

PARTICULARITÉS VISUELLES DANS L'AUTISME : APPORT DES TECHNIQUES DE MORPHING ET EYE-TRACKING

[Bora Han](#), [Charles Tijus](#), [Jacqueline Nadel](#)

NecPlus | « [Enfance](#) »

2015/1 N° 1 | pages 87 à 110

ISSN 0013-7545

DOI 10.4074/S0013754515001068

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://www.cairn.info/revue-enfance2-2015-1-page-87.htm>

Distribution électronique Cairn.info pour NecPlus.

© NecPlus. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

Particularités visuelles dans l'autisme : apport des techniques de morphing et eye-tracking

Bora HAN^{1,2}, Charles TIJUS¹ et Jacqueline NADEL²

RÉSUMÉ

L'étude des particularités visuelles dans les Troubles du spectre autistique (TSA) pose une question centrale, celle du caractère général de ses particularités ou de leur limitation au traitement des stimuli socio-émotionnels. Une comparaison systématique entre le traitement de différents types de stimuli sous-tend la réponse à cette question. Cependant jusqu'à présent les comparaisons réalisées ont porté sur des stimuli statiques, et lorsque des stimuli dynamiques ont été utilisés, ils n'ont pas porté de façon comparable sur les mouvements biologiques du visage (expressions émotionnelles) et sur les mouvements physiques des objets. Ayant mis au point un dispositif permettant de comparer systématiquement le changement d'état des visages émotionnels, des robots émotionnels et des objets, (<http://www.lutin-userlab.fr/FOT/>), nous avons conduit une expérimentation combinant la technique du *morphing* et de l'*Eye-Tracking*. Douze adolescents non-verbaux ont été appariés à deux groupes typiques : l'un formé d'enfants de même âge développemental, l'autre d'adolescents de même âge chronologique. Les résultats montrent une asymétrie de traitement perceptif selon les stimuli : intact pour les stimuli physiques, le traitement apparaît déficitaire pour les stimuli émotionnels dans le cas de participants de bas niveau cognitif avec TSA. Ces résultats sont en faveur d'un dysfonctionnement de traitement perceptif concernant de façon spécifique le domaine socio-émotionnel.

MOTS-CLÉS : TROUBLE DU SPECTRE DE L'AUTISME, TRAITEMENT VISUEL, MORPHING, VISAGES ÉMOTIONNELS, OBJETS, ROBOTS ÉMOTIONNELS, EYE-TRACKING

1. CHArt- Cognition Humaine et Artificielle & Lutin, Cité des Sciences et de l'Industrie. *Email*: borahan81@gmail.com ; charles.tijus@gmail.com

2. Centre Emotion, La Salpêtrière, Pavillon Clérambault, 47 Bd de l'Hôpital, 75013 Paris. *Email* : jacqueline.nadel@upmc.fr

ABSTRACT

A study of autistic visual peculiarities using morphing and eye-tracking

The study of autistic visual peculiarities gives rise to a main question: are the peculiarities limited to socio-emotional stimuli like facial expressions or are they a general marker of autistic visual processing? To answer this question, a systematic comparison of different kinds of stimuli is required. Until now only static stimuli were systematically compared. When dynamic stimuli were used, the comparison did not take into account important parameters distinguishing moving faces from moving objects. Our morphing design allows to control the speed of presentation and the complexity of moving faces, robots and objects (<http://www.lutin-userlab.fr/FOT/>). Using this design, we have conducted a series of experiments combining morphing and eye tracking techniques. Twelve non verbal adolescents were compared with two typical groups: a Developmental Age- matched and a Chronological Age- matched group. Results show an intact performance regarding the processing of objects and a significantly lower performance regarding emotional stimuli. The comparison of visual fixations during emotional robotic expressions compared to human expressions suggests a processing of movement rather than a processing of emotional signal.

KEY-WORDS: AUTISM SPECTRUM DISORDER, VISUAL PROCESSING, MORPHING, EYE-TRACKING, EMOTIONAL FACES, OBJECTS, ROBOTS

INTRODUCTION

La perception des expressions faciales émotionnelles est un processus complexe qui renvoie à plusieurs niveaux de traitement. Tout d'abord il y a le traitement du signal émotionnel qui s'effectue très précocement, ensuite il y a le traitement du mouvement qui porte les émotions et il y a le traitement de la configuration du visage.

Certains auteurs suggèrent que les difficultés initiales à saisir l'information dynamique provenant du visage chez les personnes TSA, seraient sous-tendues par des particularités visuelles qui contraindraient le traitement des signaux émotionnels provenant du visage humain en mouvement. Les récentes découvertes suggèrent que ces particularités ne seraient pas spécifiquement liées à un déficit perceptif du mouvement en soi, mais plutôt à un déficit de filtrage de l'information visuelle, en particulier dans la capture des signaux émotionnels qui s'effectuerait entre les structures sous-corticales et corticales du système visuel incluant l'amygdale et le STS.

Dans cette présente étude, nous avons utilisé une plateforme technique associant la procédure de morphing et la méthodologie du *eye-tracking* afin d'étudier les particularités visuelles liées aux traitements du signal émotionnel et celui du mouvement dans l'autisme. L'objet de cette étude était de vérifier à travers notre dispositif, le caractère spécifiquement social du déficit, en comparant la réussite et les comportements oculaires des sujets TSA et typiques.

Perception visuelle des expressions faciales émotionnelles

L'étude de la perception du visage, en tant que support primaire de communication chez l'homme, s'est avérée pertinente pour aborder les difficultés d'interactions sociales observées chez les personnes porteuses de TSA. En particulier, l'hypothèse d'un déficit de la perception des expressions faciales émotionnelles dans l'autisme a été explorée par de nombreuses études au cours de ces 30 dernières années. Selon certains auteurs, la manifestation d'une non-sélectivité des mouvements faciaux chez les enfants autistes induirait des difficultés à discriminer les mouvements faciaux ayant un sens de ceux qui n'en ont pas (Brun, Nadel, & Mattlinger, 1998). Ce déficit précoce perturberait la compréhension des émotions et des intentions d'autrui et empêcherait la construction d'un format de communication partagé dès la petite enfance et causerait les déficits socio-émotionnels observés dans l'autisme. Cependant, les données comportementales recueillies au cours de ces dernières décennies sont complexes et difficiles à interpréter. Certaines données employant des stimuli statiques, comme les photographies ou les dessins schématiques d'expression faciale émotionnelle, mettent en évidence des déficits de reconnaissance des expressions faciales émotionnelles (Ashwin, Chapman, Colle, & Baron-Cohen, 2006 ; Gross, 2004 ; Howard *et al.*, 2000 ; Pelphrey *et al.*, 2002 ; Wallace *et al.*, 2008) alors que d'autres ne révèlent pas de différence (Castelli, 2005 ; Monk *et al.*, 2010 ; Neumann, Spezio, Piven, & Adolphs, 2006 ; Rutherford & Towns 2008 ; Spezio, Adolphs, Hurley, & Piven, 2007 ; Wong, Fung, Chua, & McAlonan,

2008). Selon certains auteurs, la grande hétérogénéité des méthodes employées (matériel, tâche, population) ainsi que l'impact de divers facteurs expérimentaux (appariement de groupe) pourraient être à l'origine de la divergence des résultats recueillis (Berhman, Thomas, & Humphreys, 2006 ; Harms, Martin, & Wallace, 2010 ; Jemel, Mottron, & Dawson, 2006).

Plus récemment, des résultats obtenus à partir de stimuli dynamiques tenant compte des propriétés dynamiques des expressions faciales tels que des vidéos (Gepner, Deruelle, & Grynfeldt 2001 ; Tardif, Lainé, Rodriguez, & Gepner, 2007) ou des séquences dynamiques produites avec la technique de *morphing* (Back, Ropar, & Mitchell, 2007 ; Bal, Harden, Lamb, Van Hecke, Denver, & Porges, 2010 ; Uono, Sato, & Toichi, 2010) ont pu rapporter des résultats plus convergents, bien qu'utilisant des méthodes différentes. Uono et ses collaborateurs (2010) utilisant la technique de *morphing* ont rapporté chez les sujets TSA de haut niveau de fonctionnement, une moins bonne reconnaissance des changements très rapides des expressions faciales émotionnelles (200 ms) que les sujets typiques. Back et ses collaborateurs (2007) en utilisant des vidéos ont rapporté les mêmes limitations avec un temps de présentation plus lent (4 secondes). De plus, toujours chez les adolescents de haut niveau cognitif, Clark et ses collaborateurs (2008) ont observé un déficit dans le traitement très rapide des émotions (15-30 ms) contrairement à un traitement intact des visages neutres et des stimuli non-sociaux (animal et objet). Ces résultats ont conduit les auteurs à suggérer l'idée que les difficultés à reconnaître les émotions sur le visage chez les personnes TSA de haut niveau de fonctionnement seraient liées à un déficit d'intégration des émotions plutôt qu'à un déficit perceptif visuel.

Parallèlement à cela, l'hypothèse d'une stratégie atypique d'exploration visuelle des visages chez les personnes porteuses de TSA a pu être abordée à travers les études du comportement oculaire employant la technique du *eye-tracking*. En effet, certains résultats rapportés mettent en avant des patterns d'exploration atypiques chez les adultes TSA (Hernandez *et al.*, 2009 ; Pelphrey *et al.*, 2002), chez les adolescents (Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002) ainsi que chez les enfants (Speer, Cook, McMahon, & Clark, 2007), lors de la visualisation de visages expressifs présentés soit sur une photo ou sur une vidéo de scène d'interaction sociale. Les patterns oculaires des sujets TSA, tous de bon niveau cognitif, se caractérisent par une diminution d'intérêt visuel sur les composantes clés du visage (c'est-à-dire yeux, nez, bouche) mais plus particulièrement sur la région des yeux. Comparés aux typiques, les sujets TSA de ces quatre études plus haut citées ont passé moins de temps à regarder la région des yeux en accordant plus d'attention sur les régions de la bouche, du corps et des objets figurant dans les scènes visuelles. Cette exploration atypique des scènes visuelles a conduit d'autres chercheurs à comparer le traitement visuel des stimuli dans des conditions expérimentales variées. Certains chercheurs ont utilisé des bandes dessinées (van Der Geest, Kemner, Camfferman, Verbaten, & van Engeland, 2002) ou de planche de photo (Sasson, Turner-Brown, Holtzclaw, Lam, & Bodfish, 2008) comprenant des objets et des figures humaines. Toutefois

les résultats rapportés dans ces études n'ont pas révélé de différence dans le comportement oculaire d'enfant avec TSA lors de l'exploration visuelle des stimuli. L'absence de différence nette entre le comportement oculaire du groupe TSA et celui du groupe typique lors de l'exploration visuelle des stimuli, suggère que les anomalies du comportement social observées dans l'autisme pourraient être liées à d'autres facteurs, comme ceux liés aux interactions sociales ou à l'attention orientée vers les détails, plutôt que ceux liés à la nature des stimuli. Cependant, encore une fois les résultats demeurent difficiles à interpréter en raison de l'hétérogénéité des paradigmes employés. Par exemple, à travers le paradigme de préférence visuelle, Pierce et ses collaborateurs (2011) ont rapporté chez les très jeunes enfants, que contrairement aux groupes de comparaison, 40 % des enfants du groupe TSA dont le risque de diagnostic de TSA était élevé, avaient une préférence visuelle pour les formes géométriques en mouvement plutôt que pour les mouvements biologiques exprimant des actions ou des émotions.

En fait, c'est surtout les études en imagerie cérébrale qui ont apporté les éléments clés permettant d'aller dans le sens de l'hypothèse d'un déficit dans le traitement des expressions faciales émotionnelles. Batty et ses collaborateurs (2011) ont rapporté chez les enfants avec TSA une diminution de l'amplitude de la P1 suivie d'un temps de latence plus long de la composante N170 révélant un fonctionnement anormal des activités cérébrales au cours des stades précoces du traitement des expressions faciales émotionnelles. Ces résultats sont en accord avec les données des études d'imagerie fonctionnelle qui rapportent une activation atypique des régions du cerveau impliquées dans le traitement des expressions faciales émotionnelles (FG, STS, AMY, MT/V5). Plusieurs études ont rapporté chez les adultes et les enfants porteurs de TSA une hypo-activation du gyrus fusiforme lors de la perception des émotions faciales (Critchley *et al.*, 2000 ; Dalton *et al.*, 2005 ; Hall, Szechtman, & Nahmias, 2003 ; Hubl *et al.*, 2003 ; Wang, Dapretto, Hariri, Sigman, & Bookheimer, 2004). Concernant l'amygdale, certains ont rapporté une hyper-activation (Dalton *et al.*, 2005 ; Monk *et al.*, 2010) alors que d'autres ont rapporté une hypo-activation (Ashwin, Chapman, Colle, & Baron-Cohen, 2006, Baron-Cohen *et al.*, 1999 ; Critchley *et al.*, 2000 ; Dawson, Webb, & McPartland, 2005 ; Wang *et al.*, 2004). Howard et ses collaborateurs (2000) ont rapporté chez les adolescents TSA de haut niveau de fonctionnement, une anomalie structurale de l'amygdale associée à un déficit de la perception visuelle des expressions faciales émotionnelles. Ces anomalies structurales des données récoltées à partir de matériel statique ont également été retrouvées en dynamique. Pelphrey et ses collaborateurs (2007) ont rapporté chez les sujets TSA de haut niveau de fonctionnement, une hypo-activation des aires impliquées dans le traitement des expressions faciales émotionnelles (c'est-à-dire AMY et FG), accompagné d'une activation normale des aires impliquées dans le traitement des propriétés dynamiques du mouvement physique et biologique (c'est-à-dire MT/V5 et STS). Ce qui pourrait conduire à un déficit dans le codage du signal émotionnel provenant du visage tout en laissant intact le codage du mouvement physique.

Perception visuelle du mouvement biologique *vs.* mécanique

Le mouvement biologique comprend l'ensemble des mouvements produit par l'homme y compris les mouvements servant à exprimer des émotions ou des intentions d'action. Il constitue une source d'information importante dans la compréhension des états mentaux d'autrui (Zilbovicius *et al.*, 2006). Le mouvement biologique se distingue du mouvement mécanique (physique) par le fait que sa perception reposerait sur un mécanisme « précâblé », présent dès la naissance (Johanson, 1973), et qui se développerait avec l'expérience perceptive et motrice. Bertenthal et collaborateurs (1984) ont montré au moyen d'une procédure d'habituation que les nouveau-nés percevaient dès 3 mois l'inversion d'un mouvement de locomotion. À partir de cinq mois, le bébé est capable de distinguer le mouvement biologique du mouvement déphasé, à trois ans l'enfant est capable de distinguer les différents types de mouvements produit par l'homme ou par l'animal (Pavlova, Krägeloh-Mann, Sokolov, & Birbaumer, 2001) et les enfants de 7 ans (Moor, Hobson, & Lee, 1997) et de 12 ans (Parron *et al.*, 2008) reconnaissent plus facilement des mouvements humains exprimant des émotions que des mouvements d'objets. Dans le domaine de l'autisme, une faible sensibilité perceptive aux mouvements biologiques en point lumineux a été rapportée chez les enfants de 15 mois (Klin, Lin, Gorrindo, Ramsay, & Jones, 2009 ; Klin & Jones, 2008), de 6-12 ans (Blake, Turner, Smoski, Pozdol, & Stone, 2003 ; Centelles, Assaiante, Etchegoyhen, Bouvard, & Schmitz, 2012), ainsi que chez les adultes (Atkison *et al.*, 2009 ; Koldewyn, Whitney, & Rivera, 2011). Les données en imagerie cérébrale, ont également rapporté des activités atypiques chez les personnes TSA lors de la perception du mouvement biologique naturel (Pelphrey, Morris, & McCarthy, 2005 ; Pinkham, Hopfinger, Pelphrey, Piven, & Penn, 2008 ; Redcay, 2008) et lors de la perception du mouvement biologique en points lumineux (Freitag *et al.*, 2008 ; Herrington *et al.*, 2007 ; Koldewyn *et al.*, 2011). Comparés aux données des sujets typiques, les résultats montrent une moindre activité des régions du sillon temporal supérieur postérieur (pSTS), des régions pariétales et des régions frontales chez les personnes TSA lors de l'observation de mouvement biologique, tandis que l'activité est similaire dans la région MT+/V5 lors de mouvement à la fois cohérents et biologiques. Le MT+/V5 étant impliqué dans le traitement du mouvement cohérent (Aspell, Tanskanen, & Hurlbert, 2005 ; Culham, He, Dukelow, & Verstraten, 2001) et le pSTS étant impliqué dans la perception du mouvement biologique (Grossman & Blake, 2002 ; Pelphrey, Morris, Michelich, Allison, & McCarthy, 2005 ; Thompson, Clarke, Stewart, & Puce, 2005).

En effet, les points lumineux illustrant le mouvement corporel sont un cas de mouvement cohérent et complexe, par le fait qu'il faut intégrer l'ensemble des points en un mouvement global, qui de plus est porteur de sens chargé en action ou en émotion. Selon certains auteurs, la difficulté que rencontrent les personnes avec TSA ne serait pas liée à un déficit de la perception du mouvement biologique en soi mais plus à une faible sensibilité à détecter les

informations plus complexes comme le contenu intentionnel ou émotionnel des mouvements corporels (Atkinson, 2009 ; Hubert *et al.*, 2007 ; McAleer, Kay, Pollick, & Rutherford, 2011 ; Moore *et al.*, 1997 ; Murphy, Brady, Fitzgerald, & Troje, 2009 ; Nackaert *et al.*, 2013 ; Parron *et al.*, 2008).

Perception visuelle des objets

La perception des objets a généralement été abordée dans le cas d'étude comparative pour identifier les aspects différentiels du traitement des visages à ceux des objets. Les études comparatives réalisées auprès de populations avec TSA ont rapporté des performances intactes dans la reconnaissance d'objets contrairement aux visages (Deruelle & Rondan, 2004 ; McPartland, Webb, Keehn, & Dawson, 2011 ; Tenisse & de Gelder, 2003 ; Wallace *et al.* 2008). En effet, Samson et ses collaborateurs (Samson, Mottron, Soulières, & Zeffiro, 2011) rapportent dans leur méta-analyse incluant 26 études sur le traitement des visages, des objets et des mots, que la performance des sujets avec TSA ne se distingue pas de celles des typiques pour le traitement des objets. Par ailleurs, les études en IRMf ont révélé chez les sujets TSA, une absence d'activation du gyrus fusiforme lors de la perception des visages (Critchley *et al.*, 2000 ; Grelotti *et al.*, 2005 ; Hubl *et al.*, 2003 ; Pierce *et al.*, 2011 ; Schultz *et al.*, 2000) une région qui répond préférentiellement à l'analyse perceptuelle des propriétés configurales des visages, et une augmentation de l'activation de l'ITG (gyrus temporal inférieur) une région qui répond préférentiellement à la perception des objets (Schultz *et al.*, 2000). Bien que ces données n'informent pas sur le traitement différentiel des visages par rapport aux objets, elles suggèrent un traitement normal des objets chez les personnes avec TSA. Dawson et ses collaborateurs (2005) suggèrent que le traitement local sollicité dans l'analyse des objets conduirait à une spécialisation atypique des aires corticales conduisant au développement de l'expertise pour le traitement des objets chez les personnes porteuses de TSA. D'autres études ont aussi démontré, lors d'une tâche perceptivo-cognitive, que les sujets avec TSA orientaient plus l'attention vers les éléments locaux des figures plutôt que sur leurs aspects globaux (Caron, Mottron, Berthiaume, & Dawson, 2006 ; Iarocci, Burack, Shore, Mottron, & Enns, 2006 ; Mottron, Burack, Iarocci, Belleville, & Enns, 2003 ; Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999). Ce biais local contraindrait le traitement configural (holistique) habituellement sollicité dans le traitement des visages (Gross, 2005 ; Joseph & Tanaka, 2003 ; Lahaie *et al.*, 2006 ; Tenisse & de Gelder, 2003). Ce qui pourrait justifier les performances intactes dans la reconnaissance des objets contrairement aux visages.

En résumé, ces données vont dans le sens de l'hypothèse selon laquelle les particularités visuelles dans les TSA se caractériseraient par un dysfonctionnement cérébral spécifique dans le traitement des signaux émotionnels provenant du corps humain en mouvement, plutôt que d'un déficit dans le traitement du mouvement en soi, du domaine biologique *vs.* non-biologique. Cependant sur le plan comportemental nous disposons de très peu de données qui nous permettent de plaider en faveur d'une telle argumentation. En effet,

la perception des expressions faciales émotionnelles mobilise simultanément le traitement du signal émotionnel et celui du mouvement (le traitement de la configuration s'effectuant plus tardivement) qui d'un point de vue écologique sont indissociables et difficilement isolables en situation expérimentale pour étudier d'éventuelles particularités.

Pour surmonter cet obstacle, nous nous sommes tournés vers l'étude des comportements oculaires lors de la perception visuelle du changement d'état de visages émotionnels humains et de schémas émotionnels robotiques. Les robots émotionnels sont une catégorie intermédiaire entre les visages humains et les artefacts car ils présentent des caractéristiques internes de l'émotion semblable aux visages humains, mais ils possèdent également les propriétés physiques des objets mécaniques (câbles, clous, fils, pièces métalliques). Cette catégorie intermédiaire offre ainsi la possibilité de dissocier le traitement visuel des signaux émotionnels et des signaux du mouvement. Nous avons donc intégré dans notre étude les stimuli émotionnels robotiques conçus par Gaussier, Nadel et Canet (Nadel *et al.*, 2006). Les schémas émotionnels sont des expressions prototypiques produites par 12 servomécanismes, et sont issus de la réplification la plus proche possible du FACS (Nadel *et al.*, 2006). Chaque expression émotionnelle a été validée par deux chercheurs certifiés FACS et un expert FACS (Oster, 2005). Plusieurs groupes d'adultes ont discriminé facilement les expressions émotionnelles présentées par le robot (Chammat *et al.*, 2010 ; Dubal *et al.*, 2010 ; Nadel *et al.*, 2006). De plus, il a été démontré chez les sujets typiques dès lors qu'un mouvement robotique est étroitement couplé à un mouvement biologique, sa perception mobilisait des mécanismes de reconnaissance similaires à la perception d'action humaine (Chaminade, Franklin, Oztop, & Cheng, 2005). Quant à la perception des émotions, les études en ERP ont rapporté que la composante P1 impliquée dans le traitement précoce des signaux émotionnels répondait aussi bien à la perception des expressions émotionnelles humaines qu'aux expressions robotiques (Chammat *et al.*, 2010 ; Dubal *et al.*, 2010). On peut dès lors supposer que dans le cas de l'autisme, la présentation de stimuli robotique puisse engendrer des réponses différentes, compte tenu de la faible sensibilité perceptive des personnes autistes aux aspects émotionnels. Ainsi en l'absence de données dans le domaine des TSA, la question que nous abordons dans cette étude consiste à savoir si les difficultés initiales à saisir l'information dynamique dans l'autisme sont liées aux propriétés physiques de bas niveaux ou aux propriétés comportementales des stimuli.

MÉTHODE

Participants

Au total 35 volontaires répartis en trois groupes (TSA, EDT, AT) ont participé à cette étude. Douze sujets TSA de bas niveau de fonctionnement cognitif ($M_{AC} = 19$ ans ; $= 3,5$) ont reçu le diagnostic d'autisme sur les critères du DSMIV-R (APA, 2000) et de l'ADI-R (Lord, 1994). Ils ont été comparés à 12 enfants à développement typique ($M_{AC} = 8$ ans ; $= 2$) appariés sur l'âge de

développement non verbal (ADNV) à partir des matrices progressives de Raven (Raven *et al.*, 1998). Les analyses n'ont pas montré de différence significative entre les ADNV des deux groupes ($t(22) = -1,8, p = 0,08$) (cf. tableau 1). Et enfin, 11 adolescents typiques (M AC = 14 ans, = 1) ont été appariés grossièrement sur l'âge chronologique (AC) des 12 sujets TSA.

Stimuli

Le matériel comprend 12 vidéos de *morphing* en couleur, présentant des changements dynamiques d'état de trois catégories de stimuli : 4 objets fonctionnels (OF : bouteille en plastique, épingle à nourrice, trousse, ciseaux), 4 visages émotionnels (VE : joie, tristesse, surprise et peur) et 4 robots émotionnels (RE : joie, tristesse, surprise et peur). Ces items sont transformés suivant un pattern de changement d'état (ABA) (cf. figure 1). Tous les clips vidéo ont été présentés à une vitesse de 4 000 ms. Chaque séquence vidéo est accompagnée de 3 images, parmi lesquelles le sujet doit choisir l'image cible apparue dans la

Tableau 1.

Données individuelles

	Groupe TSA			Groupe EDT			Groupe AT		
	AC/ Genre	Score MPRC	MPRC ADNV	AC/ Genre	Score MPRC	MPRC ADNV	AC/ Genre	Score MPRS	MPRS ADNV
01	17/M	11/36	4	5/M	20/36	5	14/F	42/60	12.5
02	19/M	31/36	9	5/M	20/36	5	14/F	43/60	13
03	17/M	22/36	6	5/M	24/36	7	14/M	50/60	14.5
04	16/M	24/36	7	5/M	22/36	6	14/M	52/60	14.5
05	18/M	29/36	8	6/F	24/36	7	16/M	46/60	14
06	22/M	37/60	9	6/M	27/36	7.5	13/M	52/60	14.5
07	20/M	30/36	9	7/M	24/36	7	12/M	42/60	12.5
08	19/M	36/60	9	7/M	25/36	7.5	12/M	43/60	13
09	17/M	24/60	8	9/M	27/36	7.5	12/M	44/60	13.5
10	17/M	32/36	10	9/M	28/36	8	14/F	43/60	13
11	18/M	33/36	10	9/M	29/36	8	15/M	41/60	12
12	29/M	42/60	12	10/M	32/36	10			
Moyenne (ET)	19 (3.5)		8 (2)	7 (2)		7 (1.4)	14 (1.3)		13 (.07)

Légende : MPRC : Matrices Progressive de Raven, version Colorée (36 items), MPRS : Matrices Progressive de Raven, version Standard (60 items)

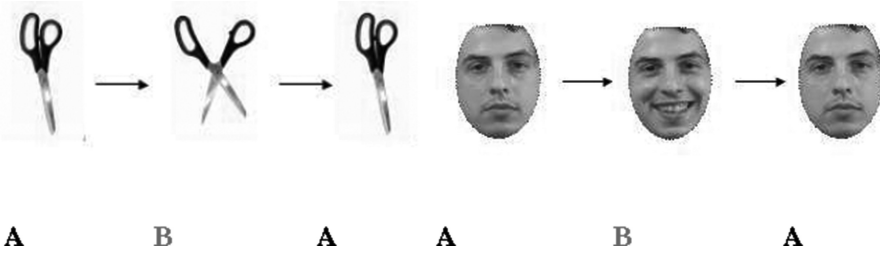


Figure 1.

Exemples de changement d'état d'ordre ABA où l'image cible est l'état « B »

vidéo. Une fois que la vidéo est finie, les 3 images sont présentées côte à côte. L'emplacement des images a été déterminé préalablement.

Ajustement de l'étude aux spécificités des TSA de bas niveau cognitif

La tâche de détection de l'état cible au cours d'un changement d'état dynamique est une tâche perceptivo-cognitive qui nécessite des prérequis. Il faut tout d'abord être capable de discriminer des objets dans différents états. Par la suite, il faut se représenter la notion de changement d'état et retenir en mémoire de travail visuelle l'état intermédiaire de la transition afin de pouvoir l'identifier parmi d'autres images. Avec l'objectif de travailler avec une population clinique non-verbale de faible niveau cognitif un aménagement spécifique paraissait nécessaire. Nous avons donc mis en place un dispositif qui nous permet d'introduire la notion de changement d'état à travers la décomposition du processus de transformation dynamique en image statique. Ce dispositif a été conçu pour mesurer les capacités prérequisées de tous les participants aptes à différencier dans le processus de transformation ABA, l'état B de l'état A.

Méthode de la pré-expérimentation

Matériel et tâche : Quatre items-photographies (2 items pour chacune des 2 catégories de stimuli ont été sélectionnés : ciseaux et bouteille pour les objets fonctionnels, expression neutre et joie pour les visages émotionnels). À partir de ces 4 items nous avons constitué 2 niveaux de 4 exercices que nous avons présentés sur un Ipad. En tenant compte des particularités perceptives à l'autisme, nous avons aménagé la procédure en remplaçant l'utilisation du mode de réponse par des réponses tactiles et en substituant les consignes verbales par des consignes visuelles, c'est-à-dire pour chaque niveau d'exercice une démonstration vidéo des séquences de réussite des items d'apprentissage. La programmation de ce dispositif ainsi que le recueil des résultats ont été réalisés par le logiciel Match (Poitrenaud).

Niveau 1 : Chaque item sélectionné est présenté dans un état courant. Ce dernier est suivi de 3 image-test correspondant à trois états différents. Par exemple, nous avons comme image cible une canette noire qui est suivie de trois images test : 1. « canette noire », 2. « canette noire déformée », 3. « canette blanche ».

Le participant doit reconnaître parmi les 3 images-tests celle qui est identique à la canette noire. Il s'agit d'une tâche de discrimination d'état.

Niveau 2 : Une séquence de 3 images décrivant une transition d'états d'un item est présentée. (Par exemple, un visage neutre > joyeux > neutre). Le sujet doit reconnaître l'état intermédiaire de la transition et le retrouver parmi les trois images-tests. Il s'agit d'une tâche de reconnaissance de changement d'état.

L'attention du sujet est toujours guidée par un rectangle rouge qui entoure l'image cible. Sa réponse est suivie d'un feedback (visuel et auditif) différenciés en fonction de la réussite ou de l'échec. Le participant peut dès lors faire l'association entre sa propre action et la conséquence de cette dernière ainsi intégrer la consigne en procédant par essai/erreur.

Procédure

La passation se déroule au sein de la plateforme de tests du Laboratoire des Usages en Technologie de l'Information Numérique, dans une salle isolée pour les sujets typiques. Pour les sujets TSA la passation se déroule au sein de leur institution dans une salle isolée. Le participant est installé sur une chaise devant un écran d'ordinateur de 19 pouces (1 280 x 1 024 pixels) posé sur une table (distance 70 cm). L'expérimentateur explique au sujet la tâche à l'aide du dispositif d'iPad. Une fois la consigne intégrée, l'expérimentateur propose de faire des essais sur ordinateur et fait une démonstration avec les vidéos. Tous les participants ont bénéficié d'une phase de familiarisation avant l'expérience. Sur les 5 séquences d'essais, l'expérimentateur guide le participant du début jusqu'à son autonomie. Une fois autonome acquise, l'expérience commence (*cf.* figure 2). Tous les sujets ont été équipés d'un casque oculométrique, SensoMotoric Instruments iView XTM HED (SensoMotoric Instruments, 2005). Ce système est doté d'un ordinateur portable et de deux caméras situées sur un casque mobile, permettant d'enregistrer en temps réel la scène visuelle de chaque participant et leur mouvement des yeux (fréquence d'échantillonnage : 60 Hz). La calibration a été effectuée sur 5 points avec un angle visuel de 0,5°. Une souris était mise à disposition sur la table pour permettre aux participants d'effectuer la tâche.

Acquisition des données oculométriques

Après chaque séance d'enregistrement, les données ont été numérisées et archivées sur l'ordinateur. De la session d'enregistrement total, nous avons extrait 48 secondes par stimulus pour le codage des stimuli visualisés. Après l'acquisition des données, les Régions d'intérêt (ROI) pour chaque stimulus et pour chaque sujet ont été ajustées manuellement via le logiciel BeGaze. À partir des fichiers bruts exportés du logiciel nous avons effectué un codage manuel sur la durée des regards posés sur les ROIs de chaque stimulus.

Deux catégories de régions d'intérêt ont été définies selon les critères de pertinence liés à la détection des signaux émotionnels pour les expressions

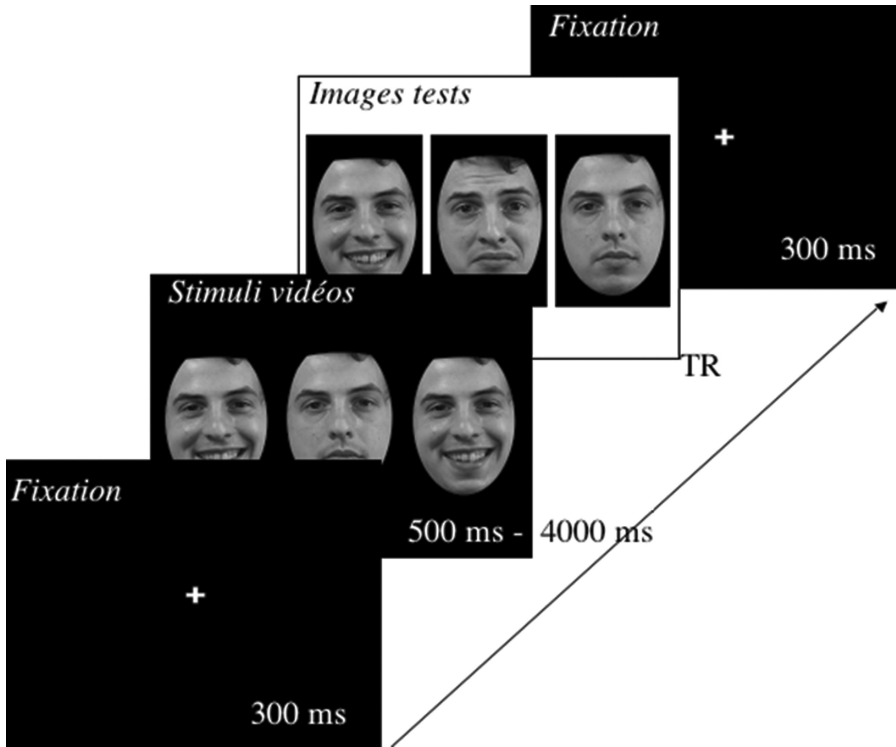


Figure 2 .
Schéma écran

faciales et robotiques : 1. les Composantes émotionnelles centrales (CEC), comprenant les régions des yeux et de la bouche, 2. les Composantes non-émotionnelles (CNE) comprenant les régions du nez, des joues et du front pour le visage humain d'une part, et les servomoteurs, les mouvements mécaniques locaux pour le robot d'autre part. Pour les objets deux régions d'intérêt ont été définies selon les critères de pertinence liés à leur manipulation : 1. les régions liées à la fonction de l'objet et 2. les régions liées à sa manipulation (cf. figure 3).

Plan expérimental et prédictions

Le plan expérimental correspondant est $P_n <G_3 > St_3 * I_4$, où P_n représente les participants par groupe, G_3 les 3 groupes, St_3 les 3 types de stimulus et I_4 les 4 items.

Prédiction 1 : Nous prédisons un effet d'interaction entre le facteur type de stimuli et groupe sur la reconnaissance et le comportement oculaire des sujets avec TSA. Compte tenu des performances similaires observées entre les TSA et les TD concernant la reconnaissance des objets, on peut s'attendre à avoir des explorations visuelles (durée de fixation) similaires chez nos deux groupes

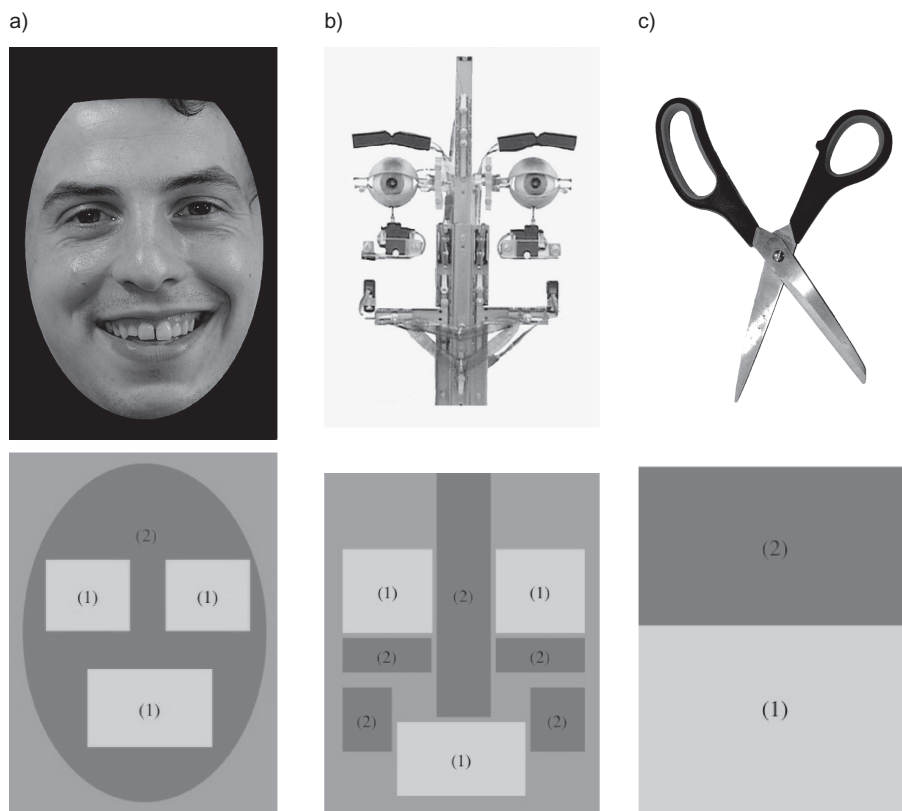


Figure 3.

Régions d'intérêt pour les trois catégories de stimulus : a) Visage Émotionnel (VE), b) Robot Émotionnel (RE), c) Objet Fonctionnel (OF). (1) ROI 1 : VE & RE : Composantes émotionnelles centrales (CEC) : yeux et bouche ; OF : Fonction. (2) ROI 2 : VE & RE : Composantes non émotionnelles (CNE) : nez, joue et front, mouvement mécanique, servomoteurs ; OF : Manipulation.

lorsqu'il s'agit d'explorer les objets. En revanche, au regard des anomalies cérébrales rapportées dans la littérature lors de la perception des expressions faciales émotionnelles il est probable que l'exploration visuelle des visages émotionnels chez les sujets TSA diffère des sujets typiques. Nous nous attendons à une exploration atypique des TSA concernant les ROI des visages avec moins de regard orienté vers les composantes émotionnelles centrales des visages humains et des schémas robotiques.

Prédiction 2 : Nous prédisons un effet d'interaction entre le facteur type de stimuli émotionnels (visage humain et schéma robotique) et le facteur groupe. Si nous prenons en compte les données de la neuro-imagerie qui montrent que le cerveau humain tend à réagir de manière similaire à la vue d'un mouvement biologique produit par l'humain ou par un agent robotique (Gazzola *et al.*, 2007 ; Oberman *et al.*, 2007) ainsi qu'à la vue des émotions faciales produites par l'humain ou par

un agent robotique (Chammat *et al.*, 2010 ; Dubal *et al.*, 2010), on peut s'attendre à des performances similaires chez les sujets typiques à la vue des deux catégories de stimuli exprimant les mêmes schémas émotionnels. Si le traitement perceptif est guidé par les schémas familiers que sont les expressions faciales émotionnelles, les performances devraient être accompagnées de patterns d'exploration visuelle identiques. Ainsi le robot devrait être exploré comme les visages humains avec des durées de fixation plus longues sur les composantes émotionnelles centrales que sur les composantes non émotionnelles. De l'autre côté, chez les sujets TSA, si le déficit perceptif affecte le traitement précoce des émotions, on peut s'attendre à avoir de faibles performances dans le groupe des TSA pour le stimulus robotique. Quel que soit le stimulus, le pattern d'exploration visuelle ne sera pas guidé par le traitement du signal émotionnel mais par les aspects perceptifs des stimuli tels que la configuration du visage ou d'autres éléments qui sont moins pertinents à la compréhension des émotions mais plus saillants d'un point de vue perceptif, comme le contraste ou le mouvement. On peut dès lors s'attendre à avoir des patterns oculaires qui refléteraient un mode de traitement perceptif propre aux personnes TSA. En particulier, si le traitement du mouvement est intact chez ces derniers il est probable que l'attention visuelle des sujets TSA soit guidée par les parties locales des stimuli mis en mouvement.

RÉSULTATS

Performance

L'analyse porte sur la réussite et le temps de bonne réponse recueillis auprès des participants répartis en 3 groupes (G1 : 12 TSA, G2 : 12 EDT, G3 : 11 AT). Avec 4 essais par condition pour chaque participant, nous avons avec les 35 participants un total de 420 observations. Chaque observation comprend la réponse (codée 1 pour la réussite et 0 pour l'échec) et le temps de bonne réponse. Selon le nombre d'essais réussis, un participant obtient un score de réussite compris entre 0 et 4 pour chacune des catégories et entre 0 et 12 pour l'ensemble. L'analyse des temps de bonne réponse porte sur le temps des réponses correctes des sujets soit un total de 305 observations sur 420 (73 %) (TSA : 81, EDT : 103 ; AT : 121). Le tableau 2 présente le score et les temps de bonnes réponses des 3 groupes de participants.

Traitement statistique et plan d'analyse

Les scores de réussite (R) et les temps de bonne réponse (TBR) ont été soumis à une ANOVA prenant pour variable, le groupe (TSA, EDT et AT) et le type de stimulus (O, VE, RE) ($G3 * St3$). Les ANOVAs décrites sont issues de mesures répétées et sont accompagnées d'analyse post-hoc du test de Bonferroni ou de test de Student.

Effet Groupe : Les analyses révèlent un effet principal du facteur groupe sur la réussite des participants $F(2, 32) = 14,4, p = 0,00003$ et sur leurs TBR $F(2, 29) = 3,5, p = 0,04$. Les analyses post-hoc montrent que ces effets sont dus aux

Tableau 2 .

Moyennes des réussites et des temps de bonne réponse (écart type) pour chacune des 3 catégories de stimulus (Score maximum 4)

	N	Réussite			Temps de bonne réponse		
		O	VE	RE	O	VE	RE
TSA	12	3 (0,7)	1.9 (0,8)	1.8 (1.1)	4 316 (2 573)	4 988 (3 115)	5 215 (3 499)
EDT	12	3.2 (0,7)	2.9 (0,8)	2.5 (1.4)	5 145 (3 401)	3 241 (2 114)	3 637 (2 536)
AT	11	4 (0)	3.7 (0,8)	3.2 (0,6)	3 428 (3 940)	1 986 (530)	2 088 (344)

Légende : O : objets ; VE : Visages émotionnels, R : Robots émotionnels. TSA : Groupe autistes, EDT : enfant à de, 12 enfants à développement typique, et 11 adolescents typiques.

scores de réussite et des TBR du groupe des AT (Réussite : $M = 3,7$, $= 0,4$; TBR : $M = 2 501$, $= 1 229$) qui se démarquent significativement de ceux du groupe des EDT (Réussite : $M = 2,9$, $= 0,8$; TBR : $M = 4 020$, $= 2 207$) et des TSA (Réussite : $M = 2,3$, $= 0,6$; TBR : $M = 4 741$, $= 2 629$) (Bonferroni : $p < 0,04$). Nous n'avons pas trouvé de différence significative concernant les performances du groupe EDT et TSA.

Effet Stimulus : Un effet principal du facteur stimulus (st) s'est révélé significatif sur la réussite des participants $F(2, 64) = 12,9$ $p = 0,0002$, en faveur d'une performance significativement supérieure pour les objets fonctionnels par rapport aux deux autres catégories de stimulus (Bonferroni : $p < 0,01$). Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR.

*Effet d'interaction Groupe * Stimulus* : Les analyses des interactions montrent que le facteur stimulus n'interagit pas avec le facteur groupe concernant les deux variables mesurées. Quel que soit le groupe, la catégorie de stimulus objet favorise la reconnaissance du changement d'état avec des TBR qui ne se distinguent pas entre eux.

Comportement oculaire

Les analyses du comportement oculaire portent sur une série d'ANOVA effectuée sur la durée des fixations (en pourcentage) des trois groupes de participants selon 4 plans d'analyse :

*Analyse 1 ($G3 * St3$)* : Nous avons comparé la durée totale des fixations des trois groupes portant sur les trois catégories de stimuli. Nous cherchons à vérifier si les trois groupes ont accordé la même attention visuelle aux changements dynamiques d'état des trois types de stimuli. L'Analyse révèle une différence inter-groupe sur la durée totale des fixations indiquant que les participants du groupe TSA ont accordé moins d'attention sur les stimuli visuels, comparés aux deux groupes typiques $F(2, 32) = 3,9$, $p = 0,03$. Les sujets TSA ont fixé 86 % de la durée totale des stimuli (soit 41/48 secondes) alors que les participants typiques ont eu un taux de fixation significativement plus élevé de 92 % pour les EDT (soit

Tableau 3 .

Taux de fixation des trois groupes de participants sur les trois catégories de stimuli visuels

	O	VE	RE
TSA	86 %	88 %	84 %
EDT	90 %	91 %	95 %
AT	96 %	96 %	98 %

44/48 secondes) et de 96 % pour les AT (soit 46/48 secondes). Nous n'avons pas trouvé d'effet significatif du facteur stimulus ni d'effet d'interaction groupe * stimulus (*cf.* tableau 3).

*Analyse 2 (G2 * ROI2) :* Nous avons comparé la durée des fixations des 3 groupes sur les ROIs des stimuli objets fonctionnels (O). En raison de la nature différentielle des stimuli objets comparé aux stimuli visages émotionnels (humain ou robotique), nous avons effectué une analyse isolée des taux de fixations sur les deux régions d'intérêt des objets. Nous cherchons à voir si les sujets TSA ont exploré les objets de la même manière que les sujets typiques en visitant les mêmes régions d'intérêt. L'analyse n'a pas révélé d'effet principal du facteur groupe. En revanche un effet du facteur ROI s'est révélé significatif indiquant que tous les participants ont porté le même taux d'attention sur les régions référentes à la fonction des objets (81.6 %) plutôt que sur les régions liées à leur manipulation (18,4 %).

*Analyse 3 (G3 * St2 * ROI2) :* Nous avons comparé la durée des fixations des trois groupes portant sur les 2 catégories de régions d'intérêt (CEC *vs.* CNE) des stimuli émotionnels (VE *vs.* RE). Nous cherchons à étudier l'exploration visuelle de nos trois groupes, durant la perception des changements d'état émotionnel, entre la région des composantes émotionnelles centrales et les composantes non émotionnelles, selon que le médium soit un visage humain ou un visage robotique.

Une ANOVA prenant pour variable le type de stimulus (VE, RE) et les ROIs (CEC, CNE) montre un effet principal du facteur ROI sur la proportion de la durée des fixations des participants $F(1,32) = 42,2, p < 0,01$. Les deux types de stimuli émotionnels confondus, le taux de fixation pour les régions d'intérêt correspondant aux régions des composantes émotionnelles centrales (63,4 %) s'est révélé significativement plus élevé que celui des composantes non émotionnelles (36,6 %). De plus, un effet d'interaction groupe * stimulus * ROI s'est révélé significatif $F(2, 32) = 10,7, p = 0,0003$. Les analyses post-hoc montrent que les taux de fixation recueillis chez nos trois groupes sur les régions d'intérêt des CEC des stimuli VEH sont supérieurs aux taux recueillis sur les régions des CNE, indiquant que tous les participants ont regardé plus la

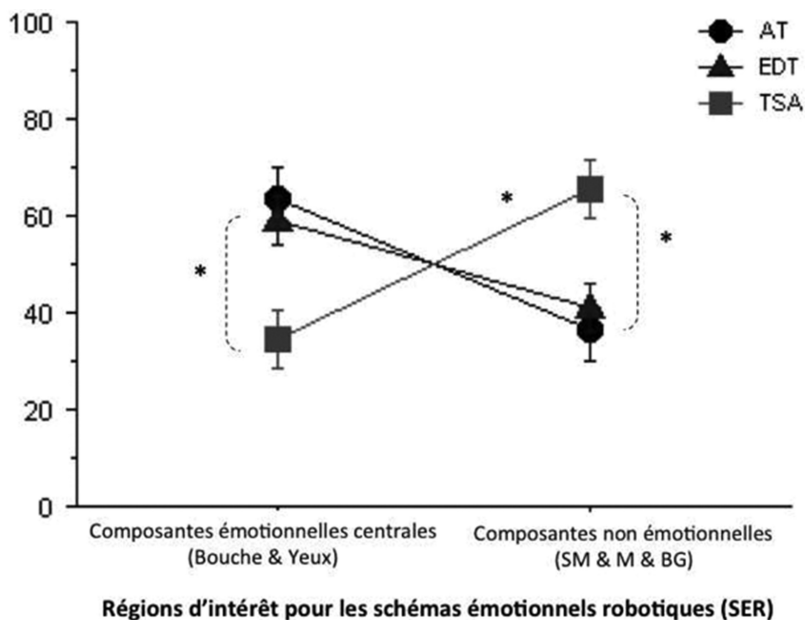


Figure 4.

Taux de fixation des trois groupes concernant les deux régions d'intérêt (CEC vs. CNE) des visages émotionnels (a) et des schémas émotionnels robotiques (b)

région des composantes émotionnelles centrales du stimulus humain. Cependant, lorsqu'il s'agit de stimuli robotique, les analyses montrent que les régions des CEC n'ont pas été plus visitées que les régions des CNE. La distribution des fixations dans les deux groupes typiques concernant les régions d'intérêt des stimuli robotique, n'est pas significativement différente d'une région à une autre, alors que dans le groupe des TSA le taux de fixation recueilli sur la région des CNE s'est révélé supérieur aux taux recueillis sur la région des CEC (65 %) ($p = 0,04$) (cf. figure 4).

*Analyse 4 ($G3 * St2 * ROI4$) :* Nous avons comparé la durée des fixations des trois groupes de participants portant sur les 4 régions d'intérêt des stimuli émotionnels (VE et RE). En décomposant les régions d'intérêt émotionnelles centrales et non centrales en sous catégories de ROI (VE : bouche, yeux, nez, face ; RE : bouche, yeux, mouvement mécanique, servomoteur), nous cherchons à mettre en évidence une éventuelle dissociation entre intérêt pour le mouvement et intérêt pour le signal émotionnel chez nos sujets TSA.

Une ANOVA prenant pour variable, le type de stimuli, les ROIs et le groupe montre un effet principal du facteur ROI sur les taux de fixations de tous les participants $F(3, 96) = 27,2, p < 0,0001$. Tous les participants ont accordé plus d'attention sur les régions de la bouche (33 %), des yeux (31 %) et du nez (30 %) que la région de la face incluant la joue et le front (7 %).

Un effet d'interaction entre le facteur Groupe* Stimulus * ROI a été observé $F(6, 96) = 8, p = 0,0001$ (cf. figure 29). Les analyses post-hoc ont révélé dans le cas des stimuli VE, une distribution homogène des taux de fixation chez les adolescents typiques entre la région de la bouche (38 %), des yeux (35 %) et du nez (22 %). Ce pattern d'exploration chez les AT n'a pas été retrouvé lors de leur exploration des stimuli RE. Les AT ont regardé significativement plus longtemps la région de la bouche (51 %) et celle des mouvements mécaniques (33 %) du robot avec un faible taux de fixation sur la région des yeux (12 %) et du BG (4 %) (Bonferroni : $p < 0,01$)

Dans le groupe des EDT, le taux de fixation sur la région des yeux des stimuli VE s'est révélé supérieur (54 %) à ceux recueillis sur la région de la bouche (18 %), du nez (19 %) et de la face (9 %) (Bonferroni : $p < 0,01$). Cet intérêt accru pour la région des yeux n'a pas été retrouvé lors de l'exploration des stimuli RE. Comme les adolescents typiques, les enfants typiques ont porté plus d'attention sur la région de la bouche (44 %) et celle des mouvements mécaniques (33 %) du robot avec une faible attention sur la région des yeux (15 %) et du BG (7 %) (Bonferroni : $p < 0,01$).

La comparaison intergroupe sur les taux de fixation recueillis sur la région de la bouche humaine, montre que les adolescents typiques l'ont regardé plus longtemps (38 %) comparé aux enfants typiques (18 %) et aux adolescents TSA (29 %) (Bonferroni : $p < 0,01$) qui ont eux-mêmes regardé plus longtemps la région des yeux (EDT : 54 %, TSA : 49 %). (Bonferroni : $p < 0,01$). Pour les stimuli RE, les résultats montrent que les hauts taux de fixation recueillis chez les deux groupes typiques sur la région de la bouche (AT : 51 %, EDT : 44 %) sont significativement supérieurs au taux des TSA (bouche : 16 %) qui eux-mêmes ont regardé significativement plus longtemps la région des MM (TSA : 58 %, EDT : 33 %, AT : 33 %) (Bonferroni : $p < 0,01$). La comparaison intragroupe chez les TSA concernant les stimuli VE, a mis en évidence une exploration proche du groupe des EDT, avec des taux de fixation qui ne se différencient pas selon les régions d'intérêt (bouche : 29 %, yeux : 49 %, nez : 14 % et face : 8 %). Pour les stimuli RE, les TSA ont obtenu un taux de fixation significativement plus élevé pour la région des mouvements mécaniques (58 %) que celle de la bouche (16 %) des yeux (19 %) et du BG (8 %) (Bonferroni : $p < 0,0001$).

DISCUSSION

À travers notre plateforme combinant la méthode du *eye-tracking* avec la procédure du morphing nous avons pu examiner l'exploration visuelle des trois catégories de stimuli dynamiques chez nos trois groupes de participants. Les résultats de cette étude nous ont permis de constater que l'exploration visuelle des sujets TSA concernant les objets fonctionnels ne différait pas de celle des sujets typiques.

Par ailleurs, l'utilisation d'un stimulus robotique conçue de façon à présenter des expressions faciales prototypiques à travers des éléments mécaniques, nous a permis de comparer les régions d'intérêt des visages humains à celles des artefacts possédant des propriétés structurales similaires. Contrairement à notre

attente, les résultats de cette comparaison ont révélé que l'exploration visuelle des stimuli émotionnels humains chez les sujets TSA ne différait pas de celle des sujets typiques. Les sujets TSA ont orienté leur regard vers les composantes émotionnelles centrales des visages humains autant que les sujets typiques avec un taux moins élevé de fixation sur les régions non émotionnelles (nez, joue, front). À première vue, ce résultat semble être en contradiction avec la conclusion précédente montrant un faible taux d'intérêt pour les yeux et bouche chez les personnes TSA (Klin *et al.*, 2002 ; Pelphrey *et al.*, 2002 ; Speer *et al.*, 2007). Cependant, deux paramètres expérimentaux sont à prendre en compte dans notre étude : 1. l'utilisation de la procédure de *morphing* induisant le mouvement et 2. la présentation isolée des stimuli. Ces deux paramètres qui diffèrent des autres études ont sans doute réduit le biais attentionnel lié au contexte. En effet, nous savons que le mouvement guide l'attention visuelle et que l'absence d'éléments distracteurs dans le contexte favorise le focus attentionnel. Rappelons que l'objet de notre étude était de mesurer les processus de traitement perceptif des deux catégories de stimuli, en optimisant l'attention visuelle de nos participants TSA. Il se pourrait que la présentation dynamique des stimuli isolés ait induit des temps de fixation plus longs sur les parties locales des éléments constitutifs du visage en mouvement. Ce qui est intéressant, c'est que la durée de fixations sur les régions d'intérêt affectif du visage n'a pas généré de bonne performance chez les sujets TSA. Un tel décalage entre le temps de fixation et la performance semble cohérent avec les résultats des recherches qui suggèrent l'utilisation d'une stratégie de traitement local plutôt qu'un traitement holistique chez les personnes TSA (Deruelle & Rondan, 2004 ; Joseph & Tanaka, 2003 ; Lahaie *et al.*, 2006 ; Teunisse & de Gelder 2003).

Dans notre étude, nous avons comparé le traitement des patterns émotionnels exprimés par des visages humains et robotiques. La principale différence entre les deux types de stimuli est que les caractéristiques émotionnelles de base sont les seuls éléments mobiles dans les visages humains tandis que pour les schémas robotiques, les régions mécaniques font également partie des éléments mobiles. Étonnamment, les résultats suivent cette analyse : Contrairement aux groupes typiques qui se sont concentrés sur les mêmes régions des composantes émotionnelles centrales pour les deux types de stimulus, les sujets du groupe TSA ont considérablement réduit leurs fixations sur les régions des composantes émotionnelles centrales lors de l'exploration du stimulus robotique. Ils ont distribué leurs fixations entre les deux sources du mouvement du robot : les yeux et la bouche d'une part, et les points mécaniques des mouvements d'autre part.

Comme nous l'avions prédit, cette distribution de fixation n'a pas été retrouvée chez les sujets typiques. L'exploration des sujets TSA a visiblement été guidée par d'autres sources de stimulation provenant des éléments mécaniques du robot. Ce résultat paradoxal conduit à s'interroger sur le processus de capture des signaux émotionnels. De nombreuses études ont montré avec les ERP que le cerveau des adultes typiques capturait directement le signal émotionnel sur les visages autour de 100 ms (P1), bien avant la reconnaissance du visage (N170)

(Batty & Taylor, 2003 ; Bentin *et al.*, 1996 ; Pizzagalli *et al.*, 1999 ; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Nous savons également que le cerveau adulte typique répond similairement, au niveau de la P1, aux schémas émotionnels de visages humains que robotiques, même si les deux types de stimuli sont traités différemment sur le plan visuel (Chammat *et al.*, 2010 ; Dubal *et al.*, 2010). Ainsi, il est suggéré que le signal émotionnel est capturé en tant que tel, indépendamment de son support visuel (un visage ou autre). Les anomalies de fonctionnement du cerveau qui empêchent la capture précoce des signaux émotionnels (Batty *et al.*, 2011 ; Wong *et al.*, 2008) peuvent expliquer la faible performance des sujets TSA pour les visages émotionnels, malgré le temps qu'ils auraient passé à regarder les parties du visage censées leur permettre de reconnaître les émotions. Il semblerait donc que le signal émotionnel ne soit pas une source d'attention privilégiée, comparé à celui du mouvement chez nos sujets TSA.

RÉFÉRENCES

- American Psychiatric Association (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-IV-TR (4th ed.)*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- Ashwin, C., Chapman, E., Colle, L., & Baron-Cohen, S. (2006). Impaired recognition of negative basic emotions in autism: a test of the amygdala theory. *Social Neuroscience*, 1(3-4), 349-363.
- Atkinson, A. P. (2009). Impaired recognition of emotions from body movements is associated with elevated motion coherence thresholds in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47, 3023-3302.
- Back, E., Ropar, D., & Mitchell, P. (2007). Do the eyes have it? Inferring mental states from animated faces in autism. *Child Development*, 78, 397-411.
- Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently: visual processing in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(6), 258-264.
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, 17, 613-620.
- Batty, M., Meaux, E., Wittemeyer, K., Rogé, B., Taylor, M. (2011). Early processing of emotional faces in children with autism: An event-related potential study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109, 430-444.
- Bal, E., Harden, E., Lamb, D., Van Hecke, A. V., Denver, J. W., & Porges, S. W. (2010). Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: relations to eye gaze and autonomic state. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(3), 358-370.
- Bentin, S., McCarthy, G., Perez, E., Puce, A., & Allison, T. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Cognitive Brain Research*, 8, 551-565.
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14, 151-157.
- Brun, P., Nadel, J., & Mattlinger, M.J. (1998). L'hypothèse émotionnelle dans l'autisme. *Psychologie française*, 43(2), 147-156.

- Castelli, F. (2005). Understanding emotions from standardized facial expressions in autism and normal development. *Autism*, 9, 428-449.
- Centelles, L., Assaiante, C., Etchegoyhen, K., Bouvard, M., & Schmitz, C. (2012). From Action to Interaction: Exploring the Contribution of Body Motion Cues to Social Understanding in Typical Development and in Autism Spectrum Disorders, *Journal of Autism and Developmental Disorder*, DOI 10.1007/s10803-012-1655-0.
- Chaminade, T., Franklin, D.W., Oztop, E., & Cheng, G. (2005). Motor interference between humans and humanoid robots: effect of biological and artificial motion. *IEEE International Conference on Development and Learning*, 96-101.
- Chammat, M., Foucher, A., Nadel, J., & Dubal, S. (2010). Reading sadness beyond human faces. *Brain Research*, 1348, 95-104.
- Clark, T. F., Winkielman, P., & McIntosh, D.N. (2008). Autism and the Extraction of Emotion From Briefly Presented Facial Expressions: Stumbling at the First Step of Empathy. *Emotion*, 8(6), 803-809.
- Deruelle, C., & Rondan, C. (2004). A look into configural perceptual abilities in children with autism. *Cognition, Brain, Behaviour, Special Issue: Typical and Atypical Development*, 397-408.
- Dubal, S., Foucher, A., Jouvent, R., & Nadel, J. (2010). Human brain spots emotion in non-humanoid robots. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6, 90-97.
- Freitag, C.M., Konrad, C., Haberlen, M., Kleser, C., von Gontard, A., Reith, W., Troje, N.F., & Krick, C. (2008). Perception of biological motion in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 46(5), 1480-1494.
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *Neuroimage*, 35, 1674-1684.
- Gepner, B., Deruelle, C., & Grynfeltt, S., (2001). Motion and emotion: a novel approach to the study of face processing by young autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 37-45.
- Gross, T. (2004). The perception of four basic emotions in human and nonhuman faces by children with autism and other developmental disabilities. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 32, 469-480.
- 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, 290-322.
- Hernandez, N., Metzger, A., Magné, R., Bonnet-Brilhault, F., Roux, S., Barthelemy, C., et al., (2009). Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia*, 47, 1004-1012.
- Herrington, J.D., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S.J., Singh, K.D., Bullmore, E.T., Brammer, M., & Williams, S.C.R. (2007). The role of MT+ V5 during biological motion perception in Asperger Syndrome: an fMRI study. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 1(1), 14-27.
- Howard, M. A., Cowell, P. E., Boucher, J., Broks, P., Mayes, A., Farrant, A., et al. (2000). Convergent neuroanatomical and behavioural evidence of an amygdala hypothesis of autism. *Neuroreport*, 11, 2931-2935.
- Hubert, B., Wicker, B., Moore, D.G., Monfardini, E., Duverger, H., Da Fonséca, D., & Deruelle, C. (2007). Brief report: recognition of emotional and non-emotional

- biological motion in individuals with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(7), 1386-1392.
- Jemel, B., Mottron, L., & Dawson, M., (2006). Impaired face processing in autism: fact or artifact? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36, 91-106.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics*, 14, 201-211.
- Klin, A. & Jones, W. (2008). Altered face scanning and impaired recognition of biological motion in a 15-month-old infant with autism. *Developmental Science*, 11, 40-46.
- Joseph, R. M., & Tanaka, J. (2003). Holistic and part-based face recognition in children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44, 529-542.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch. Gen. Psychiatry*, 59, 809-816.
- Klin, A., Lin, D. J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, 459 (7244), 257-261.
- Koldewyn, K., Whitney, D., Rivera, S.M. (2011). Neural correlates of coherent and biological motion perception in autism. *Developmental Science*, 14(5), 1075-1088.
- Lahaie, A., Mottron, L., Arguin, M., Berthiaume, C., Jemel, B., & Saumier, D. (2006). Face perception in high-functioning autistic adults: Evidence for superior processing of face parts, not for a configural face processing deficit. *Neuropsychology*, 20, 30-41.
- McAler, P., Kay, J. W., Pollick, F. E., & Rutherford, M. D. (2011). Intention Perception in High Functioning People with Autism Spectrum Disorders Using Animacy Displays Derived from Human Actions. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41, 1053-1063.
- Monk, C., Weng, S. J., Wiggins, J. L., Kurapati, N., Louro, H., Melisa Carrasco, M., Maslowsky, J., Risi, S., & Lord, C. (2010). Neural circuitry of emotional face processing in autism spectrum disorders. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 35, 105-114.
- Moore, D. G., Hobson, R., & Lee, A. (1997). Components of person perception: An investigation with autistic, non-autistic retarded and typically developing children and adolescents. *British Journal of Developmental Psychology*, 15, 401-423.
- Murphy, P., Brady, N., Fitzgerald, M., & Troje, N.F. (2009). No evidence for impaired perception of biological motion in adults with autistic spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47(14), 3225-3235.
- Nackaerts, E., Wagemans, J., Helsen, W., Swinnen, S.P., Wenderoth, N., & Alaerts, K. (2012). Recognizing Biological Motion and Emotions from Point-Light Displays in Autism Spectrum Disorders. *PlosOne*, 7(9), e44473.
- Nadel, J., Simon, M., Soussignan, R., Canet, P. Canamero, L., & Gaussier, P. (2006). Human emotional responses to an expressive robot. *Proceedings of the International Conference of Epigenetic Robotics*, 79-86.
- Neumann, D., Spezio, M. L., Piven, J., & Adolphs, R. (2006). Looking you in the mouth: abnormal gaze in autism resulting from impaired top-down modulation of visual attention. *SCAN*, 1,194-202.

- Oberman, L.M., McCleery, J.P., Ramachandran, V.S., & Pineda, J.A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*, 70, 2194-2203.
- Organisation Mondiale de la Santé (1993). *Classification Internationale des Maladies et des problèmes de santé connexes*, 10, Masson.
- Oster, H. (2005). The repertoire of infant facial expressions ; An ontogenetic perspective. In J. Nadel & D. Muir (Eds), *Emotional Development* (261-292). Oxford : Oxford University Press.
- Parron, C., Da Fonseca, D., Santos, A., Moore, D.G., Monfardini, E., et al. (2008). Recognition of biological motion in children with autistic spectrum disorders. *Autism*, 12, 261-274.
- Pelphrey, K., Sasson, N., Reznick, S., Paul, G., Goldman, B., & Piven, J. (2002). Visual scanning of faces in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 249-261.
- Pelphrey, K. A., Morris, J. P., & McCarthy, G. (2005). Neural basis of eye gaze processing deficits in autism. *Brain*, 128(5), 1038-1048.
- Pelphrey, K., Morris, J., McCarthy, G., & LaBar, K. (2007). Perception of dynamic changes in facial affect and identity in autism. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2, 140-149.
- Pierce, K., Conant, K., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Archives of General Psychiatry*, 68, 101-109.
- Pinkham, A. E., Hopfinger, J. B., Pelphrey, K. A., Piven, J., & Penn, D. L. (2008). Neural bases for impaired social cognition in schizophrenia and autism spectrum disorders. *Schizophrenia Research*, 99(1-3), 164-175.
- Pizzagalli, D., Regard, M., & Lehmann, D. (1999). Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study. *Neuroreport*, 10, 2691-2698.
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. (1998). *Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary scales*. Section 2: The coloured progressive matrices. San Antonio TX: Harcourt Assessment.
- Redcay, E. (2008). The superior temporal sulcus performs a common function for social and speech perception: implications for the emergence of autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(1), 123-142.
- Rutherford, M., & Towns, A. (2008). Scan path differences and similarities during emotion perception in those with and without autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 1371-1381.
- Sasson, N., Turner-Brown, L., Holtzclaw, T., Lam, K., & Bodfish, J. (2008). Children with autism demonstrate circumscribed attention during passive viewing of complex social and non social picture arrays. *Autism Research*, 1, 31-42.
- Speer, L., Cook, A., McMahon, W. & Clark, E. (2007). Face processing in children with autism: effects of stimulus contents and type. *Autism*, 11, 265-277.
- Spezio, M. L., Adolphs, R., Hurley, R. S., & Piven, J. (2007). Analysis of face gaze in autism using "Bubbles". *Neuropsychologia*, 45, 144-151.
- Tardif, C., Lainé, F., Rodriguez, M., & Gepner, B. (2007). Slowing down facial movements and vocal sounds enhances facial expression recognition and

- facial-vocal imitation in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1469-1484.
- Teunisse, J.-P., & de Gelder, B. (2003). Face processing in adolescents with autistic disorder: The inversion and composite effects. *Brain and Cognition*, 52, 285-294.
- Uono, S., Sato, W., & Toichi, M. (2010). Brief report: representational momentum for dynamical facial expressions in pervasive developmental disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40, 371-377.
- Van der Geest, J., Kemner, C., Camfferman, G., Verbaten, M., & van Engeland, H. (2002). Looking at images with human figures: comparison between autistic and normal children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 69-75.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature neuroscience*, 6, 624-631.
- Wallace, S., Coleman, M., & Bailey, A. (2008). Face and object processing in autism spectrum disorders. *Autism Research*, 1, 43-51.
- Wong, T., Fung, P., Chua, S., & McAlonan, G. (2008). Abnormal spatiotemporal processing of emotional facial expressions in childhood autism: dipole source analysis of event-related potentials. *European Journal of Neuroscience*, 28, 407-416.
- Zilbovicius, M., Meresse, I., Chabane, N., Brunelle, F., Samson, Y., & Boddaert, N. (2006). Autism, the superior temporal sulcus and social perception. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 359-366.