégique de type globale. Cette tâche impliquant la construction d'un pattern tridimensionnel, nous avons également exploré les stratégies de construction. Trois stratégies de construction ont été distinguées en fonction de la méthode de construction employée par les participants, à savoir les stratégies « global », « synthétique » et « analytique ». Contrairement aux résultats obtenus dans l'étude 1, cette étude ne met pas en évidence de différence significative dans le niveau de performance des groupes autiste et non autiste, ce qui était pourtant attendu suite à de nombreuses études sur le sujet (e.g. de Jonge et al., 2009; Happé, 1994; Ropar & Mitchell, 2001; Soulières et al., 2011; White & Saldaña, 2011). Cette absence d'effet s'explique notamment par la suppression de plusieurs participants, en particulier dans le groupe autiste, en raison de données oculométriques de qualité insuffisante. Bien qu'indispensable pour assurer la validité méthodologique, le retrait de ces données a eu pour effet de masquer l'effet de groupe précédemment observé. Ce résultat souligne une limite importante concernant la taille des échantillons qui doit être suffisante pour statuer sur les réelles différences de performance. Les analyses ont tout d'abord montré que l'usage de stratégies analytiques et structurées, tant dans l'exploration que dans la construction, est associé à une meilleure performance et à un temps de résolution plus court de la tâche des Cubes de Kohs. Ce résultat est en accord avec la littérature préexistante et soutient la validité de la méthode utilisée (e.g. Hayes et al., 2011; Rozencwajg, 1991; Rozencwajg & Fenouillet, 2012; Rozencwajg & Huteau, 1996; Snow,

DISCUSSION GÉNÉRALE

1978; Vigneau et al., 2006). L'étude montre également que les participants autistes ont recours plus fréquemment à ces stratégies et que leurs stratégies d'exploration et de construction sont davantage concordantes, suggérant une approche cognitivement plus rigoureuse dans la tâche. Malgré l'absence de différence dans le niveau de performance, cette étude suggère à nouveau que les stratégies utilisées par les personnes autistes pourraient expliquer les aptitudes supérieures souvent relevées dans cette population.

Conclusion générale

Les résultats de ces études concernant l'influence des stratégies sur la performance visuospatiale dans l'autisme vont dans le sens de plusieurs études (e.g. Rozencwajg, 1991; Rozencwajg & Fenouillet, 2012; Rozencwajg & Huteau, 1996) et confirment la validité d'utiliser des scores composites pour explorer ces mécanismes. Ils mettent en évidence l'importance de considérer les stratégies d'exploration visuelle comme un facteur explicatif majeur de l'hétérogénéité des performances, que ce soit en population générale ou dans le contexte de l'autisme. En effet, ils suggèrent que les performances visuospatiales, notamment dans des tâches de raisonnement abstrait non verbal, dépendent fortement des stratégies d'exploration mobilisées. Chez les personnes autistes, l'utilisation plus fréquente de stratégies analytiques pourrait ainsi contribuer à expliquer les avantages observés dans certaines tâches complexes telles que les Matrices de Raven ou les Cubes de Kohs (e.g. Caron et al., 2006; Dawson et al., 2007). Plusieurs travaux suggèrent en effet que le raisonnement spatial et analogique constitue un domaine de force relative dans l'autisme (Green et al., 2014; Stevenson & Gernsbacher, 2013). Par ailleurs, Meilleur et al. (2014) ont montré que les performances perceptives exceptionnelles des personnes autistes, dans différents domaines visuel et auditif, ne peuvent pas s'expliquer uniquement par l'intelligence générale, mais seraient soutenues par un facteur plurimodal propre à cette population. Ces habiletés reposeraient en partie sur des particularités perceptives, notamment une tendance à privilégier le traitement des informations au niveau local plutôt que de les intégrer de façon globale. Elles pourraient faciliter l'extraction et la manipulation d'éléments visuels pertinents et contribuer à un raisonnement davantage structuré et analytique. Les résultats de ces études s'inscrivent ainsi dans le prolongement du modèle EPF (Mottron et al., 2006).

DISCUSSION GÉNÉRALE

De façon plus générale concernant les stratégies utilisées, la littérature indique également que les personnes autistes sollicitent davantage des stratégies visuelles que des stratégies verbales par rapport aux personnes neurotypiques (Sahyoun et al., 2010). Cette dissociation entre styles cognitifs verbal et visuel, soulignée notamment par Coburn et Williams (2022) et par Bled et collaborateurs (2024), est aussi reflétée par une meilleure réussite des personnes autistes dans les tâches de mémoire ou de reproduction d'informations visuelles plutôt que verbales (Brown et al., 2022; Sahyoun et al., 2010; Soulières et al., 2011). Nos résultats vont dans ce sens car ils mettent en évidence une tendance à la dissociation entre styles cognitifs verbal et visuel-spatial chez les individus, des performances supérieures pour le style cognitif visuel-spatial et des stratégies plus efficaces chez les participants autistes lors de la résolution des tâches étudiées. Cependant, il convient de préciser que nous n'avons pas évalué directement l'usage de stratégies verbales et qu'il aurait été intéressant d'obtenir de telles informations pour caractériser davantage l'hétérogénéité retrouvée.

L'ensemble des travaux de cette thèse suggèrent que le fonctionnement cognitif général et les stratégies de résolution contribuent ensemble à expliquer les différences de performance dans le contexte de l'autisme. Les particularités cognitives associées à l'autisme, comme des traits autistiques élevés, une tendance accrue à la systématisation ou un style cognitif visuel-spatial, sont liées à de meilleures performances aux tâches visuospatiales, qui sont elles-mêmes associées à des stratégies de résolution de type analytique. Ainsi, les stratégies de résolution pourraient être dépendantes du fonctionnement cognitif et de ces caractéristiques individuelles souvent retrouvées dans l'autisme. Une hypothèse serait que ces particularités facilitent le recours aux stratégies les plus efficaces, ce qui expliquerait par exemple que des scores plus élevés aux Cubes de Kohs ou à d'autres tâches visuospatiales soient corrélés à un niveau plus élevé de traits autistiques, y compris chez des individus sans diagnostic clinique (e.g. Conson et al., 2020; Stewart et al., 2009). Nos résultats soutiennent donc l'idée que le traitement de l'information visuospatiale est un processus modulé par de multiples facteurs, notamment le style cognitif et la tendance à la systématisation, qui influencent les stratégies employées et, par conséquent, la performance. Il serait pertinent de mener des analyses complémentaires pour mieux comprendre le lien précis entre ces profils cognitifs et les stratégies de résolution employées et tester l'hypothèse selon laquelle les particularités cognitives sous-tendent le recours préférentiel à certaines stratégies. Il serait également intéressant d'étendre cette investigation à d'autres types de tâches comme celle de rotation mentale pour laquelle les

DISCUSSION GÉNÉRALE

performances ne sont pas décrites comme strictement supérieures dans le TSA, ou encore d'explorer la constance dans le type de stratégie d'une tâche à l'autre. Étudier les stratégies employées dans ces contextes permettrait de mieux identifier les spécificités des mécanismes cognitifs et adaptatifs dans l'autisme.

Limites et perspectives

Plusieurs limites relatives à notre échantillon et à la méthodologie employée doivent être soulignées. Tout d'abord, la taille de nos échantillons restreint la généralisation des conclusions car elle ne reflète pas la diversité complète du spectre autistique. Les personnes autistes présentant une déficience intellectuelle n'ont pas été incluses, ce qui limite l'interprétation aux individus avec un niveau intellectuel moyen ou élevé. Bien que nous ayons relevé les informations cliniques relatives au diagnostic lorsqu'elles étaient disponibles (âge, scores ADI-R et ADOS), nous n'avons pas pu les intégrer à nos analyses car elles étaient trop peu nombreuses alors qu'elles auraient pu permettre d'établir des liens plus précis entre les profils cliniques et les performances visuospatiales. Au sein même de nos études, les résultats quant aux performances du groupe autiste ont variés en fonction de l'échantillon considéré (exemple des études 1 et 4 portants sur les Cubes de Kohs). Un échantillon plus important aurait pu faire émerger des différences plus marquées si elles existent, permettant ainsi de conclure de manière plus robuste quant à la supériorité des performances dans cette tâche. Aussi, la nature exigeante et relativement longue du protocole expérimental a pu constituer un obstacle à la participation et à la compléction des tâches. À titre d'exemple, deux participants autistes ont dû être exclus suite à un abandon de la passation lié à la complexité du protocole, ce qui souligne la nécessité d'adapter les méthodes aux capacités et aux difficultés plus marquées de certains participants. Par ailleurs, la qualité des données eye-tracking s'est avérée associée à des pertes fréquentes de signal dans le groupe autiste, ce qui pourrait avoir introduit un biais dans les analyses (Milne et al., 2009). De façon plus générale, le protocole employé a pu diminuer l'engagement des participants et altérer leurs performances au fil du temps. La durée et la complexité des tâches, combinées aux contraintes sensorielles liées au port des lunettes eye-tracking, ont pu accroître la fatigue et contribuer à expliquer l'absence de performances améliorées dans le groupe autiste pour certaines tâches, bien que leur ordre de réalisation ait été randomisé.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Les tâches mises en œuvre dans cette étude s'appuient sur des outils cliniques standardisés, reconnus pour leur validité et largement utilisés en pratique neuropsychologique. Elles visent à évaluer les compétences visuospatiales dans des conditions contrôlées, proches de la réalité fonctionnelle des situations d'évaluation. Ce choix méthodologique constitue donc un atout, car il permet d'obtenir des données directement exploitables par les professionnels pour mieux appréhender le fonctionnement cognitif quotidien des personnes autistes. Néanmoins, d'autres tâches seraient également pertinentes à explorer pour compléter cette approche clinique et affiner l'évaluation des compétences visuospatiales. Par exemple, des tâches couramment utilisées comme les cubes de Corsi ou la figure de Rey permettraient d'étudier les mécanismes sous-jacents à la variabilité intra et interindividuelle au sein de la population autiste. De plus, l'application de l'oculométrie à d'autres paradigmes tels que les figures encastrées ou la rotation mentale ouvrirait des perspectives intéressantes pour analyser comment les différentes dimensions du traitement visuospatial décrites au chapitre 3 (visuo-perceptives, spatiales, constructives et de raisonnement non verbal) s'articulent entre elles et se traduisent en termes de performances et de stratégies.

Certaines dimensions du traitement visuospatial mériteraient d'être explorées au-delà des tâches papier-crayon afin de compléter cette approche clinique. L'introduction future de stimuli dynamiques, comme suggéré par Bertone et al. (2003), permettrait de mieux reproduire les conditions naturelles d'utilisation des compétences visuospatiales. De plus, les tâches expérimentales employées ne reflètent pas toujours fidèlement les situations réelles dans lesquelles ces compétences sont mobilisées, soulignant ainsi l'importance de développer des protocoles plus écologiques et adaptés à la diversité des profils autistiques. Il apparaît crucial de développer et d'intégrer des approches écologiques pour évaluer les habiletés visuospatiales dans des situations proches de la vie réelle. Contrairement aux tests standardisés, ces méthodes permettent d'observer les comportements de façon plus naturelle, ce qui reflète mieux les performances réelles des individus (Chaytor et al., 2006). Bien que ces outils soient encore peu utilisés en pratique clinique en raison de leur coût, de la difficulté à standardiser les protocoles et à constituer des normes, ils offrent une perspective complémentaire précieuse. Ces approches écologiques, telles que les simulateurs de conduite, les environnements de réalité virtuelle ou les tâches immersives de manipulation d'objets (Parsons & Rizzo, 2008; Renison et al., 2012; Verdejo-García & Pérez-García, 2007), permettent d'évaluer les compétences visuospatiales dans des contextes dynamiques et complexes, tout en apportant des informations sur les processus cognitifs mobilisés. Mener des investigations similaires aux nôtres à l'aide de telles

DISCUSSION GÉNÉRALE

tâches permettrait d'améliorer l'évaluation des capacités visuospatiales « fonctionnelles » et de mieux caractériser les profils individuels.

D'autres pistes de recherches apparaissent nécessaires pour approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents aux performances visuospatiales chez les personnes autistes. Notamment, des études en neuroimagerie seraient particulièrement pertinentes afin de préciser les régions cérébrales impliquées dans l'utilisation de stratégies analytiques lors des tâches visuospatiales. Il serait notamment intéressant de vérifier si ces stratégies sont directement liées à des processus perceptifs spécifiques et si l'activation cérébrale diffère selon les différentes stratégies. Ce genre d'étude nous permettrait de statuer sur les processus sollicités spécifiquement par chaque type de stratégie engagées.

Un autre axe important concerne l'exploration des compétences visuospatiales au cours du développement dans l'autisme. Comprendre comment ces habiletés émergent et évoluent permettrait de mieux saisir les trajectoires développementales spécifiques à ce neurodéveloppement atypique. Jusqu'à aujourd'hui, les études ont montré que les enfants autistes peuvent présenter des performances visuospatiales supérieures ou similaires à celles des enfants neurotypiques (e.g., Minshew & Goldstein, 1998 ; Mottron et al., 2006 ; Klinger & Dawson, 2001), mais leur hétérogénéité n'a pas été investiguée. Il serait donc intéressant de l'évaluer et de la comparer à celle présente dans la population autiste adulte dans l'objectif d'explorer la potentielle survenue de mécanismes compensatoires au cours du développement, qui pourraient moduler les stratégies cognitives et/ou les performances observées. Par ailleurs, étudier les compétences visuospatiales dans une perspective développementale pourrait éclairer les interactions complexes entre les processus perceptifs, les fonctions exécutives et les stratégies cognitives mobilisées, car ces processus évoluent avec la maturation cérébrale et peuvent influencer la manière dont les enfants autistes apprennent à explorer et à traiter l'information visuelle. Bien que ces données ne soient pas présentées dans le présent manuscrit, le recueil auprès d'enfants autistes et non autistes a déjà été entrepris (en cours) et ouvrira la voie à l'investigation de ces dimensions développementales.

Dans le prolongement de ces travaux de thèse, les futures recherches sur le sujet pourraient permettre d'améliorer les pratiques cliniques en matière d'évaluation et d'accompagnement des personnes autistes. En mettant en lumière la diversité des profils visuospatiaux et l'importance des stratégies cognitives employées, nos travaux soulignent la nécessité de développer des outils d'évaluation qui tiennent compte non seulement des performances globales, mais aussi

DISCUSSION GÉNÉRALE

des stratégies spécifiques mobilisées par chaque individu. Notre approche invite également à privilégier des méthodologies plus écologiques, reflétant des situations proches des contextes d'évaluation ou de vie quotidienne, afin de mieux appréhender les capacités fonctionnelles et les difficultés réelles.

Également, ils apportent des pistes concrètes pour ajuster les méthodes d'apprentissage et les pratiques éducatives. La mise en évidence d'un recours accru à des stratégies analytiques chez les personnes autistes suggère qu'il serait pertinent de concevoir des supports pédagogiques qui mettent l'accent sur la structuration visuelle, voire schématique, de l'information afin de valoriser les bonnes compétences visuospatiales. Dans le même temps et dans un contexte plus général que celui de l'autisme, l'identification de profils moins avantageux pour le traitement de l'information visuelle pourrait conduire à développer des supports multi-sensoriels ou à inclure des aides visuelles afin de renforcer la compréhension des contenus présentés. De telles recommandations pourraient être mises en œuvre en contexte scolaire, dans des programmes de remédiation ou d'accompagnement individualisé. Enfin, ces résultats ouvrent également la voie au développement d'outils numériques et interactifs permettant de proposer des activités variées, afin de stimuler de façon ciblée les compétences visuospatiales et d'en faciliter le recours dans les situations de la vie quotidienne. Valoriser les forces propres à chaque personne autiste dans son accompagnement contribuera à répondre au mieux à ses besoins spécifiques.

En conclusion, cette thèse contribue à enrichir la compréhension des habiletés visuospatiales dans l'autisme en mettant en évidence la complexité et l'hétérogénéité de ces compétences. Les résultats obtenus à travers l'ensemble des études confirment que les performances apparaissent globalement préservées, voire supérieures, dans certaines tâches spécifiques mais qu'elles ne sont pas uniformes sur l'ensemble du spectre autistique. De façon cohérente avec les études menées sur le sujet, une large hétérogénéité est retrouvée à l'échelle des groupes, des individus et des tâches, ce qui complexifie parfois les interprétations. Les approches d'analyse adoptées montrent que le domaine visuospatial dans l'autisme se caractérise par des différences quantitatives et qualitatives avec la population neurotypique. L'utilisation plus importante de stratégies analytiques chez les personnes autistes éclaire sous un angle nouveau les performances supérieures qui ont parfois pu être rapportées par la littérature. Elle souligne ainsi l'importance de considérer les facteurs cognitifs individuels qui participent à expliquer la variabilité intra et interindividuelle observée au sein du spectre. Bien qu'elle porte spécifiquement sur l'autisme, cette thèse apporte également des éléments de compréhension au sujet de la variabilité des habiletés visuospatiales en population générale. Poursuivre les

DISCUSSION GÉNÉRALE

investigations en ayant recours à des approches plus écologiques sur des échantillons plus larges et représentatifs de l'ensemble du spectre (enfants, profils avec déficience intellectuel) devrait permettre d'approfondir les connaissances et de garantir l'obtention de résultats robustes. À terme, l'ensemble de ces travaux permettront d'adapter les évaluations et les interventions aux caractéristiques cognitives des personnes autistes, tout en permettant d'individualiser les accompagnements.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

Bibliographie générale

- Adak, B., & Halder, S. (2017). Systematic Review on Prevalence for Autism Spectrum Disorder with Respect to Gender and Socio-Economic Status. *Journal of Mental Disorders and Treatment*, 03. <https://doi.org/10.4172/2471-271X.1000133>
- A. Kiernan, N., Manches, A., & K. Seery, M. (2021). The role of visuospatial thinking in students' predictions of molecular geometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(3), 626-639. <https://doi.org/10.1039/D0RP00354A>
- Albares, M., Criaud, M., Wardak, C., Nguyen, S. C. T., Ben Hamed, S., & Boulinguez, P. (2011). Attention to baseline : Does orienting visuospatial attention really facilitate target detection? *Journal of Neurophysiology*, 106(2), 809-816. <https://doi.org/10.1152/jn.00206.2011>
- Albaret, J. M., & Aubert, E. (1990). Etalonnage 15-19 ans du test de rotation mentale de Vandenberg. *Evolutions psychomotrices*, 206-209, 11.
- Al-Beltagi, M. (2021). Autism medical comorbidities. *World Journal of Clinical Pediatrics*, 10(3), 15-28. <https://doi.org/10.5409/wjcp.v10.i3.15>
- Allen, L., Leon-Attia, O., Shaham, M., Shefer, S., & Gabis, L. V. (2020). Autism risk linked to prematurity is more accentuated in girls. *PLOS ONE*, 15(8), e0236994. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236994>
- Allen, M. L. (2013). Kaufman Assessment Battery for Children, Second Edition. In F. R. Volkmar (Éd.), *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders* (p. 1670-1673). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1698-3_94
- Allison, C., Baron-Cohen, S., Stone, M. H., & Muncer, S. J. (2015). Rasch Modeling and Confirmatory Factor Analysis of the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) Scale. *The Spanish Journal of Psychology*, 18, E16. <https://doi.org/10.1017/sjp.2015.19>
- Almeida, R. A., Dickinson, J. E., Maybery, M. T., Badcock, J. C., & Badcock, D. R. (2010). A new step towards understanding Embedded Figures Test performance in the autism

Bibliographie générale

- spectrum: The radial frequency search task. *Neuropsychologia*, 48(2), 374-381.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.024>
- Álvarez, R., & Masjuan, J. (2016). Visual agnosia. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 216(2), 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2015.10.002>
- Amaral, D. G., Schumann, C. M., & Nordahl, C. W. (2008). Neuroanatomy of autism. *Trends in Neurosciences*, 31(3), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.12.005>
- American Psychiatric Association. (1968). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-II)* (2nd Edition).
- American Psychiatric Association. (1980). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-III)* (3rd Edition).
- American Psychiatric Association. (1994). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-IV)*. Elsevier Masson.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5)*. Elsevier Masson.
- Anagnostou, E., & Taylor, M. J. (2011). Review of neuroimaging in autism spectrum disorders: What have we learned and where we go from here. *Molecular Autism*, 2(1), 4. <https://doi.org/10.1186/2040-2392-2-4>
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Andreou, M., & Skrimpa, V. (2020). Theory of Mind Deficits and Neurophysiological Operations in Autism Spectrum Disorders: A Review. *Brain Sciences*, 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/brainsci10060393>
- Asperger, H. (1944). Die „Autistischen Psychopathen“ im Kindesalter. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 117(1), 76-136. <https://doi.org/10.1007/BF01837709>

Bibliographie générale

- Avery, J. A., Ingeholm, J. E., Wohltjen, S., Collins, M., Riddell, C. D., Gotts, S. J., Kenworthy, L., Wallace, G. L., Simmons, W. K., & Martin, A. (2018). Neural correlates of taste reactivity in autism spectrum disorder. *NeuroImage. Clinical*, 19, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.04.008>
- Aylward, E. H., Minshew, N. J., Field, K., Sparks, B. F., & Singh, N. (2002). Effects of age on brain volume and head circumference in autism. *Neurology*, 59(2), 175-183. <https://doi.org/10.1212/wnl.59.2.175>
- Ayzenberg, V., & Behrmann, M. (2022). Does the brain's ventral visual pathway compute object shape? *Trends in Cognitive Sciences*, 26(12), 1119-1132. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.09.019>
- Ayzenberg, V., Simmons, C., & Behrmann, M. (2023). Temporal asymmetries and interactions between dorsal and ventral visual pathways during object recognition. *Cerebral Cortex Communications*, 4(1), tgad003. <https://doi.org/10.1093/texcom/tgad003>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer : A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)
- Bailey, A., Couteur, A. L., Gottesman, I., Bolton, P., Simonoff, E., Yuzda, E., & Rutter, M. (1995). Autism as a strongly genetic disorder : Evidence from a British twin study. *Psychological Medicine*, 25(1), 63-77. <https://doi.org/10.1017/S0033291700028099>
- Baio, J., Wiggins, L., Christensen, D. L., Maenner, M. J., Daniels, J., Warren, Z., Kurzius-Spencer, M., Zahorodny, W., Robinson Rosenberg, C., White, T., Durkin, M. S., Imm, P., Nikolaou, L., Yeargin-Allsopp, M., Lee, L.-C., Harrington, R., Lopez, M., Fitzgerald, R. T., Hewitt, A., ... Dowling, N. F. (2018). Prevalence of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years—Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2014. *Morbidity and*

Bibliographie générale

- Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries (Washington, D.C.: 2002), 67(6), 1-23.* <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6706a1>
- Baluch, F., & Itti, L. (2011). Mechanisms of top-down attention. *Trends in Neurosciences*, 34(4), 210-224. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.02.003>
- Baranek, G. T., David, F. J., Poe, M. D., Stone, W. L., & Watson, L. R. (2006). Sensory Experiences Questionnaire : Discriminating sensory features in young children with autism, developmental delays, and typical development. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 47(6), 591-601. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01546.x>
- Barbaro, J., & Dissanayake, C. (2009). Autism spectrum disorders in infancy and toddlerhood : A review of the evidence on early signs, early identification tools, and early diagnosis. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics: JDBP*, 30(5), 447-459. <https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3181ba0f9f>
- Barel, E., & Tzischinsky, O. (2018). Age and Sex Differences in Verbal and Visuospatial Abilities. *Advances in Cognitive Psychology*, 2(14), 51-61. <https://doi.org/10.5709/acp-0238-x>
- Barendse, E. M., Hendriks, M. P., Jansen, J. F., Backes, W. H., Hofman, P. A., Thoonen, G., Kessels, R. P., & Aldenkamp, A. P. (2013). Working memory deficits in high-functioning adolescents with autism spectrum disorders : Neuropsychological and neuroimaging correlates. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5(1), 14. <https://doi.org/10.1186/1866-1955-5-14>
- Barisnikov, K., Saj, A., Majerus, S., & Thibaut, J.-P. (2020). *Troubles des fonctions visuoperceptives et visuospatiales*. (p. 138-156).
- Barnes, G. R. (2008). Cognitive processes involved in smooth pursuit eye movements. *Brain and Cognition*, 68(3), 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.020>

Bibliographie générale

- Baron-Cohen, S. (1990). Autism: A specific cognitive disorder of « mind-blindness. » *International Review of Psychiatry*, 2(1), 81-90.
<https://doi.org/10.3109/09540269009028274>
- Baron-Cohen, S. (1991). The theory of mind deficit in autism: How specific is it? *British Journal of Developmental Psychology*, 9(2), 301-314. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1991.tb00879.x>
- Baron-Cohen, S. (1997). *Mindblindness : An Essay on Autism and Theory of Mind*. MIT Press.
- Baron-Cohen, S. (2000). Theory of mind and autism: A review. In *International Review of Research in Mental Retardation* (Vol. 23, p. 169-184). Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0074-7750\(00\)80010-5](https://doi.org/10.1016/S0074-7750(00)80010-5)
- Baron-Cohen, S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(6), 248-254. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01904-6](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01904-6)
- Baron-Cohen, S. (2006). The hyper-systemizing, assortative mating theory of autism. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 30(5), 865-872.
<https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2006.01.010>
- Baron-Cohen, S. (2009). Autism: The Empathizing–Systemizing (E-S) Theory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156(1), 68-80. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04467.x>
- Baron-Cohen, S., Ashwin, E., Ashwin, C., Tavassoli, T., & Chakrabarti, B. (2009). Talent in autism: Hyper-systemizing, hyper-attention to detail and sensory hypersensitivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1522), 1377-1383. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0337>
- Baron-Cohen, S., Campbell, R., Karmiloff-Smith, A., Grant, J., & Walker, J. (1995). Are children with autism blind to the mentalistic significance of the eyes? *British Journal*

Bibliographie générale

of *Developmental Psychology*, 13(4), 379-398. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1995.tb00687.x>

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21(1), 37-46. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8)

Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Auyeung, B., Ashwin, E., Chakrabarti, B., & Knickmeyer, R. (2011). Why Are Autism Spectrum Conditions More Prevalent in Males? *PLOS Biology*, 9(6), e1001081. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001081>

Baron-Cohen, S., Richler, J., Bisarya, D., Gurunathan, N., & Wheelwright, S. (2003). The systemizing quotient: An investigation of adults with Asperger syndrome or high-functioning autism, and normal sex differences. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1430), 361-374.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1206>

Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Bullmore, E. T., Wheelwright, S., Ashwin, C., & Williams, S. C. R. (2000). The amygdala theory of autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(3), 355-364. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(00\)00011-7](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(00)00011-7)

Baron-Cohen, S., & Wheelwright, S. (2004). The Empathy Quotient: An Investigation of Adults with Asperger Syndrome or High Functioning Autism, and Normal Sex Differences. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34(2), 163-175.

<https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000022607.19833.00>

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Burtenshaw, A., & Hobson, E. (2007). Mathematical Talent is Linked to Autism. *Human Nature*, 18(2), 125-131.

<https://doi.org/10.1007/s12110-007-9014-0>

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism,

Bibliographie générale

- males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>
- Basso, M. A., & May, P. J. (2017). Circuits for Action and Cognition: A View from the Superior Colliculus. *Annual Review of Vision Science*, 3(Volume 3, 2017), 197-226. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-102016-061234>
- Bauer, R. M. (2024). Visuospatial, visuoperceptual, and visuoconstructional disorders. In *Clinical neuropsychology: A pocket handbook for assessment, 4th ed* (p. 285-319). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0000383-012>
- Beacher, F. D. C. C., Radulescu, E., Minati, L., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Lai, M.-C., Walker, A., Howard, D., Gray, M. A., Harrison, N. A., & Critchley, H. D. (2012). Sex Differences and Autism: Brain Function during Verbal Fluency and Mental Rotation. *PLOS ONE*, 7(6), e38355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038355>
- Beggiato, A., Peyre, H., Maruani, A., Scheid, I., Rastam, M., Amsellem, F., Gillberg, C. I., Leboyer, M., Bourgeron, T., Gillberg, C., & Delorme, R. (2017). Gender differences in autism spectrum disorders: Divergence among specific core symptoms. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 10(4), 680-689. <https://doi.org/10.1002/aur.1715>
- Ben-Sasson, A., Gal, E., Fluss, R., Katz-Zetler, N., & Cermak, S. A. (2019). Update of a Meta-analysis of Sensory Symptoms in ASD: A New Decade of Research. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(12), 4974-4996. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04180-0>
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2005). Enhanced and diminished visuo-spatial information processing in autism depends on stimulus complexity. *Brain*, 128(10), 2430-2441. <https://doi.org/10.1093/brain/awh561>

Bibliographie générale

- Bethell-Fox, C. E., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1984). Adaptive reasoning: Compositional and eye movement analysis of geometric analogy performance. *Intelligence*, 8(3), 205-238. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(84\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0160-2896(84)90009-6)
- Blajenkova, O., Kozhevnikov, M., & Motes, M. A. (2006). Object-spatial imagery: A new self-report imagery questionnaire. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2), 239-263. <https://doi.org/10.1002/acp.1182>
- Blazhenkova, O., Becker, M., & Kozhevnikov, M. (2011). Object-spatial imagery and verbal cognitive styles in children and adolescents: Developmental trajectories in relation to ability. *Learning and Individual Differences*, 21(3), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.11.012>
- Blazhenkova, O., & Kozhevnikov, M. (2009). The new object-spatial-verbal cognitive style model: Theory and measurement. *Applied Cognitive Psychology*, 23(5), 638-663. <https://doi.org/10.1002/acp.1473>
- Bled, C., & Bouvet, L. (2021). Validation of the French version of the Object Spatial Imagery and Verbal Questionnaire. *European Review of Applied Psychology*, 71(4), 100687. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2021.100687>
- Bled, C., Guillon, Q., Mottron, L., Soulières, I., & Bouvet, L. (2024). Evaluation of a Visual Cognitive Style in Autism: A Cluster Analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s10803-024-06616-8>
- Bled, C., Guillon, Q., Mottron, L., Soulières, I., & Bouvet, L. (2024). Visual mental imagery abilities in autism. *Autism Research*. <https://doi.org/10.1002/aur.3192>
- Bled, C., Guillon, Q., Soulières, I., & Bouvet, L. (2021). Thinking in pictures in everyday life situations among autistic adults. *PLOS ONE*, 16(7), e0255039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255039>

Bibliographie générale

- Bochet, A., Franchini, M., Kojovic, N., Glaser, B., & Schaer, M. (2021). Emotional vs. Neutral Face Exploration and Habituation: An Eye-Tracking Study of Preschoolers With Autism Spectrum Disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 11.
- <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.568997>
- Bölte, S., Girdler, S., & Marschik, P. B. (2019). The contribution of environmental exposure to the etiology of autism spectrum disorder. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 76(7), 1275-1297. <https://doi.org/10.1007/s0018-018-2988-4>
- Bölte, S., Holtmann, M., Poustka, F., Scheurich, A., & Schmidt, L. (2007). Gestalt Perception and Local-Global Processing in High-Functioning Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(8), 1493-1504. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0231-x>
- Bölte, S., Hubl, D., Dierks, T., Holtmann, M., & Poustka, F. (2008). An fMRI-study of locally oriented perception in autism: Altered early visual processing of the block design test. *Journal of Neural Transmission*, 115(3), 545-552.
- <https://doi.org/10.1007/s00702-007-0850-1>
- Bonnet, L., Comte, A., Tatu, L., Millot, J., Moulin, T., & Medeiros de Bustos, E. (2015). The role of the amygdala in the perception of positive emotions: An “intensity detector”. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00178>
- Bonnet-Brilhault, F. (2011). Correspondances génotype/phénotype et l'autisme : Modèles et stratégies. *L'Encéphale*, 37(1), 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2010.02.009>
- Booth, R., & Happé, F. (2010). “Hunting with a knife and ... fork”: Examining central coherence in autism, attention deficit/hyperactivity disorder, and typical development with a linguistic task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(4), 377-393.
- <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.06.003>

Bibliographie générale

- Born, R. T., & Bradley, D. C. (2005). Structure and function of visual area MT. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 157-189.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.041002.131052>
- Boucher, J. (1989). The theory of mind hypothesis of autism: Explanation, evidence and assessment. *The British Journal of Disorders of Communication*, 24(2), 181-198.
<https://doi.org/10.3109/13682828909011955>
- Boucher, J. (2012). Research review : Structural language in autistic spectrum disorder - characteristics and causes. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 53(3), 219-233. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02508.x>
- Bougeard, C., Picarel-Blanchot, F., Schmid, R., Campbell, R., & Buitelaar, J. (2021). Prevalence of Autism Spectrum Disorder and Co-morbidities in Children and Adolescents : A Systematic Literature Review. *Frontiers in Psychiatry*, 12.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.744709>
- Bourgeron, T. (2016). Current knowledge on the genetics of autism and propositions for future research. *Comptes Rendus Biologies*, 339(7-8), 300-307.
<https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.05.004>
- Boyd, B. A., Baranek, G. T., Sideris, J., Poe, M. D., Watson, L. R., Patten, E., & Miller, H. (2010). Sensory features and repetitive behaviors in children with autism and developmental delays. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 3(2), 78-87. <https://doi.org/10.1002/aur.124>
- Boyd, B. A., McBee, M., Holtzclaw, T., Baranek, G. T., & Bodfish, J. W. (2009). Relationships among repetitive behaviors, sensory features, and executive functions in high functioning autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3(4), 959-966.
<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2009.05.003>

Bibliographie générale

- Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2003). Normal and anomalous development of visual motion processing: Motion coherence and 'dorsal-stream vulnerability'. *Neuropsychologia*, 41(13), 1769-1784. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00178-7)
- Brock, J. (2012). Alternative Bayesian accounts of autistic perception: Comment on Pellicano and Burr. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 573-574. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.005>
- Broekhof, E., Ketelaar, L., Stockmann, L., Zijp, A., Bos, M., & Rieffe, C. (2015). The Understanding of Intentions, Desires and Beliefs in Young Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 45. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2363-3>
- Brosnan, M. J., Gwilliam, L. R., & Walker, I. (2012). Brief Report: The Relationship Between Visual Acuity, the Embedded Figures Test and Systemizing in Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(11), 2491-2497. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1505-0>
- Brown, C., & Dunn, W. (2006). *Adolescent/Adult Sensory Profile*.
- Brugha, T. S., McManus, S., Bankart, J., Scott, F., Purdon, S., Smith, J., Bebbington, P., Jenkins, R., & Meltzer, H. (2011). Epidemiology of autism spectrum disorders in adults in the community in England. *Archives of General Psychiatry*, 68(5), 459-465. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.38>
- Burgess, N. (2008). Spatial Cognition and the Brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 77-97. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.002>
- Burgoyne, A. P., Sala, G., Gobet, F., Macnamara, B. N., Campitelli, G., & Hambrick, D. Z. (2016). The relationship between cognitive ability and chess skill: A comprehensive meta-analysis. *Intelligence*, 59, 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.08.002>

Bibliographie générale

- Burnside, K., Wright, K., & Poulin-Dubois, D. (2017). Social motivation and implicit theory of mind in children with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 10(11), 1834-1844. <https://doi.org/10.1002/aur.1836>
- Butler, T., Imperato-McGinley, J., Pan, H., Voyer, D., Cordero, J., Zhu, Y.-S., Stern, E., & Silbersweig, D. (2006). Sex differences in mental rotation: Top-down versus bottom-up processing. *NeuroImage*, 32(1), 445-456. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.03.030>
- Büttner-Ennever, J. A. (2005). *Neuroanatomy of the Oculomotor System*. Elsevier.
- Caçola, P., Gabbard, C., & Spessato, B. (2014). An age-related view of the role of object and spatial cognitive styles in distance estimation. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(2), 147-156. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.876028>
- Cardillo, R., Lanfranchi, S., & Mammarella, I. C. (2020). A cross-task comparison on visuospatial processing in autism spectrum disorders. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 24(3), 765-779. <https://doi.org/10.1177/1362361319888341>
- Cardillo, R., Lievore, R., & Mammarella, I. C. (2022). Do children with and without autism spectrum disorder use different visuospatial processing skills to perform the Rey-Osterrieth complex figure test? *Autism Research*, 15(7), 1311-1323. <https://doi.org/10.1002/aur.2717>
- Cardinal, R. N., Parkinson, J. A., Hall, J., & Everitt, B. J. (2002). Emotion and motivation: The role of the amygdala, ventral striatum, and prefrontal cortex. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(3), 321-352. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(02\)00007-6](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(02)00007-6)

Bibliographie générale

- Caron, M.-J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, 129(7), 1789-1802. <https://doi.org/10.1093/brain/awl072>
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures : A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97, 404-431. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.97.3.404>
- Carper, R. A., & Courchesne, E. (2005). Localized enlargement of the frontal cortex in early autism. *Biological Psychiatry*, 57(2), 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.11.005>
- Carper, R. A., Moses, P., Tigue, Z. D., & Courchesne, E. (2002). Cerebral lobes in autism : Early hyperplasia and abnormal age effects. *NeuroImage*, 16(4), 1038-1051. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1099>
- Carpita, B., Migli, L., Chiarantini, I., Battaglini, S., Montalbano, C., Carmassi, C., Cremone, I. M., & Dell'Osso, L. (2022). Autism Spectrum Disorder and Fetal Alcohol Spectrum Disorder : A Literature Review. *Brain Sciences*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060792>
- Carrasco, M. (2011). Visual attention : The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1484-1525. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.012>
- Carroll, J. B. (1993). *Human Cognitive Abilities : A Survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge University Press.
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Castro-Alonso, J. C., & Jansen, P. (2019). Sex Differences in Visuospatial Processing. In J. C. Castro-Alonso (Éd.), *Visuospatial Processing for Education in Health and Natural*

Bibliographie générale

- Sciences* (p. 81-110). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20969-8_4
- Cavézian, C., Vilayphonh, M., Vasseur, V., Caputo, G., Laloum, L., & Chokron, S. (2013). Ophthalmic disorder may affect visuo-attentional performance in childhood. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 19(3), 292-312. <https://doi.org/10.1080/09297049.2012.670214>
- Chaix, Y., & Albaret, J.-M. (2013). Trouble de l'Acquisition de la Coordination et déficits visuo-spatiaux. *Développements*, 15(2), 32-43. <https://doi.org/10.3917/devel.015.0032>
- Chan, A. S., Leung, P.-Y., Pang, T. W.-Y., & Sze, S. L. (2024). Eye-tracking training improves visuospatial working memory of children with attention-deficit/hyperactivity disorder and autism spectrum disorder. *Autism Research*, 17(11), 2244-2260. <https://doi.org/10.1002/aur.3238>
- Charman, T., Pickles, A., Simonoff, E., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2011). IQ in children with autism spectrum disorders : Data from the Special Needs and Autism Project (SNAP). *Psychological Medicine*, 41(3), 619-627. <https://doi.org/10.1017/S0033291710000991>
- Chen, S., Zhong, X., Jiang, L., Zheng, X., Xiong, Y., Ma, S., Qiu, M., Huo, S., Ge, J., & Chen, Q. (2016). Maternal autoimmune diseases and the risk of autism spectrum disorders in offspring : A systematic review and meta-analysis. *Behavioural Brain Research*, 296, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.08.035>
- Chen, Y.-F. (2002). Chinese classification of mental disorders (CCMD-3) : Towards integration in international classification. *Psychopathology*, 35(2-3), 171-175. <https://doi.org/10.1159/000065140>
- Cheroni, C., Caporale, N., & Testa, G. (2020). Autism spectrum disorder at the crossroad between genes and environment : Contributions, convergences, and interactions in

Bibliographie générale

ASD developmental pathophysiology. *Molecular Autism*, 11(1), 69.

<https://doi.org/10.1186/s13229-020-00370-1>

Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social

motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 231-239.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>

Chiarotti, F., & Venerosi, A. (2020). Epidemiology of Autism Spectrum Disorders : A

Review of Worldwide Prevalence Estimates Since 2014. *Brain Sciences*, 10(5),

Article 5. <https://doi.org/10.3390/brainsci10050274>

Chita-Tegmark, M. (2016). Social attention in ASD : A review and meta-analysis of eye-

tracking studies. *Research in Developmental Disabilities*, 48, 79-93.

<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.011>

Chokron, S. (2015). Approche neuropsychologique des troubles neurovisuels chez l'enfant.

Revue de neuropsychologie, 7(1), 41-49. <https://doi.org/10.1684/nrp.2015.0330>

Chown, N. (2016). *Understanding and Evaluating Autism Theory*. Jessica Kingsley

Publishers.

Christensen, D. L., Maenner, M. J., Bilder, D., Constantino, J. N., Daniels, J., Durkin, M. S.,

Fitzgerald, R. T., Kurzus-Spencer, M., Pettygrove, S. D., Robinson, C., Shenouda, J.,

White, T., Zahorodny, W., Pazol, K., & Dietz, P. (2019). Prevalence and

Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 4 Years—Early

Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, Seven Sites, United

States, 2010, 2012, and 2014. *Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance*

Summaries (Washington, D.C.: 2002), 68(2), 1-19.

<https://doi.org/10.15585/mmwr.ss6802a1>

Bibliographie générale

- Chrysaitis, N. A., & Seriès, P. (2023). 10 years of Bayesian theories of autism: A comprehensive review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 145, 105022. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.105022>
- Clements, C. C., Zoltowski, A. R., Yankowitz, L. D., Yerys, B. E., Schultz, R. T., & Herrington, J. D. (2018). Evaluation of the Social Motivation Hypothesis of Autism: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, 75(8), 797-808. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2018.1100>
- Coburn, K. L., & Williams, D. L. (2022). Brief Report: Visuospatial and Spoken Language Recall in Autism: Preliminary Findings. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 52(6), 2831-2837. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05143-0>
- Cogley, C., O'Reilly, H., Bramham, J., & Downes, M. (2021). A Systematic Review of the Risk Factors for Autism Spectrum Disorder in Children Born Preterm. *Child Psychiatry & Human Development*, 52(5), 841-855. <https://doi.org/10.1007/s10578-020-01071-9>
- Conson, M., Mazzarella, E., Frolli, A., Esposito, D., Marino, N., Trojano, L., Massagli, A., Gisoni, G., Aprea, N., & Grossi, D. (2013). Motor Imagery in Asperger Syndrome: Testing Action Simulation by the Hand Laterality Task. *PLOS ONE*, 8(7), e70734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070734>
- Conson, M., Senese, V. P., Baiano, C., Zappullo, I., Warrier, V., Atripaldi, D., Carlino, I., Carrubba, M., Cuccaro, M. R., D'Angelo, M., D'Anna, O., De Vita, D., Di Meglio, D., Ferdinandi, L., Ferrara, A., Gaita, M., Giustiniani, N., Irno, M., Lamberti, F., ... The UNICAMPSY17 group. (2020). The effects of autistic traits and academic degree on visuospatial abilities. *Cognitive Processing*, 21(1), 127-140. <https://doi.org/10.1007/s10339-019-00941-y>

Bibliographie générale

- Conson, M., Senese, V. P., Baiano, C., Zappullo, I., Warrier, V., Salzano, S., Positano, M., & Baron-Cohen, S. (2019). The effects of autistic traits and academic degree on visuospatial abilities. *Cognitive Processing*, 21. <https://doi.org/10.1007/s10339-019-00941-y>
- Conson, M., Senese, V. P., Zappullo, I., Baiano, C., Warrier, V., group, T., Raimo, S., Rauso, B., Salzano, S., & Baron-Cohen, S. (2021). *Dissociable Effects of Social and Non-Social Autistic Traits on Figure Disembedding and Mental Rotation in Women and Men*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-506300/v1>
- Conson, M., Senese, V. P., Zappullo, I., Baiano, C., Warrier, V., Raimo, S., Rauso, B., Salzano, S., & Baron-Cohen, S. (2022). The effect of autistic traits on disembedding and mental rotation in neurotypical women and men. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08497-2>
- Cook, C. M., & Saucier, D. M. (2010). Mental rotation, targeting ability and Baron-Cohen's Empathizing–Systemizing Theory of Sex Differences. *Personality and Individual Differences*, 49(7), 712-716. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.010>
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). CHRONOMETRIC STUDIES OF THE ROTATION OF MENTAL IMAGES. In W. G. Chase (Éd.), *Visual Information Processing* (p. 75-176). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170150-5.50009-3>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Costini, O., Remigereau, C., Roy, A., Faure, S., & Le Gall, D. (2014). Troubles visuo-spatiaux dans la dyspraxie : Peut-on encore parler de dyspraxie? [Visual spatial disorders in children with dyspraxia: Can we still speak of dyspraxia?]. *A.N.A.E.*

Bibliographie générale

- Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 26(2[129]), 127-136.
- Coughlan, G., Laczó, J., Hort, J., Minihane, A.-M., & Hornberger, M. (2018). Spatial navigation deficits—Overlooked cognitive marker for preclinical Alzheimer disease? *Nature Reviews. Neurology*, 14(8), 496-506. <https://doi.org/10.1038/s41582-018-0031-x>
- Courchesne, E. (2002). Abnormal early brain development in autism. *Molecular Psychiatry*, 7 Suppl 2, S21-23. <https://doi.org/10.1038/sj.mp.4001169>
- Courchesne, E., Mouton, P. R., Calhoun, M. E., Semendeferi, K., Ahrens-Barbeau, C., Hallet, M. J., Barnes, C. C., & Pierce, K. (2011). Neuron Number and Size in Prefrontal Cortex of Children With Autism. *JAMA*, 306(18), 2001-2010. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.1638>
- Courchesne, E., & Pierce, K. (2005). Brain overgrowth in autism during a critical time in development: Implications for frontal pyramidal neuron and interneuron development and connectivity. *International Journal of Developmental Neuroscience: The Official Journal of the International Society for Developmental Neuroscience*, 23(2-3), 153-170. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2005.01.003>
- Courchesne, E., Pierce, K., Schumann, C. M., Redcay, E., Buckwalter, J. A., Kennedy, D. P., & Morgan, J. (2007). Mapping early brain development in autism. *Neuron*, 56(2), 399-413. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.016>
- Courchesne, E., Yeung-Courchesne, R., Press, G. A., Hesselink, J. R., & Jernigan, T. L. (1988). Hypoplasia of cerebellar vermal lobules VI and VII in autism. *The New England Journal of Medicine*, 318(21), 1349-1354. <https://doi.org/10.1056/NEJM198805263182102>

Bibliographie générale

- Courchesne, V., Meilleur, A.-A. S., Poulin-Lord, M.-P., Dawson, M., & Soulières, I. (2015). Autistic children at risk of being underestimated : School-based pilot study of a strength-informed assessment. *Molecular Autism*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s13229-015-0006-3>
- Cribb, S., Olaïthe, M., Di Lorenzo, R., Dunlop, P., & Maybery, M. (2016). Embedded Figures Test Performance in the Broader Autism Phenotype : A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2832-3>
- Crucitti, J., Hyde, C., Enticott, P. G., & Stokes, M. A. (2022). A systematic review of frontal lobe volume in autism spectrum disorder revealing distinct trajectories. *Journal of Integrative Neuroscience*, 21(2), Article 2. <https://doi.org/10.31083/j.jin2102057>
- Cruveiller, V. (2019). Sémiologie sensorielle dans les troubles du spectre autistique : Revue de la littérature. *La psychiatrie de l'enfant*, 62(2), 455-470. <https://doi.org/10.3917/psy.622.0455>
- Csíkos, C., & Kárpáti, A. (2018). Connections between Spatial Ability and Visual Imagery Preferences. *Acta Polytechnica Hungarica*, 15(7), 71-90. <https://doi.org/10.12700/APH.15.7.2018.7.4>
- Curran, E. A., O'Neill, S. M., Cryan, J. F., Kenny, L. C., Dinan, T. G., Khashan, A. S., & Kearney, P. M. (2015). Research Review : Birth by caesarean section and development of autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 56(5), 500-508. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12351>
- Czermainski, F. R., Riesgo, R. dos S., Guimarães, L. S. P., Salles, J. F. de, & Bosa, C. A. (2014). Executive Functions in Children and Adolescents With Autism Spectrum Disorder. *Paidéia (Ribeirão Preto)*, 24, 85-94. <https://doi.org/10.1590/1982-43272457201411>

Bibliographie générale

- Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H. H., Alexander, A. L., & Davidson, R. J. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nature Neuroscience*, 8(4), 519-526. <https://doi.org/10.1038/nn1421>
- Damarla, S. R., Keller, T. A., Kana, R. K., Cherkassky, V. L., Williams, D. L., Minshew, N. J., & Just, M. A. (2010). Cortical underconnectivity coupled with preserved visuospatial cognition in autism: Evidence from an fMRI study of an embedded figures task. *Autism Research*, 3(5), 273-279. <https://doi.org/10.1002/aur.153>
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9(1), 28-30. <https://doi.org/10.1038/nn1611>
- Dawson, G., Rogers, S., Munson, J., Smith, M., Winter, J., Greenson, J., Donaldson, A., & Varley, J. (2010). Randomized, Controlled Trial of an Intervention for Toddlers With Autism: The Early Start Denver Model. *Pediatrics*, 125(1), e17-e23. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0958>
- Dawson, G., Toth, K., Abbott, R., Osterling, J., Munson, J., Estes, A., & Liaw, J. (2004). Early Social Attention Impairments in Autism: Social Orienting, Joint Attention, and Attention to Distress. *Developmental Psychology*, 40(2), 271-283. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.271>
- Dawson, M., Soulières, I., Ann Gernsbacher, M., & Mottron, L. (2007). The Level and Nature of Autistic Intelligence. *Psychological science*, 18(8), 657-662. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01954.x>

Bibliographie générale

De Renzi, E. (1982). *Disorders of Space Exploration and Cognition*. New York, NY: Wiley.

<https://fr.scribd.com/document/396818242/1982-de-Renzi-E-Disorders-of-Space-Exploration-and-Cognition>

De Rubeis, S., He, X., Goldberg, A. P., Poultnay, C. S., Samocha, K., Ercument Cicek, A., Kou, Y., Liu, L., Fromer, M., Walker, S., Singh, T., Klei, L., Kosmicki, J., Fu, S.-C., Aleksic, B., Biscaldi, M., Bolton, P. F., Brownfeld, J. M., Cai, J., ... Buxbaum, J. D. (2014). Synaptic, transcriptional and chromatin genes disrupted in autism. *Nature*, 515(7526), 209-215. <https://doi.org/10.1038/nature13772>

de Belen, R. A., Pincham, H., Hodge, A., Silove, N., Sowmya, A., Bednarz, T., & Eapen, V. (2023). Eye-tracking correlates of response to joint attention in preschool children with autism spectrum disorder. *BMC Psychiatry*, 23(1), 211.
<https://doi.org/10.1186/s12888-023-04585-3>

DeBoth, K. K., & Reynolds, S. (2017). A systematic review of sensory-based autism subtypes. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 36, 44-56.
<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2017.01.005>

de Jonge, M., Kemner, C., Naber, F., & van Engeland, H. (2009). Block design reconstruction skills : Not a good candidate for an endophenotypic marker in autism research. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 18(4), 197-205.
<https://doi.org/10.1007/s00787-008-0708-6>

Del Casale, A., Ferracuti, S., Alcibiade, A., Simone, S., Modesti, M. N., & Pompili, M. (2022). Neuroanatomical correlates of autism spectrum disorders : A meta-analysis of structural magnetic resonance imaging (MRI) studies. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 325, 111516. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2022.111516>

Bibliographie générale

- Delmonte, S., Balsters, J. H., McGrath, J., Fitzgerald, J., Brennan, S., Fagan, A. J., & Gallagher, L. (2012). Social and monetary reward processing in autism spectrum disorders. *Molecular Autism*, 3(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2040-2392-3-7>
- Demetriou, A., Christou, C., Spanoudis, G., & Platsidou, M. (2002). The development of mental processing: Efficiency, working memory, and thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 67(1), i-viii, 1-155; discussion 156.
- Demetriou, E. A., DeMayo, M. M., & Guastella, A. J. (2019). Executive Function in Autism Spectrum Disorder: History, Theoretical Models, Empirical Findings, and Potential as an Endophenotype. *Frontiers in Psychiatry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00753>
- Demetriou, E. A., Lampit, A., Quintana, D. S., Naismith, S. L., Song, Y. J. C., Pye, J. E., Hickie, I., & Guastella, A. J. (2018). Autism spectrum disorders: A meta-analysis of executive function. *Molecular Psychiatry*, 23(5), 1198-1204. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.75>
- Desgranges, B., Laisney, M., Bon, L., Duval, C., Mondou, A., Bejanin, A., Fliss, R., Beaunieux, H., Eustache, F., & Muckle, G. (2012). TOM-15 : Une épreuve de fausses croyances pour évaluer la théorie de l'esprit cognitive. *Revue de neuropsychologie*, 4(3), 216-220. <https://doi.org/10.1684/nrp.2012.0232>
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.18.030195.001205>
- Desme, C. J., Dick, A. S., Hayes, T. B., & Pruden, S. M. (2024). Individual differences in emerging adults' spatial abilities: What role do affective factors play? *Cognitive Research: Principles and Implications*, 9, 13. <https://doi.org/10.1186/s41235-024-00538-w>

Bibliographie générale

- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(Volume 64, 2013), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dichter, G. S., Richey, J. A., Rittenberg, A. M., Sabatino, A., & Bodfish, J. W. (2012). Reward circuitry function in autism during face anticipation and outcomes. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(2), 147-160. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1221-1>
- DiCriscio, A. S., Smith, J., & Troiani, V. (2021). Comprehensive Assessment of Visual Perceptual Skills in Autism Spectrum Disorder. *Frontiers in Psychology*, 12, 2591. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.662808>
- Dietz, P. M., Rose, C. E., McArthur, D., & Maenner, M. (2020). National and State Estimates of Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(12), 4258-4266. <https://doi.org/10.1007/s10803-020-04494-4>
- Doi, H., & and Shinohara, K. (2013). Task-irrelevant direct gaze facilitates visual search for deviant facial expression. *Visual Cognition*, 21(1), 72-98. <https://doi.org/10.1080/13506285.2013.779350>
- Donovan, A. P. A., & Basson, M. A. (2017). The neuroanatomy of autism – a developmental perspective. *Journal of Anatomy*, 230(1), 4-15. <https://doi.org/10.1111/joa.12542>
- Doucet, G., Kruse, J. A., Hamlin, N., Peyrin, C., & Poirel, N. (2024). Neural correlates underlying local and global processing during visual search across adulthood. *PLOS ONE*, 19(6), e0303796. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303796>
- Duchowski, A. (2017). Eye Tracking Methodology. In *Eye Tracking Methodology : Theory and Practice : Third Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>
- Dunn, W. (1999). Sensory Profile. *PsycTESTS Dataset*. <https://doi.org/10.1037/t15155-000>
- Dunn, W. (2014). Sensory Profile 2. *Bloomington, MN, USA: Psych Corporation*. <https://doi.org/10.1037/t15155-000>

Bibliographie générale

- Durkin, M. S., Maenner, M. J., Meaney, F. J., Levy, S. E., DiGuiseppi, C., Nicholas, J. S., Kirby, R. S., Pinto-Martin, J. A., & Schieve, L. A. (2010). Socioeconomic inequality in the prevalence of autism spectrum disorder : Evidence from a U.S. cross-sectional study. *PloS One*, 5(7), e11551. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011551>
- Edgin, J. O., & Pennington, B. F. (2005). Spatial Cognition in Autism Spectrum Disorders : Superior, Impaired, or Just Intact? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35(6), 729-745. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0020-y>
- Ellis, S. E., Gupta, S., Moes, A., West, A. B., & Arking, D. E. (2017). Exaggerated CpH methylation in the autism-affected brain. *Molecular Autism*, 8(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s13229-017-0119-y>
- Elsabbagh, M. (2020). Linking risk factors and outcomes in autism spectrum disorder : Is there evidence for resilience? *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 368, 16880. <https://doi.org/10.1136/bmj.l6880>
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In *Models of working memory : Mechanisms of active maintenance and executive control* (p. 102-134). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.007>
- Entzmann, L., Guyader, N., Kauffmann, L., Peyrin, C., & Mermilliod, M. (2023). Detection of emotional faces : The role of spatial frequencies and local features. *Vision Research*, 211, 108281. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108281>
- Espenhahn, S., Godfrey, K. J., Kaur, S., McMorris, C., Murias, K., Tommerdahl, M., Bray, S., & Harris, A. D. (2023). Atypical Tactile Perception in Early Childhood Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(7), 2891-2904. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05570-7>

Bibliographie générale

- Esposito, E., Shekhtman, G., & Chen, P. (2021). Prevalence of spatial neglect post-stroke : A systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 64(5), 101459. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.10.010>
- Falter, C. M., Plaisted, K. C., & Davis, G. (2008). Visuo-spatial Processing in Autism—Testing the Predictions of Extreme Male Brain Theory. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(3), 507-515. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0419-8>
- Fanning, P. A. J., Hocking, D. R., Dissanayake, C., & Vivanti, G. (2018). Delineation of a spatial working memory profile using a non-verbal eye-tracking paradigm in young children with autism and Williams syndrome. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 24(4), 469-489. <https://doi.org/10.1080/09297049.2017.1284776>
- Fatemi, S. H., Aldinger, K. A., Ashwood, P., Bauman, M. L., Blaha, C. D., Blatt, G. J., Chauhan, A., Chauhan, V., Dager, S. R., Dickson, P. E., Estes, A. M., Goldowitz, D., Heck, D. H., Kemper, T. L., King, B. H., Martin, L. A., Millen, K. J., Mittleman, G., Mosconi, M. W., ... Welsh, J. P. (2012). Consensus Paper : Pathological Role of the Cerebellum in Autism. *The Cerebellum*, 11(3), 777-807. <https://doi.org/10.1007/s12311-012-0355-9>
- Feldman, J. I., Dunham, K., Cassidy, M., Wallace, M. T., Liu, Y., & Woynaroski, T. G. (2018). Audiovisual multisensory integration in individuals with autism spectrum disorder : A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 95, 220-234. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.09.020>
- Felleman, D. J., & Van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 1(1), 1-47. <https://doi.org/10.1093/cercor/1.1.1-a>

Bibliographie générale

- Forster, S., & Lavie, N. (2021). Faces are not always special for attention: Effects of response-relevance and identity. *Vision Research*, 189, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.08.002>
- Foss-Feig, J. H., Heacock, J. L., & Cascio, C. J. (2012). TACTILE RESPONSIVENESS PATTERNS AND THEIR ASSOCIATION WITH CORE FEATURES IN AUTISM SPECTRUM DISORDERS. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(1), 337-344.
<https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.06.007>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle : A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127-138. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>
- Frith, C., & Frith, U. (2005). Theory of mind. *Current Biology*, 15(17), R644-R645.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.08.041>
- Frith, U. (1989). *Autism : Explaining the enigma*. (p. ix, 249). Blackwell Publishing.
- Frith, U. (1991). *Autism and Asperger syndrome* (p. x, 247). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511526770>
- Frith, U., & Happé, F. (1994). Autism: Beyond “theory of mind”. *Cognition*, 50(1), 115-132.
[https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90024-8)
- Fugard, A. J. B., Stewart, M. E., & Stenning, K. (2011). Visual/verbal-analytic reasoning bias as a function of self-reported autistic-like traits : A study of typically developing individuals solving Raven’s Advanced Progressive Matrices. *Autism*, 15(3), 327-340.
<https://doi.org/10.1177/1362361310371798>
- Gandhi, N. J., & Katnani, H. A. (2011). Motor Functions of the Superior Colliculus. *Annual Review of Neuroscience*, 34(Volume 34, 2011), 205-231.
<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113728>

Bibliographie générale

- Gardener, H., Spiegelman, D., & Buka, S. L. (2009). Prenatal risk factors for autism: Comprehensive meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, 195(1), 7-14. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.108.051672>
- Geldmacher, D. S. (2003). Visuospatial dysfunction in the neurodegenerative diseases. *Frontiers in Bioscience: A Journal and Virtual Library*, 8, e428-436. <https://doi.org/10.2741/1143>
- Gerstenberg, F. X. R. (2012). Sensory-processing sensitivity predicts performance on a visual search task followed by an increase in perceived stress. *Personality and Individual Differences*, 53(4), 496-500. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2012.04.019>
- Giesel, M., Yakovleva, A., Bloj, M., Wade, A. R., Norcia, A. M., & Harris, J. M. (2019). Relative contributions to vergence eye movements of two binocular cues for motion-in-depth. *Scientific Reports*, 9(1), 17412. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53902-y>
- Giglia, G., Brighina, F., Zangla, D., Bianco, A., Chiavetta, E., Palma, A., & Fierro, B. (2011). Visuospatial Attention Lateralization in Volleyball Players and in Rowers. *Perceptual and Motor Skills*, 112(3), 915-925. <https://doi.org/10.2466/05.22.27.PMS.112.3.915-925>
- Goldberg, J., & Helfman, J. (2011). Eye tracking for visualization evaluation: Reading values on linear versus radial graphs. *Information Visualization*, 10(3), 182-195. <https://doi.org/10.1177/1473871611406623>
- Goldsmith, L. T., Hetland, L., Hoyle, C., & Winner, E. (2016). Visual-spatial thinking in geometry and the visual arts. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(1), 56-71. <https://doi.org/10.1037/aca0000027>
- Gonçalves, A. M., & Monteiro, P. (2023). Autism Spectrum Disorder and auditory sensory alterations: A systematic review on the integrity of cognitive and neuronal functions

Bibliographie générale

related to auditory processing. *Journal of Neural Transmission*, 130(3), 325-408.

<https://doi.org/10.1007/s00702-023-02595-9>

Gonthier, C., Harma, K., & Gavornikova-Baligand, Z. (2024). Development of reasoning performance in Raven's matrices is grounded in the development of effective strategy use. *Journal of Experimental Psychology. General*, 153(3), 689-705.

<https://doi.org/10.1037/xge0001518>

Gonthier, C., & Roulin, J.-L. (2020). Intraindividual strategy shifts in Raven's matrices, and their dependence on working memory capacity and need for cognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(3), 564-579.

<https://doi.org/10.1037/xge0000660>

Goodale, M. A., & Milner, A. D. (2018). Two visual pathways – Where have they taken us and where will they lead in future? *Cortex*, 98, 283-292.

<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.12.002>

Goris, J., Braem, S., Herck, S. V., Simoens, J., Deschrijver, E., Wiersema, J. R., Paton, B., Brass, M., & Todd, J. (2022). Reduced Primacy Bias in Autism during Early Sensory Processing. *Journal of Neuroscience*, 42(19), 3989-3999.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3088-20.2022>

Grandin, T. (1995). How People with Autism Think. In E. Schopler & G. B. Mesibov (Eds.), *Learning and Cognition in Autism* (p. 137-156). Springer US.

https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1286-2_8

Grandin, T. (2009). How does visual thinking work in the mind of a person with autism? A personal account. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1522), 1437-1442. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0297>

Green, A. E., Kenworthy, L., Mosner, M. G., Gallagher, N. M., Fearon, E. W., Balhana, C. D., & Yerys, B. E. (2014). Abstract analogical reasoning in high-functioning children

Bibliographie générale

with autism spectrum disorders. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 7(6), 677-686.

<https://doi.org/10.1002/aur.1411>

Grill-Spector, K., & Weiner, K. S. (2014). The functional architecture of the ventral temporal cortex and its role in categorization. *Nature Reviews. Neuroscience*, 15(8), 536-548.

<https://doi.org/10.1038/nrn3747>

Grinter, E. J., Maybery, M. T., Van Beek, P. L., Pellicano, E., Badcock, J. C., & Badcock, D. R. (2009). Global Visual Processing and Self-Rated Autistic-like Traits. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(9), 1278-1290.

<https://doi.org/10.1007/s10803-009-0740-5>

Grinter, E. J., Van Beek, P. L., Maybery, M. T., & Badcock, D. R. (2009). Brief Report : Visuospatial Analysis and Self-Rated Autistic-Like Traits. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(4), 670-677. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0658-3>

Guillon, Q., Hadjikhani, N., Baduel, S., & Rogé, B. (2014). Visual social attention in autism spectrum disorder : Insights from eye tracking studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 42, 279-297. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.013>

Habib, A., Harris, L., Pollick, F., & Melville, C. (2019). A meta-analysis of working memory in individuals with autism spectrum disorders. *PLOS ONE*, 14(4), e0216198.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216198>

Hadad, B.-S., & Yashar, A. (2022). Sensory Perception in Autism : What Can We Learn? *Annual Review of Vision Science*, 8(Volume 8, 2022), 239-264.

<https://doi.org/10.1146/annurev-vision-093020-035217>

Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Snyder, J., & Tager-Flusberg, H. (2006). Anatomical Differences in the Mirror Neuron System and Social Cognition Network in Autism. *Cerebral Cortex*, 16(9), 1276-1282. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj069>

Bibliographie générale

- Hall, L., & Kelley, E. (2014). The contribution of epigenetics to understanding genetic factors in autism. *Autism, 18*(8), 872-881. <https://doi.org/10.1177/1362361313503501>
- Hallmayer, J., Cleveland, S., Torres, A., Phillips, J., Cohen, B., Torigoe, T., Miller, J., Fedele, A., Collins, J., Smith, K., Lotspeich, L., Croen, L. A., Ozonoff, S., Lajonchere, C., Grether, J. K., & Risch, N. (2011). Genetic Heritability and Shared Environmental Factors Among Twin Pairs With Autism. *Archives of General Psychiatry, 68*(11), 1095-1102. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.76>
- Hamilton, A. F. de C. (2013). Reflecting on the mirror neuron system in autism: A systematic review of current theories. *Developmental Cognitive Neuroscience, 3*, 91-105. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.09.008>
- Hamilton, A. F. de C., Brindley, R., & Frith, U. (2009). Visual perspective taking impairment in children with autistic spectrum disorder. *Cognition, 113*(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.07.007>
- Happé, F., Booth, R., Charlton, R., & Hughes, C. (2006). Executive function deficits in autism spectrum disorders and attention-deficit/hyperactivity disorder: Examining profiles across domains and ages. *Brain and Cognition, 61*(1), 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.03.004>
- Happé, F., & 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. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0039-0>
- Happé, F. G. (1994). Wechsler IQ profile and theory of mind in autism: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines, 35*(8), 1461-1471. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1994.tb01287.x>

Bibliographie générale

- Happé, F. G. E., & Booth, R. D. L. (2008). The Power of the Positive : Revisiting Weak Coherence in Autism Spectrum Disorders. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 50-63. <https://doi.org/10.1080/17470210701508731>
- Harms, M. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2010). Facial Emotion Recognition in Autism Spectrum Disorders : A Review of Behavioral and Neuroimaging Studies. *Neuropsychology Review*, 20(3), 290-322. <https://doi.org/10.1007/s11065-010-9138-6>
- Harrison, J. E., Weber, S., Jakob, R., & Chute, C. G. (2021). ICD-11 : An international classification of diseases for the twenty-first century. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(6), 206. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01534-6>
- Hayashi, M., Kato, M., Igarashi, K., & Kashima, H. (2008). Superior fluid intelligence in children with Asperger's disorder. *Brain and Cognition*, 66(3), 306-310. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.09.008>
- Hayes, T. R., Petrov, A. A., & Sederberg, P. B. (2011). A novel method for analyzing sequential eye movements reveals strategic influence on Raven's Advanced Progressive Matrices. *Journal of Vision*, 11(10), 10. <https://doi.org/10.1167/11.10.10>
- Hegarty, M., Montello, D. R., Richardson, A. E., Ishikawa, T., & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales : Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34(2), 151-176. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.09.005>
- Hegarty, M., & Waller, D. A. (2005). Individual Differences in Spatial Abilities. In *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (p. 121-169). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.005>
- Henn, P., Gallagher, A. G., Nugent, E., Seymour, N. E., Haluck, R. S., Hseino, H., Traynor, O., & Neary, P. C. (2018). Visual spatial ability for surgical trainees : Implications for

Bibliographie générale

- learning endoscopic, laparoscopic surgery and other image-guided procedures. *Surgical Endoscopy*, 32(8), 3634-3639. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6094-3>
- Heppe, H., Kohler, A., Fleddermann, M.-T., & Zentgraf, K. (2016). The Relationship between Expertise in Sports, Visuospatial, and Basic Cognitive Skills. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00904>
- Hernandez, N., Metzger, A., Magné, R., Bonnet-Brilhault, F., Roux, S., Barthelemy, C., & Martineau, J. (2009). Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia*, 47(4), 1004-1012. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.023>
- Hessels, R. S., Niehorster, D. C., Nyström, M., Andersson, R., & Hooge, I. T. C. (2018). Is the eye-movement field confused about fixations and saccades? A survey among 124 researchers. *Royal Society Open Science*, 5(8), 180502. <https://doi.org/10.1098/rsos.180502>
- Hill, E. L. (2004a). Evaluating the theory of executive dysfunction in autism. *Developmental Review*, 24(2), 189-233. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2004.01.001>
- Hill, E. L. (2004b). Executive dysfunction in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.11.003>
- Hodges, H., Fealko, C., & Soares, N. (2020). Autism spectrum disorder : Definition, epidemiology, causes, and clinical evaluation. *Translational Pediatrics*, 9(Suppl 1), S55-S65. <https://doi.org/10.21037/tp.2019.09.09>
- Hoffmann, A., & Spengler, D. (2021). Single-Cell Transcriptomics Supports a Role of CHD8 in Autism. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijms22063261>

Bibliographie générale

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Weijer, J. van de. (2011). *Eye Tracking : A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Horlin, C., Black, M., Falkmer, M., & Falkmer, T. (2014). Proficiency of individuals with autism spectrum disorder at disembedding figures : A systematic review. *Developmental neurorehabilitation, 19*.
<https://doi.org/10.3109/17518423.2014.888102>
- Hughes, C., Russell, J., & Robbins, T. W. (1994). Evidence for executive dysfunction in autism. *Neuropsychologia, 32*(4), 477-492. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(94\)90092-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)90092-2)
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1987). *Visual object processing : A cognitive neuropsychological approach* (p. xii, 317). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Husain, M., & Nachev, P. (2007). Space and the parietal cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(1), 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.10.011>
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews. Neuroscience, 7*(12), 942-951.
<https://doi.org/10.1038/nrn2024>
- Ingudomnukul, E., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Knickmeyer, R. (2007). Elevated rates of testosterone-related disorders in women with autism spectrum conditions. *Hormones and Behavior, 51*(5), 597-604. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.02.001>
- Irani, F. (2011). Visual-Spatial Ability. In J. S. Kreutzer, J. DeLuca, & B. Caplan (Éds.), *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology* (p. 2652-2654). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-79948-3_1418

Bibliographie générale

- Ishikawa, T., & Newcombe, N. S. (2021). Why spatial is special in education, learning, and everyday activities. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 6(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s41235-021-00274-5>
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(3), 194-203. <https://doi.org/10.1038/35058500>
- Ivashko-Pachima, Y., Ganaiem, M., Ben-Horin-Hazak, I., Lobyntseva, A., Bellaiche, N., Fischer, I., Levy, G., Sragovich, S., Karmon, G., Giladi, E., Shazman, S., Barak, B., & Gozes, I. (2022). SH3- and actin-binding domains connect ADNP and SHANK3, revealing a fundamental shared mechanism underlying autism. *Molecular Psychiatry*, 27(8), 3316-3327. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01603-w>
- Jack, A., & Morris, J. P. (2014). Neocerebellar contributions to social perception in adolescents with autism spectrum disorder. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 10, 77-92. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.08.001>
- Jack, J. (2011). « The Extreme Male Brain? » Incrementum and the Rhetorical Gendering of Autism. *Disability Studies Quarterly*, 31(3), Article 3. <https://doi.org/10.18061/dsq.v31i3.1672>
- Janecka, M., Mill, J., Basson, M. A., Goriely, A., Spiers, H., Reichenberg, A., Schalkwyk, L., & Fernandes, C. (2017). Advanced paternal age effects in neurodevelopmental disorders—Review of potential underlying mechanisms. *Translational Psychiatry*, 7(1), e1019-e1019. <https://doi.org/10.1038/tp.2016.294>
- Jarrold, C., Gilchrist, I. D., & Bender, A. (2005). Embedded figures detection in autism and typical development: Preliminary evidence of a double dissociation in relationships with visual search. *Developmental Science*, 8(4), 344-351. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00422.x>
- Javal, E. (1879). Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*, 80, 61-73.

Bibliographie générale

- Jiang, H., Xu, L., Shao, L., Xia, R., Yu, Z., Ling, Z., Yang, F., Deng, M., & Ruan, B. (2016). Maternal infection during pregnancy and risk of autism spectrum disorders : A systematic review and meta-analysis. *Brain, Behavior, and Immunity*, 58, 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2016.06.005>
- Jolliffe, T., & Baron-Cohen, S. (1997). Are People with Autism and Asperger Syndrome Faster Than Normal on the Embedded Figures Test? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38(5), 527-534. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1997.tb01539.x>
- Jones, C. R. G., Simonoff, E., Baird, G., Pickles, A., Marsden, A. J. S., Tregay, J., Happé, F., & Charman, T. (2018). The association between theory of mind, executive function, and the symptoms of autism spectrum disorder. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 11(1), 95-109. <https://doi.org/10.1002/aur.1873>
- Jones, W., Klaiman, C., Richardson, S., Aoki, C., Smith, C., Minjarez, M., Bernier, R., Pedapati, E., Bishop, S., Ence, W., Wainer, A., Moriuchi, J., Tay, S.-W., & Klin, A. (2023). Eye-Tracking-Based Measurement of Social Visual Engagement Compared With Expert Clinical Diagnosis of Autism. *JAMA*, 330(9), 854-865. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.13295>
- Jordan, K., Wüstenberg, T., Heinze, H.-J., Peters, M., & Jäncke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, 40(13), 2397-2408. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00076-3)
- Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., & Minshew, N. J. (2004). Cortical activation and synchronization during sentence comprehension in high-functioning autism: Evidence of underconnectivity. *Brain*, 127(8), 1811-1821. <https://doi.org/10.1093/brain/awh199>

Bibliographie générale

- Kana, R. K. (2022). *The Neuroscience of Autism*. Academic Press.
- Kana, R. K., Uddin, L. Q., Kenet, T., Chugani, D., & Müller, R.-A. (2014). Brain connectivity in autism. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00349>
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, 2, 217-250.
- Karp, S. A., & Konstadt, N. L. (1963). *Manual for the Children's Embedded Figures Test* (p. 14). Cognitive Tests.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2004). *Kaufman Assessment Battery for Children* [Jeu de données]. <https://doi.org/10.1037/t27677-000>
- Kaufmann, L., Zotter, S., Pixner, S., Starke, M., Haberlandt, E., Steinmayr-Gensluckner, M., Egger, K., Schocke, M., Weiss, E. M., & Marksteiner, J. (2013). Brief Report : CANTAB Performance and Brain Structure in Pediatric Patients with Asperger Syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(6), 1483-1490.
- <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1686-6>
- Kawamura, A., Katayama, Y., Kakegawa, W., Ino, D., Nishiyama, M., Yuzaki, M., & Nakayama, K. I. (2021). The autism-associated protein CHD8 is required for cerebellar development and motor function. *Cell Reports*, 35(1).
- <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2021.108932>
- Keehn, B., Brenner, L. A., Ramos, A. I., Lincoln, A. J., Marshall, S. P., & Müller, R.-A. (2009). Brief Report : Eye-Movement Patterns during an Embedded Figures Test in Children with ASD. *Journal of autism and developmental disorders*, 39(2), 383-387.
- <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0608-0>
- Keehn, B., Brenner, L., Palmer, E., Lincoln, A. J., & Müller, R.-A. (2008). Functional brain organization for visual search in ASD. *Journal of the International*

Bibliographie générale

Neuropsychological Society, 14(6), 990-1003.

<https://doi.org/10.1017/S1355617708081356>

Keehn, B., Monahan, P., Enneking, B., Ryan, T., Swigonski, N., & McNally Keehn, R.

(2024). Eye-Tracking Biomarkers and Autism Diagnosis in Primary Care. *JAMA Network Open, 7(5), e2411190.* <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.11190>

Keles, U., Kliemann, D., Byrge, L., Saarimäki, H., Paul, L. K., Kennedy, D. P., & Adolphs, R. (2022). Atypical gaze patterns in autistic adults are heterogeneous across but

reliable within individuals. *Molecular Autism, 13(1), 39.*

<https://doi.org/10.1186/s13229-022-00517-2>

Kell, H. J., Lubinski, D., Benbow, C. P., & Steiger, J. H. (2013). Creativity and Technical Innovation : Spatial Ability's Unique Role. *Psychological Science, 24(9), 1831-1836.*

<https://doi.org/10.1177/0956797613478615>

Kervin, R., Berger, C., Moon, S. J., Hill, H., Park, D., & Kim, J. W. (2021). Behavioral

addiction and autism spectrum disorder : A systematic review. *Research in*

Developmental Disabilities, 117, 104033. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2021.104033>

Kessels, R. P. C., van Zandvoort ,Martine J. E., Postma ,Albert, Kappelle ,L. Jaap, & and

de Haan, E. H. F. (2000). The Corsi Block-Tapping Task : Standardization and

Normative Data. *Applied Neuropsychology, 7(4), 252-258.*

https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8

Khachadourian, V., Mahjani, B., Sandin, S., Kolevzon, A., Buxbaum, J. D., Reichenberg, A.,

& Janecka, M. (2023). Comorbidities in autism spectrum disorder and their etiologies.

Translational Psychiatry, 13(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02374-w>

King, A. J. (2004). The superior colliculus. *Current Biology, 14(9), R335-R338.*

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.04.018>

Bibliographie générale

- Kirsch, A. C., Huebner, A. R. S., Mehta, S. Q., Howie, F. R., Weaver, A. L., Myers, S. M., Voigt, R. G., & Katusic, S. K. (2020). Association of Comorbid Mood and Anxiety Disorders With Autism Spectrum Disorder. *JAMA Pediatrics*, 174(1), 63-70. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.4368>
- Kliemann, D., Dziobek, I., Hatri, A., Baudewig, J., & Heekerlen, H. R. (2012). The role of the amygdala in atypical gaze on emotional faces in autism spectrum disorders. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 32(28), 9469-9476. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5294-11.2012>
- Knickmeyer, R. C., & Baron-Cohen, S. (2006). Topical Review : Fetal Testosterone and Sex Differences in Typical Social Development and in Autism. *Journal of Child Neurology*, 21(10), 825-845. <https://doi.org/10.1177/08830738060210101601>
- Kofler, M., Irwin, L., Soto, E., Groves, N., Harmon, S., & Sarver, D. (2018). Executive Functioning Heterogeneity in Pediatric ADHD. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 47. <https://doi.org/10.1007/s10802-018-0438-2>
- Kohls, G., Schulte-Rüther, M., Nehrkorn, B., Müller, K., Fink, G. R., Kamp-Becker, I., Herpertz-Dahlmann, B., Schultz, R. T., & Konrad, K. (2013). Reward system dysfunction in autism spectrum disorders. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(5), 565-572. <https://doi.org/10.1093/scan/nss033>
- Kohs, S. C. (1920). The Block-Design Tests. *Journal of Experimental Psychology*, 3(5), 357-376. <https://doi.org/10.1037/h0074466>
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). *NEPSY II : Administrative manual*. Harcourt Assessment, PsychCorp.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image And Brain : The Resolution of the Imagery Debate*. Cambridge (MA): MIT Press.

Bibliographie générale

- Kothari, R., Yang, Z., Kanan, C., Bailey, R., Pelz, J. B., & Diaz, G. J. (2020). Gaze-in-wild : A dataset for studying eye and head coordination in everyday activities. *Scientific Reports*, 10(1), 2539. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59251-5>
- Kovarski, K., Caetta, F., Mermilliod, M., Peyrin, C., Perez, C., Granjon, L., Delorme, R., Cartigny, A., Zalla, T., & Chokron, S. (2021). Emotional face recognition in autism and in cerebral visual impairments : In search for specificity. *Journal of Neuropsychology*, 15(2), 235-252. <https://doi.org/10.1111/jnp.12221>
- Krauzlis, R. J., Lovejoy, L. P., & Zénon, A. (2013). Superior colliculus and visual spatial attention. *Annual Review of Neuroscience*, 36, 165-182.
<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062012-170249>
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(4), 217-230.
<https://doi.org/10.1038/nrn3008>
- Kuschner, E. S., Bodner, K. E., & Minshew, N. J. (2009). Local vs. Global approaches to reproducing the Rey Osterrieth complex figure by children, adolescents, and adults with high-functioning autism. *Autism Research*, 2(6), 348-358.
<https://doi.org/10.1002/aur.101>
- Lai, M.-C., Lombardo, M. V., & Baron-Cohen, S. (2014). Autism. *The Lancet*, 383(9920), 896-910. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61539-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61539-1)
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., & Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90-115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>

Bibliographie générale

- Lambert-Brown, B. L., McDonald, N. M., Mattson, W. I., Martin, K. B., Ibañez, L. V., Stone, W. L., & Messinger, D. S. (2015). Positive emotional engagement and autism risk. *Developmental Psychology, 51*(6), 848-855. <https://doi.org/10.1037/a0039182>
- Landa, R. J., & Goldberg, M. C. (2005). Language, Social, and Executive Functions in High Functioning Autism: A Continuum of Performance. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 35*(5), 557-573. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0001-1>
- Lawson, R. P., Rees, G., & Friston, K. J. (2014). An aberrant precision account of autism. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00302>
- Lee, P. S., Foss-Feig, J., Henderson, J. G., Kenworthy, L. E., Gilotty, L., Gaillard, W. D., & Vaidya, C. J. (2007). Atypical neural substrates of Embedded Figures Task performance in children with Autism Spectrum Disorder. *NeuroImage, 38*(1), 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.07.013>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology, 21*(1), 59-80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2015). *The Neurology of Eye Movements*. Oxford University Press.
- Lemonnier, S., Bouillet, K., & Bremond, R. (2021). Oculométrie. In *Ergonomie : 150 notions clés* (p. 377-380). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.brang.2021.01.0377>
- Leslie, A. M. (1987). Pretense and representation: The origins of « theory of mind. » *Psychological Review, 94*(4), 412-426. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.4.412>
- Levine, S. C., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S., & Ratliff, K. (2016). Sex differences in spatial cognition: Advancing the conversation. *WIREs Cognitive Science, 7*(2), 127-155. <https://doi.org/10.1002/wcs.1380>

Bibliographie générale

- Levine, S. C., Ratliff, K. R., Huttenlocher, J., & Cannon, J. (2012). Early puzzle play : A predictor of preschoolers' spatial transformation skill. *Developmental Psychology, 48*(2), 530-542. <https://doi.org/10.1037/a0025913>
- Levy, F. (2007). Theories of Autism. *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry, 41*(11), 859-868. <https://doi.org/10.1080/00048670701634937>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability : A meta-analysis. *Child Development, 56*(6), 1479-1498. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Liu, S., Wei, W., Chen, Y., Hugo, P., & Zhao, J. (2021). Visual–Spatial Ability Predicts Academic Achievement Through Arithmetic and Reading Abilities. *Frontiers in Psychology, 11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.591308>
- Liversedge, S., Gilchrist, I., & Everling, S. (2011). *The Oxford Handbook of Eye Movements*. OUP Oxford.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial Working Memory*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315804743>
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet, 392*(10146), 508-520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
- Lord, C., Rutter, M., Goode, S., Heemsbergen, J., Jordan, H., Mawhood, L., & Schopler, E. (1989). Autism diagnostic observation schedule : A standardized observation of communicative and social behavior. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 19*(2), 185-212. <https://doi.org/10.1007/BF02211841>
- Lord, C., Rutter, M., & Le Couteur, A. (1994). Autism Diagnostic Interview-Revised : A revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible

Bibliographie générale

- pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 24(5), 659-685. <https://doi.org/10.1007/BF02172145>
- Loureiro, L. O., Howe, J. L., Reuter, M. S., Iaboni, A., Calli, K., Rosenthal, D., Pritišanac, I., Moses, A., Forman-Kay, J. D., Trost, B., Zarrei, M., Rennie, O., Lau, L. Y. S., Marshall, C. R., Srivastava, S., Godlewski, B., Buttermore, E. D., Sahin, M., Hartley, D., ... Scherer, S. W. (2021). A recurrent SHANK3 frameshift variant in Autism Spectrum Disorder. *Npj Genomic Medicine*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41525-021-00254-0>
- Lowrie, T., Logan, T., & Ramful, A. (2017). Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 170-186. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>
- Ma, X., Gu, H., & Zhao, J. (2021). Atypical gaze patterns to facial feature areas in autism spectrum disorders reveal age and culture effects : A meta-analysis of eye-tracking studies. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 14(12), 2625-2639. <https://doi.org/10.1002/aur.2607>
- Macizo, P., Soriano, M. F., & Paredes, N. (2016). Phonological and Visuospatial Working Memory in Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(9), 2956-2967. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2835-0>
- MacNeil, L. K., & Mostofsky, S. H. (2012). Specificity of dyspraxia in children with autism. *Neuropsychology*, 26(2), 165-171. <https://doi.org/10.1037/a0026955>
- Maier, S., Düppers, A. L., Runge, K., Dacko, M., Lange, T., Fangmeier, T., Riedel, A., Ebert, D., Endres, D., Domschke, K., Perlov, E., Nickel, K., & Tebartz van Elst, L. (2022). Increased prefrontal GABA concentrations in adults with autism spectrum disorders. *Autism Research*, 15(7), 1222-1236. <https://doi.org/10.1002/aur.2740>

Bibliographie générale

- Mandy, W., & Lai, M.-C. (2016). Annual Research Review : The role of the environment in the developmental psychopathology of autism spectrum condition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(3), 271-292. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12501>
- Manjaly, Z. M., Bruning, N., Neufang, S., Stephan, K. E., Brieber, S., Marshall, J. C., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Herpertz-Dahlmann, B., Konrad, K., & Fink, G. R. (2007). Neurophysiological correlates of relatively enhanced local visual search in autistic adolescents. *Neuroimage*, 35(1-3), 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.036>
- Mannion, A., & Leader, G. (2014). Epilepsy in autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 8(4), 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.12.012>
- Marco, E. J., Hinkley, L. B. N., Hill, S. S., & Nagarajan, S. S. (2011). Sensory processing in autism: A review of neurophysiologic findings. *Pediatric Research*, 69(5 Pt 2), 48R-54R. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3182130c54>
- Markram, H., Rinaldi, T., & Markram, K. (2007). The intense world syndrome—An alternative hypothesis for autism. *Frontiers in Neuroscience*, 1. <https://doi.org/10.3389/neuro.01.1.1.006.2007>
- Markram, K., & Markram, H. (2010). The Intense World Theory – A Unifying Theory of the Neurobiology of Autism. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00224>
- Marotta, R., Risoleo, M. C., Messina, G., Parisi, L., Carotenuto, M., Vetri, L., & Roccella, M. (2020). The Neurochemistry of Autism. *Brain Sciences*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/brainsci10030163>
- Martin, N. A. (2006). *Test of Visual Perceptual Skills 3*. Academic Therapy Publications.
- Martinaud, O. (2012). Prosopagnosie et autres agnosies visuelles. *Revue de neuropsychologie*, 4(4), 277-286. <https://doi.org/10.1684/nrp.2012.0243>

Bibliographie générale

- Martinaud, O. (2017). Visual agnosia and focal brain injury. *Revue Neurologique*, 173(7), 451-460. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2017.07.009>
- Martinčević, M., & Vranić, A. (2025). Don't disturb my circles : The effect of fine arts training on visuospatial ability in students. *Memory & Cognition*, 53(1), 341-351. <https://doi.org/10.3758/s13421-023-01446-y>
- Masland, R. H. (2012). The Neuronal Organization of the Retina. *Neuron*, 76(2), 266-280. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.002>
- Matson, J. L., Dempsey, T., & Fodstad, J. C. (2009). The effect of Autism Spectrum Disorders on adaptive independent living skills in adults with severe intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 30(6), 1203-1211. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2009.04.001>
- Matson, J. L., & Goldin, R. L. (2013). Comorbidity and autism : Trends, topics and future directions. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(10), 1228-1233. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.07.003>
- Matson, J. L., & Nebel-Schwalm, M. S. (2007). Comorbid psychopathology with autism spectrum disorder in children : An overview. *Research in Developmental Disabilities*, 28(4), 341-352. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2005.12.004>
- Mayes, S. D., & Calhoun, S. L. (2008). WISC-IV and WIAT-II profiles in children with high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(3), 428-439. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0410-4>
- McKelvie, S. J. (1995). The VVIQ and beyond : Vividness and its measurement. *Journal of Mental Imagery*, 19(3-4), 197-252.
- Meilleur, A.-A. S., Berthiaume, C., Bertone, A., & Mottron, L. (2014). Autism-specific covariation in perceptual performances : « g » or « p » factor? *PLoS One*, 9(8), e103781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103781>

Bibliographie générale

- Meneghetti, C., Fiore, F., Borella, E., & De Beni, R. (2011). Learning a map of environment : The role of visuo-spatial abilities in young and older adults. *Applied Cognitive Psychology*, 25(6), 952-959. <https://doi.org/10.1002/acp.1788>
- Merikangas, A. K., Calkins, M. E., Bilker, W. B., Moore, T. M., Gur, R. C., & Gur, R. E. (2017). Parental Age and Offspring Psychopathology in the Philadelphia Neurodevelopmental Cohort. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(5), 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.02.004>
- Mervis, C. B., Robinson, B. F., & Pani, J. R. (1999). Visuospatial Construction. *The American Journal of Human Genetics*, 65(5), 1222-1229. <https://doi.org/10.1086/302633>
- Milani, L., Grumi, S., & Di Blasio, P. (2019). Positive Effects of Videogame Use on Visuospatial Competencies : The Impact of Visualization Style in Preadolescents and Adolescents. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01226>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-reviewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>
- Milner, A., & Goodale, M. (1997). The Visual Brain in Action. *Optometry and Vision Science* - *OPTOMETRY VISION SCI*, 74. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198524724.001.0001>
- Milton, D. E. M. (2012). On the ontological status of autism: The ‘double empathy problem’. *Disability & Society*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09687599.2012.710008>

Bibliographie générale

- Milton, D., Heasman, B., & Sheppard, E. (2018). Double Empathy. In F. Volkmar (Éd.), *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6435-8_102273-1
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(83\)90190-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(83)90190-X)
- Mitolo, M., Gardini, S., Caffarra, P., Ronconi, L., Venneri, A., & Pazzaglia, F. (2015). Relationship between spatial ability, visuospatial working memory and self-assessed spatial orientation ability: A study in older adults. *Cognitive Processing*, 16(2), 165-176. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0647-3>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Modabbernia, A., Velthorst, E., & Reichenberg, A. (2017). Environmental risk factors for autism: An evidence-based review of systematic reviews and meta-analyses. *Molecular Autism*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s13229-017-0121-4>
- Moore, M. J., Vancleef, K., Riddoch, M. J., Gillebert, C. R., & Demeyere, N. (2021). Recovery of Visuospatial Neglect Subtypes and Relationship to Functional Outcome Six Months After Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 35(9), 823-835. <https://doi.org/10.1177/15459683211032977>
- Moraes, D., & Gustavo, C. (2013). Anatomy of the Visual Pathways. *Journal of Glaucoma*, 22, S2. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e3182934978>
- Morales-Hidalgo, P., Roigé-Castellví, J., Hernández-Martínez, C., Voltas, N., & Canals, J. (2018). Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Spanish

Bibliographie générale

- School-Age Children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 48(9), 3176-3190. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3581-2>
- Morsanyi, K., & Holyoak, K. J. (2010). Analogical reasoning ability in autistic and typically developing children. *Developmental Science*, 13(4), 578-587. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00915.x>
- Mosconi, M. W., Cody-Hazlett, H., Poe, M. D., Gerig, G., Gimpel-Smith, R., & Piven, J. (2009). Longitudinal Study of Amygdala Volume and Joint Attention in 2- to 4-Year-Old Children With Autism. *Archives of General Psychiatry*, 66(5), 509-516. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2009.19>
- Moshirian Farahi, S. M. M., & Leth-Steensen, C. (2022). Development of a novel, theoretically motivated scale to assess cognitive learning styles related to the autism spectrum. *BMC Psychiatry*, 22(1), 696. <https://doi.org/10.1186/s12888-022-04334-y>
- Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. In *The development of autism : Perspectives from theory and research* (p. 131-148). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27-43. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>
- Mukherjee, R., Layton, M., Yacoub, E., & Turk, J. (2011). Autism and autistic traits in people exposed to heavy prenatal alcohol : Data from a clinical series of 21 individuals and nested case control study. *Advances in Mental Health and Intellectual Disabilities*, 5(1), 42-49. <https://doi.org/10.5042/amhid.2011.0015>

Bibliographie générale

- Muller, C. L., Anacker, A. M. J., & Veenstra-VanderWeele, J. (2016). The serotonin system in autism spectrum disorder : From biomarker to animal models. *Neuroscience*, 321, 24-41. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.11.010>
- Mundy, P. (1995). Joint attention and social-emotional approach behavior in children with autism. *Development and Psychopathology*, 7(1), 63-82. <https://doi.org/10.1017/S0954579400006349>
- Munson, J., Dawson, G., Abbott, R., Faja, S., Webb, S. J., Friedman, S. D., Shaw, D., Artru, A., & Dager, S. R. (2006). Amygdalar Volume and Behavioral Development in Autism. *Archives of General Psychiatry*, 63(6), 686-693. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.63.6.686>
- Mustafî, D., Engel, A. H., & Palczewski, K. (2009). Structure of cone photoreceptors. *Progress in Retinal and Eye Research*, 28(4), 289-302. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2009.05.003>
- Muth, A., Hönekopp, J., & Falter, C. M. (2014). Visuo-Spatial Performance in Autism : A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3245-3263. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2188-5>
- Mutluer, T., Aslan Genç, H., Özcan Morey, A., Yapıcı Eser, H., Ertinmaz, B., Can, M., & Mumir, K. (2022). Population-Based Psychiatric Comorbidity in Children and Adolescents With Autism Spectrum Disorder : A Meta-Analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.856208>
- Nader, A.-M., Jelenic, P., & Soulières, I. (2015). Discrepancy between WISC-III and WISC-IV Cognitive Profile in Autism Spectrum : What Does It Reveal about Autistic Cognition? *PLOS ONE*, 10(12), e0144645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144645>

Bibliographie générale

- Narzisi, A., Muratori, F., Calderoni, S., Fabbro, F., & Urgesi, C. (2013). Neuropsychological Profile in High Functioning Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(8), 1895-1909. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1736-0>
- Navon, D. (1977). Forest before trees : The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3), 353-383. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)
- Newcombe, N. (2018). *Three Kinds of Spatial Cognition* (p. 1-31). <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn315>
- Nimbley, E., Golds, L., Sharpe, H., Gillespie-Smith, K., & Duffy, F. (2022). Sensory processing and eating behaviours in autism : A systematic review. *European Eating Disorders Review*, 30(5), 538-559. <https://doi.org/10.1002/erv.2920>
- Nishimura, K., Aoki, T., Inagawa, M., Tobinaga, Y., & Iwaki, S. (2020). Mental rotation ability and spontaneous brain activity : A magnetoencephalography study. *Neuroreport*, 31(13), 999-1005. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001511>
- Nyden, A., Niklasson, L., Stahlberg, O., Anckarsater, H., Wentz, E., Rastam, M., & Gillberg, C. (2010). Adults with autism spectrum disorders and ADHD neuropsychological aspects. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1659-1668. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.04.010>
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 24(2), 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014>
- Oberman, L. M., & Ramachandran, V. S. (2007). The simulating social mind : The role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of

Bibliographie générale

- autism spectrum disorders. *Psychological Bulletin*, 133(2), 310-327.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.310>
- Oishi, Y., Imamura, T., Shimomura, T., & Suzuki, K. (2018). Visual texture agnosia in dementia with Lewy bodies and Alzheimer's disease. *Cortex*, 103, 277-290.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.03.018>
- Oliveras-Rentas, R. E., Kenworthy, L., Roberson, R. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2012). WISC-IV Profile in High-Functioning Autism Spectrum Disorders : Impaired Processing Speed is Associated with Increased Autism Communication Symptoms and Decreased Adaptive Communication Abilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(5), 655-664. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1289-7>
- O'Riordan, M. A., Plaisted, K. C., Driver, J., & Baron-Cohen, S. (2001). Superior visual search in autism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(3), 719-730. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.3.719>
- Osterrieth, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. [Test of copying a complex figure; contribution to the study of perception and memory.]. *Archives de Psychologie*, 30, 206-356.
- Ozonoff, S. (1995). Executive Functions in Autism. In E. Schopler & G. B. Mesibov (Éds.), *Learning and Cognition in Autism* (p. 199-219). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1286-2_11
- Ozonoff, S., Pennington, B. F., & Rogers, S. J. (1991). Executive Function Deficits in High-Functioning Autistic Individuals : Relationship to Theory of Mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1081-1105. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1991.tb00351.x>

Bibliographie générale

- Pan, P.-Y., Bölte, S., Kaur, P., Jamil, S., & Jonsson, U. (2021). Neurological disorders in autism: A systematic review and meta-analysis. *Autism, 25*(3), 812-830.
<https://doi.org/10.1177/1362361320951370>
- Pasqualette, L., & Kulke, L. (2024). Differences between overt, covert and natural attention shifts to emotional faces. *Neuroscience, 559*, 283-292.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2024.09.009>
- Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes ‘too real’ : A Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(10), 504-510.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.08.009>
- Pellicano, E., Maybery, M., Durkin, K., & Maley, A. (2006). Multiple cognitive capabilities/deficits in children with an autism spectrum disorder : “Weak” central coherence and its relationship to theory of mind and executive control. *Development and Psychopathology, 18*(1), 77-98. <https://doi.org/10.1017/S0954579406060056>
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive Functions and Developmental Psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*(1), 51-87.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1996.tb01380.x>
- Peters, M. (2005). Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain and Cognition, 57*(2), 176-184.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.052>
- Pierce, K., Müller, R. A., Ambrose, J., Allen, G., & Courchesne, E. (2001). Face processing occurs outside the fusiform « face area » in autism: Evidence from functional MRI. *Brain: A Journal of Neurology, 124*(Pt 10), 2059-2073.
<https://doi.org/10.1093/brain/124.10.2059>

Bibliographie générale

- Pierrot-Deseilligny, C., Milea, D., & Müri, R. M. (2004). Eye movement control by the cerebral cortex. *Current Opinion in Neurology*, 17(1), 17-25.
<https://doi.org/10.1097/00019052-200402000-00005>
- Piven, J., Bailey, J., Ranson, B. J., & Arndt, S. (1997). An MRI study of the corpus callosum in autism. *The American Journal of Psychiatry*, 154(8), 1051-1056.
<https://doi.org/10.1176/ajp.154.8.1051>
- Planche, P., & Lemonnier, E. (2012). Children with high-functioning autism and Asperger's syndrome : Can we differentiate their cognitive profiles? *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(2), 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.12.009>
- Poirel, N., Pineau, A., & Mallet, E. (2008). What does the nature of the stimuli tell us about the Global Precedence Effect? *Acta Psychologica*, 127(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.12.001>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515-526.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>
- Qian, N., & Lipkin, R. M. (2011). A Learning-Style Theory for Understanding Autistic Behaviors. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00077>

Bibliographie générale

- Quaiser-Pohl, C. (2003). The Mental Cutting Test « Schnitte » and the Picture Rotation Test-Two New Measures to Assess Spatial Ability. *International Journal of Testing*, 3(3), 219-231. https://doi.org/10.1207/S15327574IJT0303_2
- Raabe, S., Höger, R., & Delius, J. D. (2006). Sex Differences in Mental Rotation Strategy. *Perceptual and Motor Skills*, 103(3), 917-930. <https://doi.org/10.2466/pms.103.3.917-930>
- Rajendran, G., & Mitchell, P. (2007). Cognitive theories of autism. *Developmental Review*, 27(2), 224-260. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.02.001>
- Ramachandran, V. S., & Oberman, L. M. (2006). Broken Mirrors. *Scientific American*, 295(5), 62-69.
- Rattaz, C., Loubersac, J., Michelon, C., Geoffray, M.-M., Picot, M.-C., Munir, K., & Baghdadli, A. (2022). Factors associated with age of diagnosis in children with autism spectrum disorders : Report from a French cohort. *Autism*, 26(8), 2108-2116. <https://doi.org/10.1177/13623613221077724>
- Raven, J. C., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. <https://doi.apa.org/doi/10.1037/t07027-000>
- Raven, J., & Raven, J. (2003). Raven Progressive Matrices. In R. S. McCallum (Éd.), *Handbook of Nonverbal Assessment* (p. 223-237). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0153-4_11
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998a). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales : Section 2, Coloured Progressive Matrices*. Oxford Psychologists Press.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998b). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales : Section 4, Advanced Progressive Matrices*. Oxford Psychologists Press.

Bibliographie générale

- Rey, A. (1941). L'examen psychologique dans les cas d'encéphalopathie traumatique. (Les problems.). [The psychological examination in cases of traumatic encephalopathy. Problems.]. *Archives de Psychologie*, 28, 215-285.
- Ridley, R. (2019). Some difficulties behind the concept of the 'Extreme male brain' in autism research. A theoretical review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 57, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2018.09.007>
- Rimland, B. (1964). *Infantile autism : The syndrome and its implications for a neural theory of behavior* (p. x, 282). Appleton-Century-Crofts.
- Rinaldi, C., Attanasio, M., Valenti, M., Mazza, M., & Keller, R. (2021). Autism spectrum disorder and personality disorders : Comorbidity and differential diagnosis. *World Journal of Psychiatry*, 11(12), 1366-1386. <https://doi.org/10.5498/wjp.v11.i12.1366>
- Ring, H. A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Williams, S. C. R., Brammer, M., Andrew, C., & Bullmore, E. T. (1999). Cerebral correlates of preserved cognitive skills in autism: A functional MRI study of Embedded Figures Task performance. *Brain*, 122(7), 1305-1315. <https://doi.org/10.1093/brain/122.7.1305>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), 661-670. <https://doi.org/10.1038/35090060>
- Robbins, T. W., James, M., Owen, A. M., Sahakian, B. J., McInnes, L., & Rabbitt, P. (2010). Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (CANTAB) : A Factor Analytic Study of a Large Sample of Normal Elderly Volunteers. *Dementia*, 5(5), 266-281. <https://doi.org/10.1159/000106735>

Bibliographie générale

- Robertson, C. E., & Baron-Cohen, S. (2017). Sensory perception in autism. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(11), 671-684. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.112>
- Robins, D. L., Casagrande, K., Barton, M., Chen, C.-M. A., Dumont-Mathieu, T., & Fein, D. (2014). Validation of the Modified Checklist for Autism in Toddlers, Revised With Follow-up (M-CHAT-R/F). *Pediatrics*, 133(1), 37-45. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-1813>
- Rødgaard, E.-M., Jensen, K., Miskowiak, K. W., & Mottron, L. (2021). Autism comorbidities show elevated female-to-male odds ratios and are associated with the age of first autism diagnosis. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 144(5), 475-486. <https://doi.org/10.1111/acps.13345>
- Roe, A. W., Chelazzi, L., Connor, C. E., Conway, B. R., Fujita, I., Gallant, J. L., Lu, H., & Vanduffel, W. (2012). Toward a unified theory of visual area V4. *Neuron*, 74(1), 12-29. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.03.011>
- Rogé, B., Kruck, J., Baduel, S., Goutaudier, N., & Chabane, N. (2015). Échelle d'observation pour le diagnostic de l'autisme, seconde édition (ADOS-2). *Hogrefe*.
- Rogers, S. J., Estes, A., Lord, C., Munson, J., Rocha, M., Winter, J., Greenson, J., Colombi, C., Dawson, G., Vismara, L. A., Sugar, C. A., Hellemann, G., Whelan, F., & Talbott, M. (2019). A Multisite Randomized Controlled Two-Phase Trial of the Early Start Denver Model Compared to Treatment as Usual. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 58(9), 853-865. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2019.01.004>
- Rohde, M. S., Georgescu, A. L., Vogeley, K., Fimmers, R., & Falter-Wagner, C. M. (2018). Absence of sex differences in mental rotation performance in autism spectrum disorder. *Autism*, 22(7), 855-865. <https://doi.org/10.1177/1362361317714991>

Bibliographie générale

- Ropar, D., & Mitchell, P. (2001). Susceptibility to Illusions and Performance on Visuospatial Tasks in Individuals with Autism. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 42(4), 539-549. <https://doi.org/10.1017/S002196300100717X>
- Rosen, B. N., Lee, B. K., Lee, N. L., Yang, Y., & Burstyn, I. (2015). Maternal Smoking and Autism Spectrum Disorder : A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(6), 1689-1698. <https://doi.org/10.1007/s10803-014-2327-z>
- Rossignol, D. A., Genuis, S. J., & Frye, R. E. (2014). Environmental toxicants and autism spectrum disorders : A systematic review. *Translational Psychiatry*, 4(2), e360-e360. <https://doi.org/10.1038/tp.2014.4>
- Rozencwajg, P. (1991). Analysis of problem solving strategies on the Kohs block design test. *European Journal of Psychology of Education*, 6(1), 73-88. <https://doi.org/10.1007/BF03173149>
- Rozencwajg, P., Cherfi, M., Ferrandez, A. M., Lautrey, J., Lemoine, C., & Loarer, E. (2005). Age Related Differences in the Strategies Used by Middle Aged Adults to Solve a Block Design Task. *The International Journal of Aging and Human Development*, 60(2), 159-182. <https://doi.org/10.2190/H0AR-68HR-RRPE-LRBH>
- Rozencwajg, P., & Corroyer, D. (2001). Strategy development in a block design task. *Intelligence*, 30(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00063-0](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00063-0)
- Rozencwajg, P., & Fenouillet, F. (2012). Effect of goal setting on the strategies used to solve a block design task. *Learning and Individual Differences*, 22(4), 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.03.008>
- Rozencwajg, P., & Huteau, M. (1996). Les stratégies globale, analytique et synthétique dans les cubes de Kohs. *Les stratégies globale, analytique et synthétique dans les cubes de Kohs*, 41(1), 57-64.

Bibliographie générale

- Rucci, M. (2008). Fixational eye movements, natural image statistics, and fine spatial vision. *Network: Computation in Neural Systems*, 19(4), 253-285. <https://doi.org/10.1080/09548980802520992>
- Rumsey, J. M., & Hamburger, S. D. (1988). Neuropsychological Findings in High-Functioning Men with Infantile Autism, Residual State. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10(2), 201-221. <https://doi.org/10.1080/01688638808408236>
- Rüsseler, J., Scholz ,Janka, Jordan ,Kirsten, & and Quaiser-Pohl, C. (2005). Mental rotation of letters, pictures, and three-dimensional objects in German dyslexic children. *Child Neuropsychology*, 11(6), 497-512. <https://doi.org/10.1080/09297040490920168>
- Russell-Smith, S. N., Maybery, M. T., Bayliss, D. M., & Sng, A. A. H. (2012). Support for a Link Between the Local Processing Bias and Social Deficits in Autism: An Investigation of Embedded Figures Test Performance in Non-Clinical Individuals. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(11), 2420-2430. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1506-z>
- Ruzich, E., Allison, C., Smith, P., Watson, P., Auyeung, B., Ring, H., & Baron-Cohen, S. (2015). Measuring autistic traits in the general population : A systematic review of the Autism-Spectrum Quotient (AQ) in a nonclinical population sample of 6,900 typical adult males and females. *Molecular Autism*, 6, 2. <https://doi.org/10.1186/2040-2392-6-2>
- Saalmann, Y. B., & Kastner, S. (2011). Cognitive and perceptual functions of the visual thalamus. *Neuron*, 71(2), 209-223. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.06.027>
- Sachse, M., Schlitt, S., Hainz, D., Ciaramidaro, A., Schirman, S., Walter, H., Poustka, F., Bölte, S., & Freitag, C. M. (2013). Executive and Visuo-motor Function in Adolescents and Adults with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and*

Bibliographie générale

Developmental Disorders, 43(5), 1222-1235. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1668-8>

Saha, S., Chatterjee, M., Dutta, N., Sinha, S., & Mukhopadhyay, K. (2023). Analysis of neurotransmitters validates the importance of the dopaminergic system in autism spectrum disorder. *World Journal of Pediatrics*, 19(8), 770-781.

<https://doi.org/10.1007/s12519-023-00702-0>

Sahyoun, C. P., Belliveau, J. W., Soulières, I., Schwartz, S., & Mody, M. (2010). Neuroimaging of the Functional and Structural Networks Underlying Visuospatial versus Linguistic Reasoning in High-Functioning Autism. *Neuropsychologia*, 48(1), 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.013>

Sahyoun, C. P., Soulières, I., Belliveau, J. W., Mottron, L., & Mody, M. (2009). Cognitive differences in pictorial reasoning between high-functioning autism and Asperger's syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(7), 1014-1023.

<https://doi.org/10.1007/s10803-009-0712-9>

Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. A. (2012). Enhanced visual functioning in autism: An ALE meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 33(7), 1553-1581.

<https://doi.org/10.1002/hbm.21307>

Sandin, S., Lichtenstein, P., Kuja-Halkola, R., Larsson, H., Hultman, C. M., & Reichenberg, A. (2014). The Familial Risk of Autism. *JAMA*, 311(17), 1770-1777.

<https://doi.org/10.1001/jama.2014.4144>

Sapey-Triomphe, L.-A., Dierckx, J., Vettori, S., van Overwalle, J., & Wagemans, J. (2023). A multilevel investigation of sensory sensitivity and responsivity in autistic adults. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 16(7), 1299-1320. <https://doi.org/10.1002/aur.2962>

Bibliographie générale

- Satterstrom, F. K., Kosmicki, J. A., Wang, J., Breen, M. S., Rubeis, S. D., An, J.-Y., Peng, M., Collins, R., Grove, J., Klei, L., Stevens, C., Reichert, J., Mulhern, M. S., Artomov, M., Gerges, S., Sheppard, B., Xu, X., Bhaduri, A., Norman, U., ... Buxbaum, J. D. (2020). Large-Scale Exome Sequencing Study Implicates Both Developmental and Functional Changes in the Neurobiology of Autism. *Cell*, 180(3), 568-584.e23. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.12.036>
- Schloo, W. A. J. M., & Hulstijn, W. (2014). Boys with autism spectrum disorders show superior performance on the adult Embedded Figures Test. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 8(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.10.004>
- Schmetz, E., & Rousselle, L. (2016). Le point sur les processus visuo-perceptifs chez les enfants atteints de paralysie cérébrale. *Revue de neuropsychologie*, 8(2), 137-149. <https://doi.org/10.1684/nrp.2016.0374>
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2018). The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities. In *Contemporary intellectual assessment : Theories, tests, and issues, 4th ed* (p. 73-163). The Guilford Press.
- Schopler, E., Reichler, R. J., DeVellis, R. F., & Daly, K. (1980). Toward objective classification of childhood autism: Childhood Autism Rating Scale (CARS). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 10(1), 91-103. <https://doi.org/10.1007/BF02408436>
- Schopler, E., Reichler, R. J., & Rochen- Renner, B. (1989). *Échelle d'évaluation de l'autisme infantile. B. Rogé traduction et adaptation française*.
- Schorr, D., Bower, G. H., & Kiernan, R. J. (1982). Stimulus variables in the block design task. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 50(4), 479-487. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.50.4.479>

Bibliographie générale

- Schultz, R. T. (2005). Developmental deficits in social perception in autism: The role of the amygdala and fusiform face area. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 23(2), 125-141. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2004.12.012>
- Schumann, C. M., Barnes, C. C., Lord, C., & Courchesne, E. (2009). Amygdala enlargement in toddlers with autism related to severity of social and communication impairments. *Biological Psychiatry*, 66(10), 942-949.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.07.007>
- Schumann, C. M., Hamstra, J., Goodlin-Jones, B. L., Lotspeich, L. J., Kwon, H., Buonocore, M. H., Lammers, C. R., Reiss, A. L., & Amaral, D. G. (2004). The amygdala is enlarged in children but not adolescents with autism; the hippocampus is enlarged at all ages. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 24(28), 6392-6401. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1297-04.2004>
- Scott-Van Zeeland, A. A., Dapretto, M., Ghahremani, D. G., Poldrack, R. A., & Bookheimer, S. Y. (2010). Reward processing in autism. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 3(2), 53-67.
<https://doi.org/10.1002/aur.122>
- Setien-Ramos, I., Lugo-Marín, J., Gisbert-Gustemps, L., Díez-Villoria, E., Magán-Maganto, M., Canal-Bedia, R., & Ramos-Quiroga, J. A. (2023). Eye-Tracking Studies in Adults with Autism Spectrum Disorder : A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 53(6), 2430-2443.
<https://doi.org/10.1007/s10803-022-05524-z>
- Shah, A., & Frith, U. (1983). An Islet of Ability in Autistic Children : A Research Note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 24(4), 613-620.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1983.tb00137.x>

Bibliographie générale

- Shah, A., & Frith, U. (1993). Why Do Autistic Individuals Show Superior Performance on the Block Design Task? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34(8), 1351-1364.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1993.tb02095.x>
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 298(1089), 199-209.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shen, M. D., Li, D. D., Keown, C. L., Lee, A., Johnson, R. T., Angkustsiri, K., Rogers, S. J., Müller, R.-A., Amaral, D. G., & Nordahl, C. W. (2016). Functional Connectivity of the Amygdala Is Disrupted in Preschool-Aged Children With Autism Spectrum Disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 55(9), 817-824. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.05.020>
- Shenouda, C. K., & Danovitch, J. H. (2014). Effects of gender stereotypes and stereotype threat on children's performance on a spatial task. *Revue internationale de psychologie sociale*, 27(3), 53-77.
- Shenouda, J., Barrett, E., Davidow, A. L., Sidwell, K., Lescott, C., Halperin, W., Silenzio, V. M. B., & Zahorodny, W. (2023). Prevalence and Disparities in the Detection of Autism Without Intellectual Disability. *Pediatrics*, 151(2), e2022056594.
<https://doi.org/10.1542/peds.2022-056594>
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1982). *Mental Images And Their Transformations*. A Bradford Book.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science (New York, N.Y.)*, 171(3972), 701-703. <https://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>
- Sheppard, E., Ropar, D., & Mitchell, P. (2007). The Impact of Meaning and Dimensionality on Copying Accuracy in Individuals with Autism. *Journal of Autism and*

Bibliographie générale

Developmental Disorders, 37(10), 1913-1924. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0321-9>

Sherman, S. M., & Guillery, R. W. (2002). The role of the thalamus in the flow of information to the cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 357(1428), 1695-1708. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1161>

Shiraishi, T., Katayama, Y., Nishiyama, M., Shoji, H., Miyakawa, T., Mizoo, T., Matsumoto, A., Hijikata, A., Shirai, T., Mayanagi, K., & Nakayama, K. I. (2024). The complex etiology of autism spectrum disorder due to missense mutations of CHD8. *Molecular Psychiatry*, 29(7), 2145-2160. <https://doi.org/10.1038/s41380-024-02491-y>

Silva, A., & Martínez, M. C. (2023). Spatial memory deficits in Alzheimer's disease and their connection to cognitive maps' formation by place cells and grid cells. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 16, 1082158. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2022.1082158>

Simard, I., Luck, D., Mottron, L., Zeffiro, T. A., & Soulières, I. (2015). Autistic fluid intelligence : Increased reliance on visual functional connectivity with diminished modulation of coupling by task difficulty. *NeuroImage: Clinical*, 9, 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.09.007>

Simon, H. A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, 7(2), 268-288. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90012-2)

Simonoff, E., Pickles, A., Charman, T., Chandler, S., Loucas, T., & Baird, G. (2008). Psychiatric disorders in children with autism spectrum disorders : Prevalence, comorbidity, and associated factors in a population-derived sample. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 47(8), 921-929. <https://doi.org/10.1097/CHI.0b013e318179964f>

Bibliographie générale

- Smith, A. D. (2015). Spatial navigation in autism spectrum disorders : A critical review. *Frontiers in Psychology, 6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00031>
- Smith, E. T., Bartlett, J. C., Krawczyk, D. C., & Basak, C. (2021). Are the advantages of chess expertise on visuo-spatial working-memory capacity domain specific or domain general? *Memory & Cognition, 49*(8), 1600-1616. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01184-z>
- Smukler, D. (2005). Unauthorized minds : How « theory of mind » theory misrepresents autism. *Mental Retardation, 43*(1), 11-24. [https://doi.org/10.1352/0047-6765\(2005\)43<11:UMHTOM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1352/0047-6765(2005)43<11:UMHTOM>2.0.CO;2)
- Snow, R. E. (1978). Theory and method for research on aptitude processes. *Intelligence, 2*(3), 225-278. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(78\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0160-2896(78)90019-3)
- Snow, R. E. (1980). Aptitude Processes. In *Aptitude, Learning, and Instruction*. Routledge.
- Sorel, O., & Pennequin, V. (2008). Aging of the Planning process : The role of executive functioning. *Brain and Cognition, 66*(2), 196-201. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.006>
- Soulières, I., Dawson, M., Gernsbacher, M. A., & Mottron, L. (2011). The level and nature of autistic intelligence II : What about Asperger syndrome? *PLoS One, 6*(9), e25372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025372>
- Soulières, I., Dawson, M., Samson, F., Barbeau, E. B., Sahyoun, C. P., Strangman, G. E., Zeffiro, T. A., & Mottron, L. (2009). Enhanced visual processing contributes to matrix reasoning in autism. *Human Brain Mapping, 30*(12), 4082-4107. <https://doi.org/10.1002/hbm.20831>
- Soulières, I., Zeffiro, T. A., Girard, M. L., & Mottron, L. (2011). Enhanced mental image mapping in autism. *Neuropsychologia, 49*(5), 848-857. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.027>

Bibliographie générale

- Sparks, B. F., Friedman, S. D., Shaw, D. W., Aylward, E. H., Echelard, D., Artru, A. A., Maravilla, K. R., Giedd, J. N., Munson, J., Dawson, G., & Dager, S. R. (2002). Brain structural abnormalities in young children with autism spectrum disorder. *Neurology*, 59(2), 184-192. <https://doi.org/10.1212/wnl.59.2.184>
- Sparrow, S. S., & Cicchetti, D. V. (1989). The Vineland Adaptive Behavior Scales. In *Major psychological assessment instruments, Vol. 2*. (p. 199-231). Allyn & Bacon.
- Specchio, N., Pietrafusa, N., Trivisano, M., Moavero, R., De Palma, L., Ferretti, A., Vigevano, F., & Curatolo, P. (2020). Autism and Epilepsy in Patients With Tuberous Sclerosis Complex. *Frontiers in Neurology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00639>
- Spencer, M. D., Holt, R. J., Chura, L. R., Calder, A. J., Suckling, J., Bullmore, E. T., & Baron-Cohen, S. (2012). Atypical activation during the Embedded Figures Task as a functional magnetic resonance imaging endophenotype of autism. *Brain*, 135(11), 3469-3480. <https://doi.org/10.1093/brain/aws229>
- Steele, S. D., Minshew, N. J., Luna, B., & Sweeney, J. A. (2007). Spatial Working Memory Deficits in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(4), 605-612. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0202-2>
- Steffenburg, S., Gillberg, C., Hellgren, L., Andersson, L., Gillberg, I. C., Jakobsson, G., & Bohman, M. (1989). A Twin Study of Autism in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 30(3), 405-416. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1989.tb00254.x>
- Stephenson, K. G., Beck, J. S., South, M., Norris, M., & Butter, E. (2021). Validity of the WISC-V in Youth with Autism Spectrum Disorder : Factor Structure and Measurement Invariance. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology: The Official Journal for the Society of Clinical Child and Adolescent Psychology*,

Bibliographie générale

American Psychological Association, Division 53, 50(5), 669-681.

<https://doi.org/10.1080/15374416.2020.1846543>

Stevenson, J. L., & Gernsbacher, M. A. (2013). Abstract Spatial Reasoning as an Autistic

Strength. *PLOS ONE, 8(3)*, e59329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059329>

Stevenson, J. L., & Nonack, M. B. (2018). Gender differences in mental rotation strategy

depend on degree of autistic traits. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research, 11(7)*, 1024-1037.

<https://doi.org/10.1002/aur.1958>

Stewart, M. E., Watson, J., Allcock, A.-J., & Yaqoob, T. (2009). Autistic traits predict

performance on the block design. *Autism, 13(2)*, 133-142.

<https://doi.org/10.1177/1362361308098515>

Straube, A., Büttner, U., & Bandello, F. (2007). *Neuro-Ophthalmology : Neuronal Control of Eye Movements*. Karger Medical and Scientific Publishers.

Tager-Flusberg, H. (2007). Evaluating the theory-of-mind hypothesis of autism. *Current*

Directions in Psychological Science, 16(6), 311-315. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00527.x>

Takemura, H., Rokem, A., Winawer, J., Yeatman, J. D., Wandell, B. A., & Pestilli, F. (2016).

A Major Human White Matter Pathway Between Dorsal and Ventral Visual Cortex.

Cerebral Cortex, 26(5), 2205-2214. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv064>

Talantseva, O. I., Romanova, R. S., Shurdova, E. M., Dolgorukova, T. A., Sologub, P. S.,

Titova, O. S., Kleeva, D. F., & Grigorenko, E. L. (2023). The global prevalence of

autism spectrum disorder : A three-level meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry, 14*.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1071181>

Tavassoli, T., Hoekstra, R. A., & Baron-Cohen, S. (2014). The Sensory Perception Quotient

(SPQ) : Development and validation of a new sensory questionnaire for adults with

Bibliographie générale

- and without autism. *Molecular Autism*, 5(1), 29. <https://doi.org/10.1186/2040-2392-5-29>
- Tavassoli, T., Miller, L. J., Schoen, S. A., Nielsen, D. M., & Baron-Cohen, S. (2014). Sensory over-responsivity in adults with autism spectrum conditions. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 18(4), 428-432. <https://doi.org/10.1177/1362361313477246>
- Tick, B., Bolton, P., Happé, F., Rutter, M., & Rijsdijk, F. (2016). Heritability of autism spectrum disorders : A meta-analysis of twin studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(5), 585-595. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12499>
- Tomchek, S. D., & Dunn, W. (2007). Sensory processing in children with and without autism: A comparative study using the short sensory profile. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 61(2), 190-200. <https://doi.org/10.5014/ajot.61.2.190>
- Toril, P., Reales, J. M., Mayas, J., & Ballesteros, S. (2016). Video Game Training Enhances Visuospatial Working Memory and Episodic Memory in Older Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00206>
- Tosto, M. G., Hanscombe, K. B., Haworth, C. M. A., Davis, O. S. P., Petrill, S. A., Dale, P. S., Malykh, S., Plomin, R., & Kovas, Y. (2014). Why do spatial abilities predict mathematical performance? *Developmental Science*, 17(3), 462-470. <https://doi.org/10.1111/desc.12138>
- Ts'o, D. Y., Roe, A. W., & Gilbert, C. D. (2001). A hierarchy of the functional organization for color, form and disparity in primate visual area V2. *Vision Research*, 41(10), 1333-1349. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00076-1)

Bibliographie générale

- Uddin, L. Q. (2022). Exceptional Abilities in Autism: Theories and Open Questions. *Current Directions in Psychological Science*, 31(6), 509-517.
<https://doi.org/10.1177/09637214221113760>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills : A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402.
<https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Uttal, D. H., Miller, D. I., & Newcombe, N. S. (2013). Exploring and Enhancing Spatial Thinking : Links to Achievement in Science, Technology, Engineering, and Mathematics? *Current Directions in Psychological Science*, 22(5), 367-373.
<https://doi.org/10.1177/0963721413484756>
- Van de Cruys, S., Evers, K., Van der Hallen, R., Van Eylen, L., Boets, B., de-Wit, L., & Wagemans, J. (2014). Precise minds in uncertain worlds : Predictive coding in autism. *Psychological Review*, 121(4), 649-675. <https://doi.org/10.1037/a0037665>
- Van Wijngaarden-Cremers, P. J. M., van Eeten, E., Groen, W. B., Van Deurzen, P. A., Oosterling, I. J., & Van der Gaag, R. J. (2014). Gender and age differences in the core triad of impairments in autism spectrum disorders : A systematic review and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(3), 627-635.
<https://doi.org/10.1007/s10803-013-1913-9>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604.
<https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Vargas-Cuentas, N. I., Roman-Gonzalez, A., Gilman, R. H., Barrientos, F., Ting, J., Hidalgo, D., Jensen, K., & Zimic, M. (2017). Developing an eye-tracking algorithm as a

Bibliographie générale

- potential tool for early diagnosis of autism spectrum disorder in children. *PLOS ONE*, 12(11), e0188826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188826>
- Verdine, B. N., Irwin, C. M., Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (2014). Contributions of executive function and spatial skills to preschool mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 126, 37-51.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.02.012>
- Vigneau, F., Caissie, A. F., & Bors, D. A. (2006). Eye-movement analysis demonstrates strategic influences on intelligence. *Intelligence*, 34(3), 261-272.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.11.003>
- Vivanti, G., & Messinger, D. S. (2021). Theories of Autism and Autism Treatment from the DSM III Through the Present and Beyond : Impact on Research and Practice. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 51(12), 4309-4320.
<https://doi.org/10.1007/s10803-021-04887-z>
- Vivanti, G., & Rogers, S. J. (2014). Autism and the mirror neuron system: Insights from learning and teaching. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1644), 20130184. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0184>
- Vossel, S., Geng, J. J., & Fink, G. R. (2014). Dorsal and ventral attention systems : Distinct neural circuits but collaborative roles. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 20(2), 150-159.
<https://doi.org/10.1177/1073858413494269>
- Voyer, D., Voyer, S. D., & Saint-Aubin, J. (2017). Sex differences in visual-spatial working memory : A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(2), 307-334.
<https://doi.org/10.3758/s13423-016-1085-7>
- Wade, N. J. (2010). Pioneers of Eye Movement Research. *I-Perception*, 1(2), 33-68.
<https://doi.org/10.1068/i0389>

Bibliographie générale

- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255-274.
<https://doi.org/10.3758/cabn.3.4.255>
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817-835.
<https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Walęcka, M., Wojciechowska, K., & Wichniak, A. (2022). Central coherence in adults with a high-functioning autism spectrum disorder. In a search for a non-self-reporting screening tool. *Applied Neuropsychology: Adult*, 29(4), 677-683.
<https://doi.org/10.1080/23279095.2020.1804908>
- Wandell, B. A., Dumoulin, S. O., & Brewer, A. A. (2007). Visual field maps in human cortex. *Neuron*, 56(2), 366-383. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.012>
- Wandell, B. A., & Winawer, J. (2011). Imaging retinotopic maps in the human brain. *Vision Research*, 51(7), 718-737. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.08.004>
- Wang, H., Ma, Z.-H., Xu, L.-Z., Yang, L., Ji, Z.-Z., Tang, X.-Z., Liu, J.-R., Li, X., Cao, Q.-J., & Liu, J. (2022). Developmental brain structural atypicalities in autism: A voxel-based morphometry analysis. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 16(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13034-022-00443-4>
- Wang, L., Pang, K., Han, K., Adamski, C. J., Wang, W., He, L., Lai, J. K., Bondar, V. V., Duman, J. G., Richman, R., Tolias, K. F., Barth, P., Palzkill, T., Liu, Z., Holder, J. L., & Zoghbi, H. Y. (2020). An autism-linked missense mutation in SHANK3 reveals the modularity of Shank3 function. *Molecular Psychiatry*, 25(10), 2534-2555.
<https://doi.org/10.1038/s41380-018-0324-x>

Bibliographie générale

- Wang, S., & Li, X. (2023). A revisit of the amygdala theory of autism: Twenty years after. *Neuropsychologia, 183*, 108519. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2023.108519>
- Wang, Y., Tang, S., Xu, S., Weng, S., & Liu, Z. (2016). Maternal Body Mass Index and Risk of Autism Spectrum Disorders in Offspring: A Meta-analysis. *Scientific Reports, 6*(1), 34248. <https://doi.org/10.1038/srep34248>
- Wang, Y., Zhang, Y., Liu, L., Cui, J., Wang, J., Shum, D. H. K., van Amelsvoort, T., & Chan, R. C. K. (2017). A Meta-Analysis of Working Memory Impairments in Autism Spectrum Disorders. *Neuropsychology Review, 27*(1), 46-61. <https://doi.org/10.1007/s11065-016-9336-y>
- Wang, Z., Jing, J., Igarashi, K., Fan, L., Yang, S., Li, Y., & Jin, Y. (2018). Executive function predicts the visuospatial working memory in autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Autism Research, 11*(8), 1148-1156. <https://doi.org/10.1002/aur.1967>
- Waters, A. J., Gobet, F., & Leyden, G. (2002). Visuospatial abilities of chess players. *British Journal of Psychology, 93*(4), 557-565. <https://doi.org/10.1348/000712602761381402>
- Webb, S. J., Neuhaus, E., & Faja, S. (2017). Face Perception and Learning in Autism Spectrum Disorders. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(5), 970-986. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1151059>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale, Fourth Edition (WAIS-IV)*.
- Wechsler, D. (2009). *Wechsler Memory Scale Fourth Edition*. Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2014a). *Wechsler Intelligence Scale for Children, Fifth Edition (WISC-V)*.
- Wechsler, D. (2014b). WPPSI-IV - Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants—4ème édition. *Pearson Clinical & Talent Assessment*. <https://www.pearsonclinical.fr/wppsi-iv>

Bibliographie générale

- Weigelt, S., Koldewyn, K., & Kanwisher, N. (2012). Face identity recognition in autism spectrum disorders : A review of behavioral studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(3), 1060-1084. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.12.008>
- Wellman, H. M. (2018). Theory of mind : The state of the art*. *European Journal of Developmental Psychology*, 15(6), 728-755.
<https://doi.org/10.1080/17405629.2018.1435413>
- Wheelwright, S., Baron-Cohen, S., Goldenfeld, N., Delaney, J., Fine, D., Smith, R., Weil, L., & Wakabayashi, A. (2006). Predicting Autism Spectrum Quotient (AQ) from the Systemizing Quotient-Revised (SQ-R) and Empathy Quotient (EQ). *Brain Research*, 1079(1), 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.01.012>
- White, S. J., & Saldaña, D. (2011). Performance of Children with Autism on the Embedded Figures Test : A Closer Look at a Popular Task. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(11), 1565-1572. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1182-4>
- Wibble, T., & Pansell, T. (2023). Clinical characteristics of visual motion hypersensitivity : A systematic review. *Experimental Brain Research*, 241(7), 1707-1719.
<https://doi.org/10.1007/s00221-023-06652-3>
- Williams, D., Botting, N., & Boucher, J. (2008). Language in autism and specific language impairment : Where are the links? *Psychological Bulletin*, 134(6), 944-963.
<https://doi.org/10.1037/a0013743>
- Wilson, A. C. (2023). Cognitive Profile in Autism and ADHD : A Meta-Analysis of Performance on the WAIS-IV and WISC-V. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 39(4), 498-515. <https://doi.org/10.1093/arclin/acad073>
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs : Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13(1), 103-128. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90004-5)

Bibliographie générale

- Wing, L. (1981). Asperger's syndrome : A clinical account. *Psychological Medicine*, 11(1), 115-129. <https://doi.org/10.1017/s0033291700053332>
- Witkin, H. A. (1950). Individual differences in ease of perception of embedded figures. *Journal of Personality*, 19, 1-15. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1950.tb01084.x>
- Witkin, H. A. (1971). *Group Embedded Figures Test* [Jeu de données]. <https://doi.org/10.1037/t06471-000>
- Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D., & Cox, P. W. (1977). Field-Dependent and Field-Independent Cognitive Styles and Their Educational Implications. *Review of Educational Research*, 47(1), 1-64. <https://doi.org/10.3102/00346543047001001>
- Wu, S., Wu, F., Ding, Y., Hou, J., Bi, J., & Zhang, Z. (2017). Advanced parental age and autism risk in children : A systematic review and meta-analysis. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 135(1), 29-41. <https://doi.org/10.1111/acps.12666>
- Wuang, Y.-P., & Su, C.-Y. (2011). Correlations of sensory processing and visual organization ability with participation in school-aged children with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2398-2407. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.07.020>
- Xu, G., Jing, J., Bowers, K., Liu, B., & Bao, W. (2014). Maternal Diabetes and the Risk of Autism Spectrum Disorders in the Offspring : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(4), 766-775. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1928-2>
- Yamada, T., Ohta, H., Watanabe, H., Kanai, C., Tani, M., Ohno, T., Takayama, Y., Iwanami, A., Kato, N., & Hashimoto, R. (2012). Functional alterations in neural substrates of geometric reasoning in adults with high-functioning autism. *PLoS One*, 7(8), e43220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043220>

Bibliographie générale

- Yaramothu, C., Santos, E. M., & Alvarez, T. L. (2018). Effects of visual distractors on vergence eye movements. *Journal of Vision*, 18(6), 2. <https://doi.org/10.1167/18.6.2>
- Yarbus, A. L. (1967). Eye Movements During Perception of Complex Objects. In A. L. Yarbus, *Eye Movements and Vision* (p. 171-211). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5379-7_8
- Young, H., Oreve, M.-J., & Speranza, M. (2018). Clinical characteristics and problems diagnosing autism spectrum disorder in girls. *Archives de Pédiatrie*, 25(6), 399-403. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2018.06.008>
- Zacharov, O., Huster, R. J., & Kaale, A. (2022). Working memory in pre-school children with autism spectrum disorder : An eye-tracking study. *Frontiers in Psychology*, 13, 922291. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.922291>
- Zacks, J. M., & Michelon, P. (2005). Transformations of Visuospatial Images. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 4(2), 96-118. <https://doi.org/10.1177/1534582305281085>
- Zandt, F., Prior, M., & Kyrios, M. (2009). Similarities and differences between children and adolescents with autism spectrum disorder and those with obsessive compulsive disorder : Executive functioning and repetitive behaviour. *Autism*, 13(1), 43-57. <https://doi.org/10.1177/1362361308097120>
- Zappullo, I., Conson, M., Zoccolotti, P., Trojano, L., & Senese, V. P. (2021). “Building blocks and drawing figures is not the same” : Neuropsychological bases of block design and Rey figure drawing in typically developing children. *Child Neuropsychology*, 27(3), 371-389. <https://doi.org/10.1080/09297049.2020.1862075>
- Zeidan, J., Fombonne, E., Scorah, J., Ibrahim, A., Durkin, M. S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., & Elsabbagh, M. (2022). Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Research*, 15(5), 778-790. <https://doi.org/10.1002/aur.2696>

Bibliographie générale

- Zielinski, B. A., Prigge, M. B. D., Nielsen, J. A., Froehlich, A. L., Abildskov, T. J., Anderson, J. S., Fletcher, P. T., Zygmunt, K. M., Travers, B. G., Lange, N., Alexander, A. L., Bigler, E. D., & Lainhart, J. E. (2014). Longitudinal changes in cortical thickness in autism and typical development. *Brain*, 137(6), 1799-1812.
<https://doi.org/10.1093/brain/awu083>
- Zinke, K., Fries, Eva, Altgassen, Mareike, Kirschbaum, Clemens, Dettenborn, Lucia, & and Kliegel, M. (2010). Visuospatial Short-Term Memory Explains Deficits in Tower Task Planning in High-Functioning Children with Autism Spectrum Disorder. *Child Neuropsychology*, 16(3), 229-241. <https://doi.org/10.1080/09297040903559648>
- Zwaigenbaum, L., Bauman, M. L., Choueiri, R., Kasari, C., Carter, A., Granpeesheh, D., Mailloux, Z., Smith Roley, S., Wagner, S., Fein, D., Pierce, K., Buie, T., Davis, P. A., Newschaffer, C., Robins, D., Wetherby, A., Stone, W. L., Yirmiya, N., Estes, A., ... Natowicz, M. R. (2015). Early Intervention for Children With Autism Spectrum Disorder Under 3 Years of Age : Recommendations for Practice and Research. *Pediatrics*, 136(Supplement_1), S60-S81. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-3667E>

ANNEXES

Annexe A. Accord Comité d'éthique

Annexe B. Notice d'information et consentement à l'étude

Annexe C. Appels à volontaire

Annexe D. Communications congrès - posters

Annexe A. Accord Comité d'éthique

Annexes



Université
Fédérale

Toulouse
Midi-Pyrénées

A l'attention de
BATTY Magali

À Toulouse, le 24 janvier 2022

Affaire suivie par :

Christina WATKINS

CER-DRDV

Courriel : bureau-cer@univ-toulouse.fr

Tél. : 05 61 10 80 30

Objet : Avis du bureau pour le projet 2021-446

Titre du projet soumis : Pics d'habiletés visuo-spatiales dans l'autisme : variabilité interindividuelle, processus et implications

Porteur de projet : BATTY Magali, laboratoire CERPPS, UT2J

Madame,

Compte tenu des éléments fournis dans votre demande, le Comité d'Ethique pour les Recherches de l'Université de Toulouse émet l'avis suivant : **Avis Favorable**.

Nous rappelons, par ailleurs, qu'il relève de la responsabilité des chercheurs de se conformer à leurs obligations légales notamment en ce qui concerne les aspects d'homologation du lieu de recherche, **tout particulièrement lorsque les participants sont des personnes vulnérables**, ou RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données.

Le Comité d'Ethique rappelle au porteur de projet qu'il doit tenir compte des conditions sanitaires actuelles et, à **minima**, mettre en œuvre un protocole sanitaire adapté en conformité avec les recommandations des tutelles.

Nous restons à votre disposition pour toute question.

Les membres du bureau CER.



Annexe B. Notice d'information et consentement

Annexes

NOTICE D'INFORMATION ET CONSENTEMENT ECLAIRE - ADULTES

Titre du projet : Pics d'habiletés visuo-spatiales dans l'autisme : variabilité interindividuelle, processus et implications

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire et de comprendre les renseignements qui suivent. Ce document vous explique le but de ce projet de recherche, ses procédures, avantages, risques et inconvénients. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à la personne qui vous présente ce document.

Chercheur titulaire responsable scientifique du projet :

BATTY Magali

Professeur des Universités

EA 7411, CERPPS - Maison de la recherche, 5 Allées Antonio Machado, 31100 Toulouse.
magali.batty@univ-tlse2.fr / 05 61 50 48 24

Lieu de recherche :

Université Toulouse 2 Jean Jaurès, Maison de la recherche, 5 allées Antonio-Machado 31058 Toulouse – Plateforme CCU

But du projet de recherche :

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) est un trouble neurodéveloppemental caractérisé par une altération des capacités de communication sociale et des interactions ainsi que par la présence d'intérêts restreints et stéréotypés. Jusqu'à aujourd'hui, certaines études ont pu mettre en évidence des capacités de traitement de l'information visuelle et spatiale préservées voire supérieures dans cette population en comparaison avec la population dite « typique », donnant lieu au terme de pics d'habiletés visuo-spatiales. Pourtant, ces mêmes études montrent aussi la présence d'une grande hétérogénéité dans les profils de performances au sein même de cette population, aussi bien chez l'adulte que chez l'enfant. Même si certaines caractéristiques socio-démographiques (âge, genre, domaine d'étude/professionnel) ont pu être mises en lien avec le niveau d'habiletés visuo-spatiales, elles restent toutefois insuffisantes pour expliquer toute l'hétérogénéité retrouvée dans cette population.

L'objectif est donc d'étudier ces capacités visuo-spatiales chez les personnes avec et sans TSA. Premièrement, afin d'identifier la variabilité inter-individuelle présente dans ces deux groupes et de relever les différents niveaux de performance qui y sont retrouvés puis par la suite afin d'identifier des liens avec certaines caractéristiques cliniques et cognitives décrites dans les TSA qui pourraient expliquer les différences de capacités visuo-spatiales avec la population dite « typique ».

Ce que l'on attend de vous (méthodologie) :

Si vous acceptez de participer à cette étude, vous aurez à répondre à des questionnaires portant sur vos traits de personnalité et votre façon de penser (cela dure environ 1h). Par la suite, vous aurez à effectuer différentes tâches basées sur de la reconnaissance de formes, de la logique ou de la compréhension verbale (7 tâches au total). Au cours de certains de ces tests, vous porterez des lunettes qui nous permettront d'enregistrer les mouvements de vos yeux. Les consignes vous seront données au fur et à mesure et un entraînement vous permettra de vous entraîner. Le but ne sera pas de tout réussir mais de faire de votre mieux.

Vos droits de vous retirer de la recherche en tout temps :

Votre participation à cette recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser de participer sans avoir à vous justifier. Si vous participez, vous pouvez décider à tout moment d'interrompre votre participation sans avoir à vous justifier et sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice.

Vos droits à la confidentialité et au respect de la vie privée :

Les informations recueillies vous concernant font l'objet d'une déclaration auprès du service de Protection des données de l'Université Toulouse-Jean Jaurès, 5 allées Antonio Machado, 31 058 Toulouse Cedex 9, dpo@univ-tlse2.fr. La base légale de cette déclaration s'appuie sur votre consentement.

Certaines des données recueillies dans la présente étude constituent des données personnelles (nom, prénom, signature et coordonnées) ainsi que des données sensibles de santé (diagnostic de TSA). Les données recueillies (questionnaires, performances et tests cognitifs) sont pseudonymisées grâce à un code de participation et sont susceptibles d'être réutilisées ultérieurement, uniquement à des fins de recherche scientifique.

Seuls le responsable scientifique et les chercheurs associés à ce projet auront accès à vos données. La durée de conservation de vos données personnelles est deux ans après la dernière publication. Au-delà

Annexes

de cette période, elles seront anonymisées et archivées.

Vous pouvez accéder et obtenir copie des données vous concernant, vous opposer au traitement de ces données, les faire rectifier ou les faire effacer. Vous pouvez exercer ces droits auprès du responsable scientifique en vous adressant à Magali Batty (magali.batty@univ-tlse2.fr). Si vous estimez, après nous avoir contactés, que vos droits sur vos données ne sont pas respectés, vous pouvez adresser une réclamation (plainte) à la CNIL : <https://www.cnil.fr/fr/webform/adresser-une-plainte>

Bénéfices :

Les avantages attendus de cette recherche sont d'obtenir une meilleure compréhension des capacités visuo-spatiales chez les personnes ayant un TSA et une meilleure connaissance des caractéristiques cliniques et cognitives pouvant y être liées. À plus long terme, cette étude pourrait permettre de spécifier davantage le diagnostic fonctionnel de l'autisme et de développer des thérapies plus adaptées pour aider les personnes avec TSA dans leur vie quotidienne.

Risques possibles :

À notre connaissance, cette recherche n'implique aucun risque ou inconfort autre que de la lassitude ou de la fatigue qui pourront être réduits par des pauses au cours de la participation. Les mouvements oculaires sont enregistrés à l'aide d'un appareil mobile (lunettes) qui mesure la quantité de lumière infrarouge sur la pupille et la cornée de l'œil. La pupille et la cornée absorbent une petite quantité d'énergie de la lumière infrarouge qui restent inférieure à la quantité maximale permise par les recommandations internationales (American Standards Institute : ANSI Z 136.1-1973). Cette quantité de lumière correspond à peu près à la même quantité de lumière que celle reçue lors d'une journée ensoleillée, n'est pas détectable à l'œil nu et n'est donc pas inconfortable.

Diffusion :

Les résultats de cette recherche seront diffusés dans des colloques et seront publiés dans des actes de colloque et des articles de revue académique.

Vos droits de poser des questions en tout temps :

Vous pouvez poser des questions au sujet de la recherche en tout temps en communiquant avec le responsable scientifique du projet par courrier électronique (magali.batty@univ-tlse2.fr).

Consentement à la participation :

En signant le formulaire de consentement, vous certifiez que vous avez lu et compris les renseignements ci-dessus, qu'on a répondu à vos questions de façon satisfaisante et qu'on vous a avisé que vous étiez libre d'annuler votre consentement ou de vous retirer de cette recherche en tout temps, sans préjudice.

Vous certifiez aussi être affilié au régime de la Sécurité Sociale.

A remplir par le participant :

J'ai lu et compris les renseignements ci-dessus et j'accepte de plein gré de participer à cette recherche.

Nom, Prénom – Date – Signature

Nom, Prénom - Signature de l'expérimentateur

Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé dans le dossier.

Annexes

Annexe C. Appels à volontaire

Appel à volontaires

Dans le cadre d'une étude sur les capacités visuo-spatiales dans l'autisme, nous recherchons des personnes **ayant reçu un diagnostic d'autisme (trouble du spectre de l'autisme)** répondant aux critères suivants :

- âgés de **18 à 40 ans**
- sans déficience visuelle ou auditive non corrigée
- avec de bonnes capacités de compréhension verbale en français

La participation dure environ 2 heures et comprend :



des **questionnaires** portant sur la personnalité ou la façon de penser (à remplir en ligne, à la maison)

divers exercices de reconnaissance de forme, de logique ou de compréhension verbale nécessitant pour certains le port de lunettes spéciales afin d'enregistrer le mouvement des yeux

 Maison de la Recherche, **Université Toulouse Jean-Jaurès**

Pour remercier les participants, nous leur remettons un bon cadeau d'une valeur de 20 euros.

Cette étude est menée sous la direction de Magali BATTY et de Lucie BOUVET.

Pour plus d'informations ou si vous êtes intéressé(e), n'hésitez pas à nous contacter:

alizee.diu@univ-tlse2.fr

Appel à volontaires

Dans le cadre d'une étude sur les capacités visuo-spatiales dans l'autisme, nous recherchons des personnes **avec OU sans TSA** répondant aux critères suivants :

- âgés de **18 à 40 ans**
- sans déficience visuelle ou auditive non corrigée
- avec de bonnes capacités de compréhension verbale en français

La participation dure environ 2 heures et comprend :



des **questionnaires** portant sur la personnalité ou la façon de penser (à remplir en ligne, à la maison)



divers exercices de reconnaissance de forme, de logique ou de compréhension verbale nécessitant pour certains le port de lunettes spéciales afin d'enregistrer le mouvement des yeux



Maison de la Recherche, **Université Toulouse Jean-Jaurès**

Cette étude est menée sous la direction de Magali BATTY et de Lucie BOUVET.

Pour plus d'informations ou si vous êtes intéressé(e), n'hésitez pas à nous contacter.

@ alizee.diu@univ-tlse2.fr

Annexes

Annexe D. Communications congrès - posters

Poster présenté en octobre 2024 – 17^{ème} Université d'Automne de l'ARAPI, Le Croisic



Habiletés visuospatiales dans l'autisme: variabilité interindividuelle

Étude menée dans le cadre de la thèse de Alizée DUU sous la direction de Magali BATTY et de Lucas BOUDET
Université Toulouse Jean Jaurès, Laboratoire CERPPS, E.A. 7411, Toulouse, France
alizée.duu@univ-tlse2.fr



CADRE THÉORIQUE

- Capacités visuospatiales **préservées voire supérieures** dans l'autisme et associées à une grande **hétérogénéité interindividuelle** ^{1,2,3}
- Absence d'études sur la variabilité de performance entre les tâches visuospatiales utilisées dans le contexte de l'autisme

OBJECTIFS

- **Évaluer/expliquer la variabilité** à l'échelle des groupes, des individus et des tâches expérimentales
- **Évaluer la présence d'un processus commun** aux compétences visuospatiales dans l'autisme

MÉTHODE

Population
Personnes âgées de 18 à 40 ans, sans déficience intellectuelle et sans déficience visuelle non corrigée

28 NT (neurotypiques)
22 TSA

Groupes appariés en âge, en sexe et en niveau verbal (subtests SIM/VOC WAIS-IV)

Matériel

- Matrices de Raven⁴
Compléter une suite logique selon une règle
- Cubes de Kohs⁵
Reproduire un motif 2D avec des cubes à différentes faces
- Figures encastrées⁶
Identifier une forme simple dans une forme complexe
- Test de rotation mentale⁷
Manipuler mentalement des structures géométriques

RÉSULTATS

Comparaison des scores
Scores aux Matrices de Raven et aux Cubes de Kohs significativement plus élevés dans le groupe TSA

Effet de l'âge du diagnostic
Scores Cubes de Kohs plus élevés pour diagnostic 21 ans et plus (n=12) que pour diagnostic 18 ans et moins (N=10); $t(20)=-2.33$; $p=.03$. Même tendance suggérée pour scores aux Matrices de Raven ($t(20)=-1.96$; $p=.06$).

Des performances préservées voire supérieures...

Corrélations inter-scores

Dans le groupe NT, les scores entre les différentes tâches corrélatifs entre eux

Dans le groupe TSA, les corrélations entre les scores sont moins nombreuses

...et des profils de performances plus hétérogènes

DISCUSSION ET CONCLUSION

- **Performances aux Matrices de Raven et Cubes de Kohs supérieures** et fortement corrélées dans le TSA
- Résultats qui suggèrent que les **processus impliqués** dans les compétences visuospatiales chez les personnes autistes ne sont pas bénéfiques pour toutes les tâches et/ou que des **mécanismes différents** de ceux utilisés par les personnes neurotypiques sont sollicités dans l'autisme
- **Âge de diagnostic** qui pourrait expliquer en partie l'hétérogénéité retrouvée; autres pistes explicatives?

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

- Plusieurs **pistes explicatives** de l'hétérogénéité:
Particularités individuelles ? Stratégies d'exploration visuelle ?
- Pensée en images⁸
Atypies sensorielles⁹
Hyper-systématisation¹⁰
- Distinction via dispositif eye-tracking^{11,12}
- Identifier et caractériser les **profils visuospatiaux** pourrait permettre d'améliorer l'accompagnement des personnes autistes notamment dans le milieu scolaire et dans celui de l'apprentissage

RÉFÉRENCES

¹ Risi et al., 2012; ² Muhle et al., 2015; ³ Shah & Firth, 1989; ⁴ Raven & Raven, 2003; ⁵ Wechsler, 1981; ⁶ Wechsler et al., 1971; ⁷ Vandenberg & Ross, 1978; ⁸ Bleid et al., 2022; ⁹ Mirella & Burack, 2003; ¹⁰ Samot-Cohen et al., 2009; ¹¹ Hayes et al., 2011; ¹² Vamaea et al., 2008

Poster présenté en juin 2025 – 4^{ème} colloque de l'AFNA, Strasbourg



Que nous révèle l'eye-tracking



sur les stratégies de résolution des Matrices de Raven dans le TSA ?

Batty Magali, Diu Alizée, Bouvet Lucie

CERPPS, Université Toulouse Jean Jaurès, Toulouse

■ CONTEXTE

□ Les critères diagnostiques du TSA sont basés sur un ensemble de déficits.

MAIS

□ des particularités de fonctionnement existent et peuvent constituer un **AVANTAGE** dans le quotidien des personnes autistes.

Ainsi, des **habiletés visuo-spatiales supérieures** aux personnes neurotypiques (NT) ont été observées sur un vaste panel de tâches (cubes de Kohs, test de rotation mentale ou encore les figures imbriquées)¹⁻³.

□ les matrices de Raven constituent un outil privilégié pour évaluer l'intelligence fluide dans le TSA du fait de leur caractère non verbal⁴.

Si la littérature rapporte des performances préservées voire supérieures aux matrices de Raven, les mécanismes sous tendant cet avantage restent à élucider.

OBJECTIF:

Analysier l'exploration visuelle des participants et ainsi identifier les stratégies mises en œuvre dans la résolution des Matrices.

■ PROCÉDURE

- 27 participants neurotypiques et 19 participants TSA

($M_{NT} = 25,11$; 48% ♀) ($M_{TSA} = 25,68$; 42% ♀)

Appariement contrôlé par niveau d'études et habiletés verbales

- Matrices Progressives de Raven (version standard SMP⁵)

→ Analyse des performances : Score total et temps de résolution

- Système d'eye-tracking mobile (SMI ETG2w)

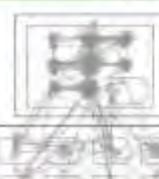
→ Analyse des stratégies d'exploration visuelle (BeGaze 3.7)

Sur 12 items (Série C, D et E, de niveaux de complexité faible/moyen/fort)

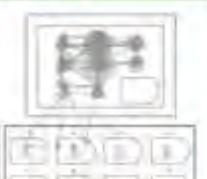
Score composite d'exploration visuelle calculé pour chaque item

Score Composite d'exploration

= (% d'exploration sur la zone modèle / % d'exploration sur la zone réponses) \times (temps de résolution de l'item [s] / nombre de transitions entre les deux zones)



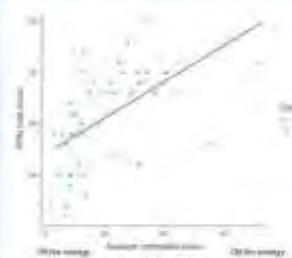
Score composite BAS (4)



Score composite HAUT (212)

STRATEGIE PAR ESSAI ERREUR
STRATEGIE PAR APPARIEMENT CONSTRUCTIF

La stratégie par appariement constructif est corrélée à de meilleures performances



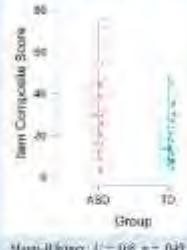
Corrélation de Spearman: $\rho = 0,896$, $p < .001$

■ RÉSULTATS

Les performances sont similaires pour les deux groupes

MAIS

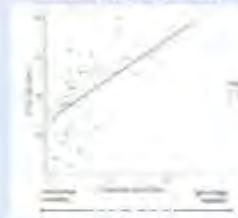
Les participants TSA s'appuient d'avantage sur une stratégie par APPARIEMENT CONSTRUCTIF



Mann-Whitney: $U = 108$, $p = .049$

Le niveau de difficultés (série et complexité) MODULE la stratégie mise en œuvre pour les deux groupes.

→ L'appariement constructif est privilégié pour les items les plus difficiles



Corrélation de Spearman: $\rho = 0,637$, $p < .001$

La capacité à ADAPTER la stratégie en fonction du niveau de difficultés est corrélée à de meilleures performances

■ CONCLUSION

- En accord avec la littérature, la stratégie d'APPARIEMENT CONSTRUCTIF est plus efficace pour résoudre les matrices⁶.
- Les résultats révèlent des **PERFORMANCES PRÉSERVÉES** aux Matrices de Raven (standard) chez les participants TSA testés dans cette étude.
- Il est possible que l'utilisation des matrices standard ne permettent pas d'objectiver de différences entre les groupes, l'utilisation de la **version avancée** (plus complexe) est à envisager pour une étude ultérieure.
- Les sujets TSA utilisent cependant davantage la stratégie D'APPARIEMENT CONSTRUCTIF.
- Cette stratégie relève d'un traitement plus **analytique** de l'information qui pourrait faciliter la compréhension des règles qui régissent la matrice^{7,8}.
- Cette stratégie pourrait également être sous tendue par une meilleure **capacité d'imagerie mentale** et un **style cognitif plus visuel** favorisant la construction et le maintien d'une représentation mentale des matrices.
- L'ADAPTABILITÉ du choix stratégique au cours du test s'avère être un facteur influençant la performance.
- Les **difficultés en flexibilité cognitive** pourraient impacter les capacités d'adaptation stratégique dans le groupe TSA et impacter leur performance à la tâche, cette variable sera à contrôler pour une prochaine étude.

¹Caron et al., 2006; ² Davies et al., 2007; ³ Moll et al., 2014; ⁴ Soutiere et al., 2005; ⁵ Raven & Raven, 2003; ⁶ Vigneras et al., 2006; ⁷ Mukerji et al., 2020; ⁸ Barthe-Critton et al., 2009

Annexes

Titre : Habiléts visuo-spatiales dans l'autisme : variabilité interindividuelle et processus mis en jeu

Mots clés : autisme, visuospatial, variabilité, style cognitif, stratégies, oculométrie

Résumé : Les capacités visuospatiales ont fréquemment été rapportées comme supérieures chez les personnes autistes, en raison de performances souvent plus élevées que celles observées dans la population générale. Ce domaine de compétence, souvent présenté comme une force, contraste avec d'autres fonctions cognitives décrites comme déficitaires dans l'autisme, notamment sur les plans social et communicationnel. Toutefois, la littérature souligne une importante hétérogénéité interindividuelle dans la capacité à traiter l'information visuospatiale, remettant en cause l'idée d'une supériorité systématique de ces habiletés. Cette thèse vise donc à explorer les habiletés visuospatiales dans l'autisme afin de mieux comprendre la variabilité des performances et d'en identifier les déterminants.

Le protocole expérimental comprenait quatre tâches visuospatiales : les Matrices Progressives de Raven, les Cubes de Kohs, les Figures enchevêtrées et le test de Rotation mentale, ainsi que des questionnaires d'auto-évaluation de certaines caractéristiques individuelles telles que le niveau de systématisation de l'information, la sensibilité sensorielle et le style cognitif. Les informations portant sur l'exploration visuelle des participants de chaque groupe expérimental (autiste et non autiste) ont été recueillies à l'aide d'un dispositif mobile d'oculométrie.

Comme attendu, la première étude portant sur l'hétérogénéité des performances a mis en évidence des habiletés préservées ou supérieures dans l'autisme selon les tâches considérées. Des profils plus ou moins performants ont été observés tant dans le groupe autiste que dans le groupe non autiste, avec une variabilité plus marquée dans le groupe autiste, notamment pour la Rotation mentale.

L'étude complémentaire à l'étude 1 visait à expliquer l'hétérogénéité observée au travers de caractéristiques individuelles associées à l'autisme. Les résultats suggèrent qu'un profil cognitif associant une forte imagerie mentale spatiale à un niveau élevé de systématisation est lié à de meilleures performances visuospatiales. Bien que ce profil cognitif ne soit pas spécifique à l'autisme, il semblerait y être plus fréquent, ce qui pourrait contribuer à expliquer les performances supérieures souvent rapportées dans la littérature.

Afin de mieux comprendre les mécanismes cognitifs impliqués dans la résolution des tâches visuospatiales, l'oculométrie a été utilisée pour identifier les stratégies visuelles mobilisées au cours des Matrices de Raven (études 2 et 3) et des Cubes de Kohs (étude 4). Les études 2 et 3, en se basant sur un score composite qui intègre différents indices d'exploration visuelle, confirment que la stratégie d'appariement constructif est la plus efficace pour résoudre les Matrices. Bien qu'aucune différence de performances (score et temps de résolution) ne soit retrouvée entre les groupes, les résultats révèlent une utilisation plus importante de cette stratégie par les personnes autistes. L'étude 4 utilise un score composite similaire et montre que les personnes autistes ont davantage recours aux stratégies analytiques que les personnes non autistes, que ce soit dans leur exploration visuelle ou dans leur méthode de construction. Ces stratégies étant plus efficaces, cette préférence pourrait expliquer leurs meilleures performances.

Ainsi, nos résultats confirment les performances visuospatiales au moins préservées voire améliorées dans l'autisme et fournissent des pistes explicatives de l'hétérogénéité qui y est observée. Ils viennent enrichir les connaissances relatives au traitement visuel dans l'autisme en apportant un éclairage nouveau sur les processus perceptifs et cognitifs sous-jacents, en particulier dans le cadre du modèle du fonctionnement perceptif amélioré. Cette thèse souligne l'importance de considérer les différences interindividuelles dans le domaine visuospatial et fournit des perspectives pour une meilleure individualisation de l'accompagnement des personnes autistes.

Title: Visuospatial abilities in autism: interindividual variability and associated processes

Key words: autism, visuospatial, variability, cognitive style, strategies, oculometry

Abstract: Visuospatial abilities have frequently been reported as superior in autistic individuals, due to performance often being higher than that observed in the general population. This domain of competence, often presented as a strength, contrasts with other cognitive functions described as impaired in autism, particularly in the social and communicative domains. However, the literature highlights significant interindividual variability in the ability to process visuospatial information, calling into question the idea of a systematic superiority of these skills. This thesis therefore aims to explore visuospatial abilities in autism in order to better understand performance variability and identify its potential determinants.

The experimental protocol included four visuospatial tasks: Raven's Progressive Matrices, Block Design, Embedded Figures, and the Mental Rotation Test, as well as self-report questionnaires assessing individual characteristics such as level of systemizing, sensory sensitivity, and cognitive style. Visual exploration data for participants from each experimental group (autistic and non-autistic) were collected using a mobile eye-tracking device.

As expected, the first study examining performance heterogeneity showed preserved or superior abilities in autism depending on the task. More or less efficient performance profiles were observed in both the autistic and non-autistic groups, with greater variability in the autistic group, particularly in the Mental Rotation task.

The complementary study to study 1 aimed to explain this heterogeneity through individual characteristics associated with autism. The results suggest that a cognitive profile combining strong spatial mental imagery with a high level of systemizing is associated with better visuospatial performance. Although this cognitive profile is not specific to autism, it appears to be more frequently found in autistic individuals, which could help explain the superior performances often reported in the literature.

To better understand the cognitive mechanisms involved in visuospatial task solving, eye-tracking was used to identify visual strategies employed during Raven's Matrices (studies 2 and 3) and the Block Design task (Study 4). Studies 2 and 3, based on a composite score integrating various visual exploration indices, confirm that the constructive matching strategy is the most effective for solving the Matrices. Although no performance differences (score or resolution time) were found between the groups, the results show greater use of this strategy by autistic participants. Study 4, using a similar composite score, shows that autistic individuals rely more on analytical strategies than non-autistic individuals, both in their visual exploration and construction methods for the Block Design task. As these strategies are more effective, this preference could help explain their better performance.

Thus, our results confirm that visuospatial performance is at least preserved, if not enhanced, in autism, and offer explanatory insights into the heterogeneity observed. They enrich current knowledge about visual processing in autism by shedding new light on the underlying perceptual and cognitive processes, particularly within the framework of the Enhanced Perceptual Functioning model. This thesis emphasizes the importance of considering interindividual differences in the visuospatial domain and offers perspectives for more personalized support for autistic individuals.