

**THESE DE DOCTORAT DE  
L'UNIVERSITE PARIS VIII- VINCENNES/ SAINT-DENIS**

Spécialité : Psychologie Cognitive

École doctorale 'Cognition, Langage, Interaction'

Équipe CHArt - Cognition Humaine et Artificielle

---

**Exploration des particularités visuelles dans l'autisme à  
partir de stimuli « morphés »**

Etudes comportementales

---

Présenté publiquement le 28/11/2013 par

**Bora HAN**

**Composition de Jury :**

Dr. Christine Deruelle, Université Aix Marseilles, Marseille.....Rapporteur  
Pr. Patrick Chambres, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II. ....Rapporteur  
Dr. Bruno Gepner, Université de Provence, Aix-en-Provence.....Examineur  
Dr. Ouriel Grynspan, Université Pierre et Marie Curie, Paris.....Examineur  
Pr. Thierry Baccino, Université Paris 8, EA 4004-CHArt, Saint-Denis.....Examineur  
Dr. Jacqueline Nadel, CNRS USR 3246, Centre Emotion, Paris.....Directrice  
Pr. Charles Tijus, Université Paris 8, EA 4004-CHArt, Saint-Denis.....Directeur

## Résumé

La thèse porte sur les particularités visuelles décrites dans les Troubles du Spectre Autistique (TSA) en se focalisant sur la question de savoir si ces particularités concernent tous les types de stimuli ou se limitent 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 et des objets en élargissant aux objets la technique du morphing, nous avons tout d'abord réalisé une banque de données de stimuli '*morphés*' (<http://www.lutin-userlab.fr/FOT/>), puis validé le dispositif sur une population normative de 72 participants répartis en deux groupes d'enfants de 7 à 12 ans et un groupe de jeunes adultes.

En fonction des résultats de la première étude montrant à la fois l'impact de la vitesse de présentation sur les performances et la similitude de performance pour les objets et les expressions émotionnelles, nous avons ajusté notre dispositif à une population de 12 jeunes avec TSA de bas niveau cognitif mais sélectionnés pour leur compréhension de la tâche sur la base d'apprentissages hiérarchiques. Nous avons choisi une telle population d'étude de façon à mieux cerner les caractéristiques perceptives de bas niveau qui ne soit pas trop influencées par des compensations cognitives comme celles que nous ont montré nos quelques participants de haut niveau. La comparaison avec la population normative s'est réalisée sur la base d'un double appariement : un appariement de 12 enfants sur l'âge de développement mesuré par les scores des deux groupes aux matrices de Raven, et un appariement de 12 jeunes sur l'âge chronologique, de façon à tester l'intervention des capacités sociocognitives de plus haut niveau dans la population typique. Les résultats de notre deuxième étude montrent une performance similaire à celle du groupe typique concernant le changement d'état des objets contrastant

avec une performance significativement inférieure concernant les changements d'état expressif des visages. La différence s'exprime aussi en comparaison intra-individuelle : les jeunes avec TSA ont des scores significativement meilleurs pour la reconnaissance de changement d'état des objets que pour celle des visages, tandis que les populations typiques, comme dans l'étude 1, présentent des scores similaires pour les deux types de stimuli.

Une troisième étude a porté sur 35 participants auxquels a été présentée la même tâche de stimuli morphés de visages et d'objets, mais cette fois associée à l'étude de l'exploration visuelle par la méthode de l'eye-tracking. Nous avons ajouté aux deux catégories antérieures de stimuli une troisième catégorie intermédiaire entre le mouvement biologique et le mouvement physique : un assemblage robotique répliquant les caractéristiques principales des signaux émotionnels tels que décrits par le FACS (Facial Action Coding System d'Ekman & Friesen). Cette catégorie nous permettait de comparer l'exploration des régions d'intérêt pour les expressions émotionnelles (oeil, bouche) du robot et de l'humain et de comparer pour le robot les régions d'intérêt émotionnelles et les régions d'intérêt liées au mouvement mécanique. Les résultats montrent une exploration similaire des régions d'intérêt émotionnelles pour l'humain mais une exploration inférieure des régions d'intérêt émotionnelles pour le robot. En effet le groupe des participants avec TSA explore autant les régions d'intérêt émotionnelles que les régions d'intérêt mécaniques tandis que les groupes typiques restent centrés sur les régions d'intérêt émotionnelles chez le robot.

Mis ensemble, ces éléments sont discutés par rapport au modèle du dysfonctionnement de l'amygdale et convergent avec des résultats d'étude en IRM fonctionnelle qui montrent des activations intactes des aires visuelles traitant le mouvement et un dysfonctionnement de l'amygdale traitant de façon précoce les signaux émotionnels.

## Remerciements

Mes premiers remerciements vont à mes deux directeurs de recherche respectifs auprès desquels j'ai pu apprendre à observer et à grandir en tant que chercheur.

Je remercie Charles Tijus, d'avoir guidé mes premiers pas dans le milieu scientifique en me donnant la possibilité de travailler sur ce thème de recherche. Votre sensibilité à la recherche et vos méthodes innovantes m'ont permis de réaliser pleinement mes idées. Je vous remercie pour votre implication, votre confiance et vos encouragements.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mon amitié à Jacqueline Nadel pour ses qualités de chercheuse et de formatrice. Je vous remercie pour les savoirs que vous m'avez transmis. Les mots sont insuffisants pour témoigner ma gratitude envers tout le soutien et la bienveillance que vous m'avez accordé depuis le début de cette aventure. Je vous remercie de tout cœur pour la qualité de cette relation qui j'espère continuera à s'enrichir.

Je remercie chaleureusement la Fondation Orange pour le financement qu'elle m'a accordé pendant 2 ans et 6 mois. Cette subvention m'a permis d'investir pleinement ce travail tout en bénéficiant d'un confort financier.

Je remercie les membres du jury qui ont accepté d'expertiser ce travail. Cela représente pour moi un honneur et j'espère que la lecture de ce manuscrit vous sera agréable.

Je remercie l'équipe de la Maison pour les personnes autistes d'Eure et Loire et l'équipe d'Alphée pour sa collaboration. Merci aux adolescents autistes et à tous les participants qui ont accepté de passer mes expériences.

Merci à l'équipe de CHArt/Lutin, collègues et amis, pour son soutien humain, technique et méthodologique. En particulier à Hamid Bessaa et à Daniel Hromada pour leur soutien technique au cours de la conception et la mise en ligne de la FOT-DB, à Florent Levillain, pour la programmation du matériel, à Sebastien Poitrenaud pour la conception du dispositif iPad, et à Geoffrey Tissier pour la restauration et la récupération des données oculométriques, à Simon Carrignon, Marco Pedrotti, Simone Benedetto et Zaka Iklef pour les nombreux conseils et échanges.

Je remercie Roland Jouvent et l'équipe du Centre Emotion pour son accueil chaleureux. Merci à Perez Diaz pour ses précieux conseils en statistique.

Un grand merci à Benjamin, à Sandrine, à Sue, Gi et à Yohan qui ont toujours été très présents à tous moments et qui ont su me redonner du courage et de l'espoir pendant ces 4 années.

Et enfin je remercie mes parents pour leur soutien affectif et moral tout puissant et pour l'estime et la fierté qu'ils portent en moi.



## ***Avant-Propos***

*Une feuille de papier qui s'envole à cause du vent subit un changement d'état qui n'est pas intentionnel, contrairement à la feuille coupée par des ciseaux. Dans ce dernier cas, le changement d'état des ciseaux qui coupent et celui de la feuille qui est coupée ne sont pas de même nature : les ciseaux agissent sur la feuille. En outre, s'il y a bien une intention que la feuille soit coupée, cette intention n'est ni celle du papier, ni celle des ciseaux, mais celle de la personne qui utilise les ciseaux comme un outil avec la main. Dans tous ces exemples, l'origine du changement d'état, sa cause, est externe. Lorsqu'un visage se transforme sous l'effet d'une émotion, l'origine est ici interne. Parmi ces aspects, le type de changement d'état, sa dynamique et l'expérience, sont probablement des facteurs dont on peut comparer les effets auprès d'adultes, d'enfants, et auprès de personnes avec autisme pour mettre en évidence d'éventuels traitements atypiques.*



## Table des matières

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE.....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre 1 : Perception visuelle des objets et des visages émotionnels.....</b>	<b>18</b>
1. Généralités de la perception visuelle .....	18
a) Ségrégation visuelle .....	19
b) Structure relationnelle des propriétés d'objets.....	20
c) Le rôle de l'action dans la perception du mouvement .....	22
d) Le rôle du mouvement dans la perception des expressions faciales émotionnelles	25
e) Le mode de présentation : statique vs. dynamique.....	26
2. Conclusion .....	29
<b>Chapitre 2 : Les Troubles du Spectre Autistiques et les particularités visuelles.....</b>	<b>30</b>
1. Description brève des TSA .....	30
2. Les particularités visuelles dans les TSA.....	33
a) Perception visuelle des expressions faciales émotionnelles.....	33
b) Perception visuelle des objets .....	41
c) Perception visuelle du mouvement .....	43
3. Les modèles théoriques des particularités visuelles autistiques.....	49
a) Modèles du dysfonctionnement de l'amygdale.....	49
b) Théorie de la malvoyance du mouvement rapide .....	52
c) Modèles du dysfonctionnement du traitement perceptif.....	53
4. Conclusion .....	55
<b>Chapitre 3 : Perception visuelle des changements dynamiques d'état, une nouvelle méthode de comparaison.....</b>	<b>57</b>
1. Proposition d'une nouvelle méthode de comparaison .....	57
a) Le changement dynamique d'état : principe de base .....	57
b) Le Morphing : principe de base .....	59
2. Développement de la base de données FOT .....	60

a) Description de la base de données de photographies (FOT-PDB).....	60
b) Description de la base de données de vidéo-morphing (FOT-VMDB) .....	65
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE .....</b>	<b>69</b>
<b>Chapitre 4 : Perception visuelle du changement dynamique d'état de visages émotionnels et d'objets : une étude développementale.....</b>	<b>70</b>
1. Contexte .....	70
2. Méthode .....	70
a) Participants .....	70
b) Matériel .....	70
c) Procédure.....	72
d) Plan expérimental.....	72
e) Prédications .....	73
3. Résultats .....	75
a) Réussite .....	75
b) Temps de réponse .....	80
c) Corrélation entre réussite et Temps de réponse .....	83
4. Discussion .....	84
<b>Chapitre 5 : Étude de la perception visuelle des changements dynamiques d'états chez les adolescents TSA de bas niveau de fonctionnement .....</b>	<b>88</b>
1. Contexte .....	88
2. Méthode .....	88
a) Ajustement de l'étude aux spécificités des TSA de bas niveau cognitif.....	88
b) Test dynamique de morphing .....	93
3. Résultats .....	96
a) Comparaison TSA vs. EDT.....	98
b) Comparaison TSA vs. AT .....	101
4. Discussion .....	105

<b>Chapitre 6 : Étude comparative des comportements oculaires lors de la perception des changements d'états d'objet fonctionnel, de visage émotionnel humain et robotique chez les adolescents TSA de bas niveau cognitif.....</b>	<b>109</b>
1. Contexte .....	109
2. Méthode .....	110
a) Participants .....	110
b) Stimuli .....	111
c) Procédure.....	112
d) Acquisition des données oculométriques.....	112
e) Plan expérimental et prédictions .....	113
3. Résultats .....	115
a) Performance.....	115
b) Comportement oculaire .....	118
4. Discussion .....	124
<b>PARTIE DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>129</b>
<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>138</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>140</b>
<b>Productions scientifiques (Articles, Communications orales &amp; affichées) ...</b>	<b>163</b>
<b>Index des abréviations .....</b>	<b>164</b>
<b>Index des figures.....</b>	<b>165</b>
<b>Index des tableaux.....</b>	<b>167</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>169</b>



*« Tout changement est une succession d'états, le changement interne est le changement de la chose, le changement d'état externe une relation modifiée ».*

*- Braumgarten, 1771 -*

# *INTRODUCTION*

Imaginons percevoir un objet inanimé produire des mouvements spontanés et changer d'état comme le fait un visage humain. La représentation mentale d'une telle scène n'est en fait pas aisée puisque, contrairement aux visages, nous ne possédons pas l'expérience perceptivo-motrice d'un changement d'état dynamique propre aux objets. Par conséquent, la perception réelle d'un changement d'état d'objet confronterait notre système perceptif à une situation inhabituelle. Situation où l'objet, un corps étranger, se met à changer d'état de manière autonome en violant les lois de la physique. En dépit de cette incongruité émanant de la scène, le système perceptif traite malgré tout le phénomène perçu en reconnaissant l'objet et les états successifs de son changement. Ceci pose un double problème d'ordre perceptif et représentationnel puisque la reconnaissance d'une forme ou d'un objet est habituellement statique. D'autre part, dans notre système de représentation des connaissances, les objets, en particulier les artéfacts, ne possèdent pas les propriétés intrinsèques nécessaires pour changer d'état spontanément. Or, pour nous qui sommes des êtres dotés d'intention et d'émotion, ayant pour partie du corps un visage comme support de communication primaire, il n'y a rien de plus habituel que de voir un visage changer d'expression. Dans ce sens, la présentation dynamique devrait théoriquement causer un effet différent sur la perception du changement d'état des objets et des visages.

La distinction entre objet et visage, renvoie elle-même à une distinction ontologique entre objets inanimés et agents animés, qui suscite deux questions centrales dans cette thèse : *Comment se distingue la perception du changement d'état d'un objet de celle d'un visage ? Et en quoi cette distinction peut-elle nous informer sur les particularités perceptives rapportées dans les Troubles du Spectre Autistique (TSA) ?*

Le développement atypique des personnes avec TSA caractérisé par des déficits des interactions sociales, des troubles de la communication et des comportements et intérêts restreints et/ou ritualisés, a suscité un grand nombre de recherches parmi lesquelles certaines se posent la question d'une perception visuelle atypique de l'environnement social. En particulier, les signes précoces de l'autisme tels que les anomalies qualitatives de la réciprocité socio-émotionnelle et les atypicités des conduites d'explorations visuelles, ont conduit certains auteurs à suspecter une altération des mécanismes perceptifs contraignant le traitement visuel des signaux provenant des expressions humaines. Le visage en tant que support primaire de communication émotionnelle et de socialisation a rapidement fait l'objet d'une concentration d'études cherchant à mettre en évidence d'éventuels déficits perceptifs.

Contrastant avec l'absence de consensus des études comportementales sur un éventuel déficit de la perception des expressions émotionnelles faciales dans l'autisme, plusieurs études en neuroimagerie ont pu rapporter des anomalies du fonctionnement cérébral en rapport avec le traitement des visages et des expressions émotionnelles. Toutefois la controverse reste vive concernant le fait de savoir si les particularités sont spécifiques aux stimuli sociaux ou concernent tous les types de stimuli. Selon certains auteurs, les troubles sociaux dans l'autisme pourraient être liés à une déficience spécifique dans le traitement des stimuli socio-émotionnels. Cette altération serait liée en particulier à un manque d'intérêt pour la région des yeux, entraînant un traitement atypique du visage. Une autre position plus récente adoptée par un nombre croissant de chercheurs soutient l'idée selon laquelle les déficits sociocognitifs, y compris la perception atypique du visage, peuvent provenir de particularités perceptives générales du système visuel, non spécifiques des stimuli sociaux et généralisables à d'autres stimuli. Cette particularité perceptive se caractériserait par une sensibilité atypique aux informations dynamiques de bas niveau avec une augmentation des activités perceptives pour les éléments locaux et statiques des scènes visuelles. Cette particularité pourrait être

liée à un dysfonctionnement général du système neuro-intégratif entre les différents niveaux de traitement ou à une anomalie de capture précoce des signaux émotionnels.

Cependant, le traitement perceptif des expressions a rarement été étudié en tenant compte de leur caractère dynamique, et lorsque c'est le cas, il manque une comparaison avec des objets présentant les mêmes paramètres de mouvement. Il a fallu attendre le développement des nouvelles technologies permettant de créer des stimuli dynamiques pour gagner la possibilité 1) de manipuler en situation expérimentale les propriétés physiques (structure et mouvement) et intentionnelles (action et émotion) des stimuli, 2) de neutraliser les propriétés intrinsèques du traitement perceptif (bottom-up et top down), pour en étudier les effets chez les personnes avec TSA. Aussi, le premier objectif de notre recherche a été de mettre en place un dispositif d'étude permettant de présenter des stimuli dont la dynamique est comparable. Le changement d'état engendré par le *morphing* nous est apparu le plus approprié.

Le phénomène de changement d'état a fait l'objet d'un grand nombre de travaux empiriques. De la physique à la métaphysique, des œuvres philosophiques aux travaux de la psychologie expérimentale, nombreux sont ceux qui se sont intéressés à ce phénomène. Aujourd'hui, les sciences cognitives permettent d'aborder ces questions à travers diverses méthodes d'investigation qui tendent toutes vers un intérêt commun : *les mécanismes de couplage de la perception et de l'action*. L'action étant un des éléments majeurs intervenant au sein des boucles sensorimotrices d'un agent, elle intervient dans la genèse perceptive permettant de lever l'ambiguïté de certaines situations visuelles et d'acquérir une plus grande connaissance de l'environnement (Varela et al., 1993). Cependant, malgré la grande connaissance que nous avons de ces mécanismes, ceux impliqués dans la perception du changement dynamique d'état des objets et des agents animés n'en sont pas plus éclairés à ce jour. La question de savoir s'ils sont similaires ou différents pour ces deux types de cible reste également ouverte, en particulier chez les personnes atteintes de troubles du spectre autistique.

Ainsi l'absence de littérature concernant les mécanismes perceptifs des changements dynamiques d'état, nous a conduit à mettre au point une nouvelle méthodologie de travail, en nous référant à la littérature classique de la perception visuelle des objets et des visages émotionnels.

Le survol théorique que nous proposons dans le chapitre 1, permettra au lecteur de mieux comprendre la logique de conception de notre méthodologie de comparaison conçue spécifiquement pour approcher les comportements perceptifs dans les Troubles du Spectre Autistique (TSA). Les spécificités des TSA, les principaux résultats concernant leurs particularités perceptives ainsi que les modèles théoriques qui en rendent compte seront présentés dans le chapitre 2. Le chapitre 3 développera les principes de notre méthodologie de comparaison et la démarche de conception de la banque de données morphées concernant les expressions émotionnelles et les objets (« Facial expression and Object Transformation DataBase », FOT-DB). Enfin, nous présenterons dans les chapitres qui suivent, les trois expériences réalisées au cours de cette thèse. La première expérience ciblée sur une population typique et considérée comme étude normative préalable fera l'objet du chapitre 4, dans lequel seront abordés les aspects généraux des mécanismes liés à la perception visuelle du changement dynamique d'état. Le chapitre 5 est consacré à l'étude comparative de la reconnaissance des changements dynamiques d'état de différents types de stimuli, chez des adolescents/jeunes adultes de bas niveau cognitif avec TSA et deux groupes typiques : des enfants appariés sur l'âge développemental et des adolescents/jeunes adultes. Le chapitre 6 porte sur la reconnaissance des changements associée à l'exploration oculaire via la technique d'eye-tracking chez 3 autres groupes appariés sur les mêmes critères que dans l'étude précédente et avec l'adjonction de stimuli robotiques, intermédiaires entre stimuli morphés humains et stimuli morphés d'objets. En conclusion de cette thèse nous discuterons dans le chapitre 7 des apports théoriques et méthodologiques de ce travail ainsi que de ses limites pour la compréhension des particularités perceptives observées dans les troubles du spectre autistique.

# *PARTIE THÉORIQUE*

# Chapitre 1 : Perception visuelle des objets et des visages émotionnels

## 1. Généralités de la perception visuelle

La perception visuelle est une conduite active, stratégique et sélective, qui est organisée et construite autour des objets et des connaissances que nous avons du monde. L'image perçue par notre appareil perceptif n'est pas une copie exacte du réel, elle est conditionnée par le contexte, les connaissances et les buts à atteindre. Selon Garner (1974), ce monde des objets qui est donné à percevoir, à ressentir et sur lequel on peut agir, s'exprime dans un format particulier. Il s'agit de la physique du monde, qui est organisé en une structure relationnelle entre les propriétés physiques des objets, des règles et des interactions sociales mais surtout des activités finalisées qui s'opèrent sur les relations que nous entretenons entre les objets et nos actions. Les relations entre *action* et *objet* sont des facteurs essentiels dans la compréhension du monde physique statique et dynamique. En effet, elles permettent de comprendre la causalité des événements et les changements d'état au cours des interactions, d'organiser les connaissances de manière à y émettre des interprétations cohérentes.

Dans l'étude de la perception visuelle, nous disposons dans la littérature d'un ensemble de travaux montrant la complexité de ce mécanisme, qui se caractérise par des mécanismes de segmentation et d'intégration (cf. les travaux de David Marr, par exemple). Toutes entités physiques possèdent des propriétés physiques (les attributs : orientation, couleur, forme, taille, luminance) et spatiales (emplacement), qui sont traitées indépendamment par notre système visuel pour former au final ce que nous percevons à travers notre rétine. Pour la plupart des théories de la reconnaissance (cf. les travaux de Anne Treisman), le système visuel recourt à un traitement hiérarchique qui se découpe en deux étapes : la première étape consiste à effectuer un traitement analytique sur la base de l'encodage des caractéristiques locales et la seconde consiste à les mettre en relation en une configuration globale. A savoir qu'au cours du traitement perceptif, l'objet est une

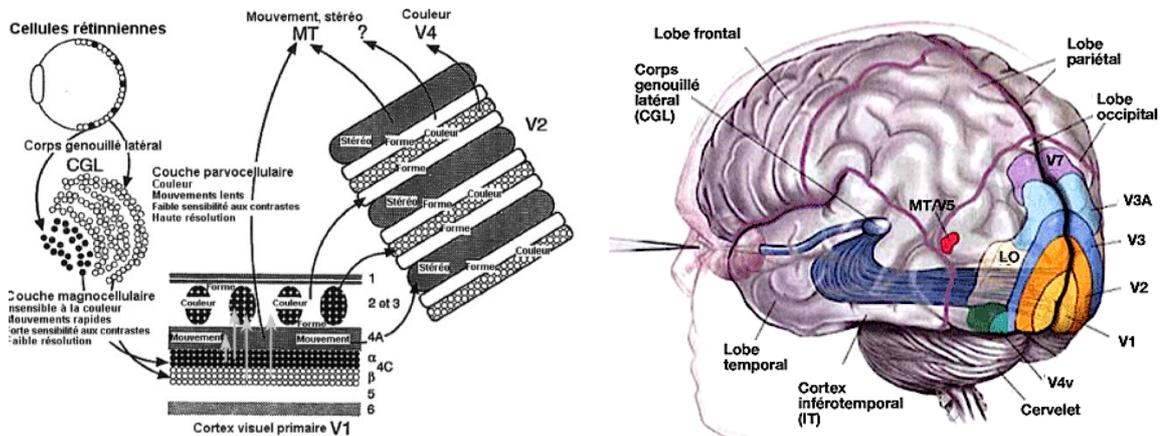
forme dépourvue de signification. L'attribution de signification repose sur l'interprétation des propriétés perceptives par la comparaison de la forme physique aux représentations des objets stockés en mémoire.

### **a) Ségrégation visuelle**

Les propriétés physiques et spatiales des objets sont traitées par des voies visuelles indépendantes (Schneider, 1969; Milner et al., 1995; 2008). Le cortex visuel primaire (V1 : orientation, localisation spatiale, fréquence spatiale) a de nombreuses connexions neuronales reliées au cortex visuel secondaire (V2 : orientation, localisation spatiale, couleur, disparité, contour). La couleur, le mouvement lent, la haute résolution sont codés par les cellules de la fovéa et traités par les cellules parvocellulaires, empruntant la voie ventrale du cortex (V1>V2>V4) impliquée dans le traitement des propriétés sémantiques (Creem & Proffitt, 1999; Milner & Goodale, 1995) des objets (V4: orientation, couleur, forme, combinaison forme couleur). Le mouvement rapide et la luminance sont codés par les cellules de la région périphérique de la rétine et sont traités par les cellules magnocellulaires empruntant la voie dorsale du cortex (V1>V2>MT) impliquées dans le traitement des propriétés spatiales et temporelles des stimuli et dans la reconnaissance de l'action et du mouvement.

La détection du mouvement et des formes en mouvement se fait lorsque les aires V3 et V5 reçoivent des signaux en provenance directe de la couche 4B de l'aire V1 ou par l'intermédiaire des bandes larges de V2. Les neurones des régions V3 et V4 se projettent dans le cortex temporal inférieur (IT) qui peut être défini comme la région où la perception rencontre la mémoire (Miyashita, 1993) (cf. figures 1 et 2). A ce niveau, les cellules répondent à des informations combinées de couleur, de texture, de taille, d'orientation (Tanaka, Saito, Fukada & Moriya, 1991) et à des informations structurées telles que des formes et des objets (Fujita, Tanaka, Ito, & Cheng, 1992). L'identification des composantes ainsi que leur arrangement spatial active les représentations de la forme

et permet d'identifier très rapidement les objets (Biederman, 1987; Marr, 1982; Pentland, 1986).



**Figure 1 :** Cortex visuel primaire et ses différentes couches. **Figure 2 :** Les aires cérébrales visuelles.

### b) Structure relationnelle des propriétés d'objets

L'objet, en tant qu'entité physique, qu'il soit naturel ou fabriqué par l'homme (un artefact) comprend un ensemble de propriétés qui se distinguent de celles des « agents animés ». Cordier et Tijus (2001) distinguent deux types de propriétés d'objet : celles qui sont directement perceptibles (propriétés physiques) et celles qui sont attribuées par les connaissances ou les inférences, dans lesquelles se distinguent d'autres propriétés de type procédurales et fonctionnelles. Les propriétés d'objets sont organisées en relations d'implications et forment des catégories hiérarchisées. À partir de ces propriétés sont distinguées trois grandes catégories d'objets : les objets animés (agents) / objets inanimés, les objets patients / fonctionnels, les objets naturels / artificiels. Cette distinction d'objets renvoie à des propriétés différenciatrices jugées importantes pour le développement cognitif de l'enfant. En psychologie du développement, certains auteurs déclarent que des significations catégorielles se forment progressivement autour du traitement analytique de

propriétés perceptives (Eimas et al., 1994). Il s'agit du niveau de base de la catégorisation où apparaissent des parties communes à tous les objets appartenant à la même catégorie (Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976). C'est le niveau cognitif le plus important dans l'apprentissage car il permet de mettre en relation les propriétés structurelles des objets aux propriétés fonctionnelles qui dépendent du contexte et des buts à atteindre. Les activités inférentielles basées sur la perception d'un objet comme, voir « un oiseau » permet d'inférer qu'il « vole » et savoir qu'un animal « vole » peut aussi permettre d'inférer qu'il « peut avoir des ailes ». Ce mécanisme d'induction basé sur la catégorisation, permet de raisonner, d'inférer et enfin d'appréhender l'objet.

Cordier et Tijus (2001) soulignent cependant que la construction du niveau de base n'est pas seulement sous l'influence des propriétés perceptives. Les propriétés fonctionnelles des objets, fortement corrélées avec les propriétés de forme, influenceraient la construction du niveau de base. Ces propriétés fonctionnelles, qui forment le noyau de la catégorie des artefacts (Barton & Komatsu, 1989; Malt & Johnson, 1992; Schwartz, 1977), ne sont pas liées aux caractéristiques propres de l'objet car elles sont attribuées via les connaissances liées à son utilisation. Les objets fabriqués/fonctionnels sont ainsi uniques par leur structure visuelle qui permet l'action orientée vers un but et aussi par leur identité fonctionnelle spécifique, c'est-à-dire, agir sur d'autres objets, avec une utilisation particulière en mémoire (Bloom, 1996). Bien que les propriétés fonctionnelles des catégories d'objets naturels (végétaux et minéraux) peuvent aussi avoir des propriétés fonctionnelles, la relation entre leurs propriétés fonctionnelles et structurelles est moins liée aux propriétés perceptives, donc moins immédiate (Cordier & Tijus, 2001). Ainsi la reconnaissance des objets naturels serait plus coûteuse car leur traitement reposerait sur des aspects perceptifs complexes qui varient fortement selon le contexte, alors que la reconnaissance des objets s'établirait sur des aspects fonctionnels stables, reliés à une expérience motrice. La relation forme/fonction acquiert alors le saillant psychologique.

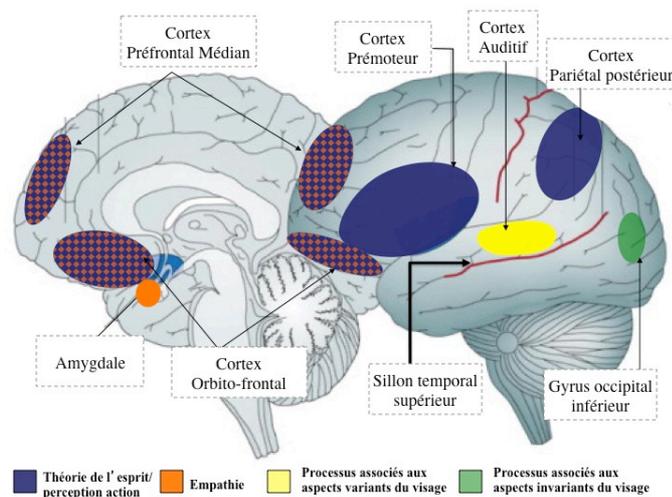
### **c) Le rôle de l'action dans la perception du mouvement**

Les propriétés physiques des objets sont distinguées en deux types : propriété permanente et propriété transitoire, susceptibles de changer d'état à la suite d'un événement ou d'une action effectrice (Le Ny, 1979). Cependant, l'action n'est pas directement observable, elle est perçue à travers le mouvement apparent qui permet de saisir les propriétés cachées de l'action, c'est-à-dire, celles relatives à l'usage des objets. Cette perception de l'action à travers le mouvement apparent des objets nécessite un traitement continu et dynamique du système visuel, permettant de détecter le flux optique et de suivre la dynamique du phénomène perçu.

L'oculomotricité et le système visuel sont responsables de ce traitement et donnent la perception d'une fluidité dans le déplacement d'une cible. Cependant, la perception du mouvement ne peut pas être traitée à partir de l'expérience perceptive seule. Selon le philosophe Merleau-Ponty (1968), la perception phénoménologique doit être comprise non seulement comme un rapport à des objets mais aussi comme un rapport à un espace habité d'une rythmique propre. Ainsi, le mouvement propre d'un corps conjugué à celui des objets aide à mieux percevoir sa forme et sa localisation dans l'espace. Ce rapport objet/corps, décrit par la phénoménologie a également fait l'objet des célèbres travaux de Piaget (1954), accordant une importance fondamentale à l'action (manipulation de l'objet) dans la coordination et le développement sensorimoteur des nourrissons.

Aujourd'hui, l'importance des représentations internes des séquences d'évènements et d'actions est devenue irréfutable grâce à la découverte du système humain des neurones miroirs (hMNS). Cette population de neurones est capable de coder le but de l'action et les aspects temporels des mouvements particuliers qui le composent (Iacoboni & Dapretto, 2006). La seule observation de certains actes permet, par la synchronisation des représentations motrices internes et de l'action observée, de les

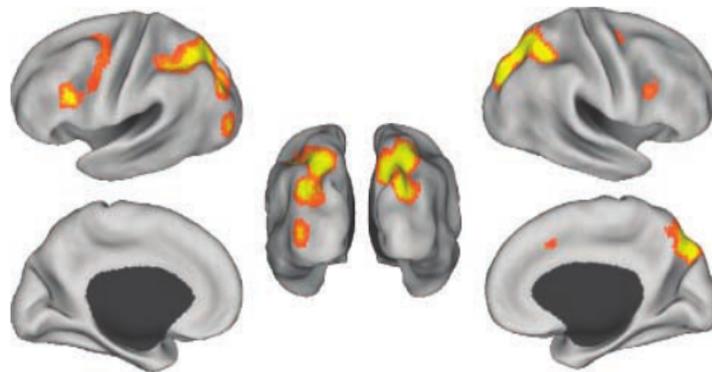
comprendre immédiatement et de les reproduire de manière très fluide, voir même de les anticiper. Cette compréhension immédiate, dite implicite, d'origine pragmatique, est dépendante de deux modalités distinctes : l'information visuelle et la pratique motrice qui intègrent des actions potentielles dans le répertoire moteur, qui elles-mêmes régissent et contrôlent l'exécution des mouvements. Il s'agit là d'un mécanisme de résonance qui permet de reconnaître l'aspect intentionnel des mouvements et d'en comprendre le type d'action. Ainsi, lorsqu'un individu voit son partenaire réaliser un geste, son cerveau « simule » de façon interne l'exécution de cet acte. Il est alors prêt à effectuer cette action si nécessaire, mais elle reste à l'état de « potentialité » dans le cerveau, uniquement si cette dernière est inscrite dans le répertoire moteur de l'observateur (Rizzolatti, 2008). Les aires cérébrales impliquées dans le hMNS sont principalement localisées dans deux grande régions cérébrales interconnectées, le cortex frontal inférieur et le cortex pariétal postérieur. Ce réseau recevrait ses input du sillon temporal supérieur (STS) (cf. figure 3).



**Figure 3 :** Régions cérébrales du cerveau social impliquées dans la compréhension d'autrui.

Dans le domaine de la simulation, on soulignera les études issues de la rotation mentale (Shepard & Metzler, 1971; Vingerhoets et al., 2002; Schendan & Stern, 2007). Celles-ci démontrent l'implication des représentations internes des séquences motrices

lors de la perception d'objets présentés sous des angles différents. Les premières études consistaient à présenter des stimuli tels que des dessins de formes abstraites (Wexler et al., 1998) ou d'objets non saisissables (Olivier & Juan de Mendoza, 2000). Le sujet devait se représenter mentalement la rotation de l'objet et enfin le reconnaître sous un angle différent. Des études plus récentes montrent la capacité des sujets à simuler non seulement un mouvement de déplacement, mais aussi un mouvement manuel d'atteinte (Olivier et al., 2004) impliquant la voie dorsale du cortex durant la perception des objets (Howard et al., 1995 dans Vingerhoets et al., 2002). Les résultats issus de ce paradigme ont donné naissance à l'idée que la perception visuelle peut s'appuyer sur une simulation mentale du geste manuel permettant d'atteindre et de saisir l'objet (Craighero et al., 2003; Rizzolatti et al., 1996, Zack, 2008).



**Figure 4** : Régions du cortex qui s'activent lors d'une tâche de rotation mentale d'après la méta-analyse de Zack (2008). Les régions en jaune indiquent une forte activation.

L'ensemble des résultats nous révèle que la perception d'un objet est suffisante pour activer la voie dorsale du cortex, à condition qu'il soit évocateur d'une action motrice (cf. figure 4). La simulation mentale de cette séquence d'action permet l'activation des aires qui jusqu'à présent n'étaient pas attribuées aux traitements des objets. Ainsi, nous pouvons penser que la simulation d'une action effectuée sur l'objet

(saisie manuelle) peut accompagner non seulement le processus de rotation mentale mais aussi, et plus généralement, la perception visuelle.

#### **d) Le rôle du mouvement dans la perception des expressions faciales émotionnelles**

Ekman (1973) caractérise les émotions par leur mode d'expression : les expressions faciales qui seraient le pivot de la communication entre humain. Savoir lire sur le visage les intentions et les émotions d'autrui facilite les relations sociales et permet l'adaptation des comportements en fonction de l'interprétation de ces mimiques faciales. Dans le cas de cette thèse, nous définirons une émotion comme « créatrice d'un changement d'état » ayant pour qualité substantielle le mouvement. En effet, si les émotions sont des états mentaux observables, c'est parce qu'elles se traduisent par des mouvements musculaires du visage.

Les études utilisant la technique d'électromyographie ont démontré que l'observation des expressions émotionnelles induisait la résonance motrice, se manifestant par des légères contractions inconscientes des muscles faciaux. Et ceci même avant que le visage ne soit perçu consciemment par les sujets (Dimberg, 1982; Dimberg & Thunberg, 1998; Dimberg & Petterson, 2000). Nous rejoignons ici la théorie de la simulation que nous avons évoquée précédemment. Le système miroir humain, impliqué dans la reconnaissance et la compréhension du sens des « événements moteurs » liés aux actions d'autrui, l'est aussi dans la compréhension des états émotionnels de l'autre, c'est-à-dire dans l'empathie (Rizzolatti, 2008). Ce mécanisme de résonance produirait un phénomène de contagion émotionnelle permettant de reconnaître automatiquement l'aspect intentionnel des mouvements faciaux et de comprendre très rapidement le type d'émotion concernée.

Les données récentes issues des études en potentiel évoqué chez des adultes ont permis de mettre en évidence sur le plan cérébral le caractère précoce du traitement du

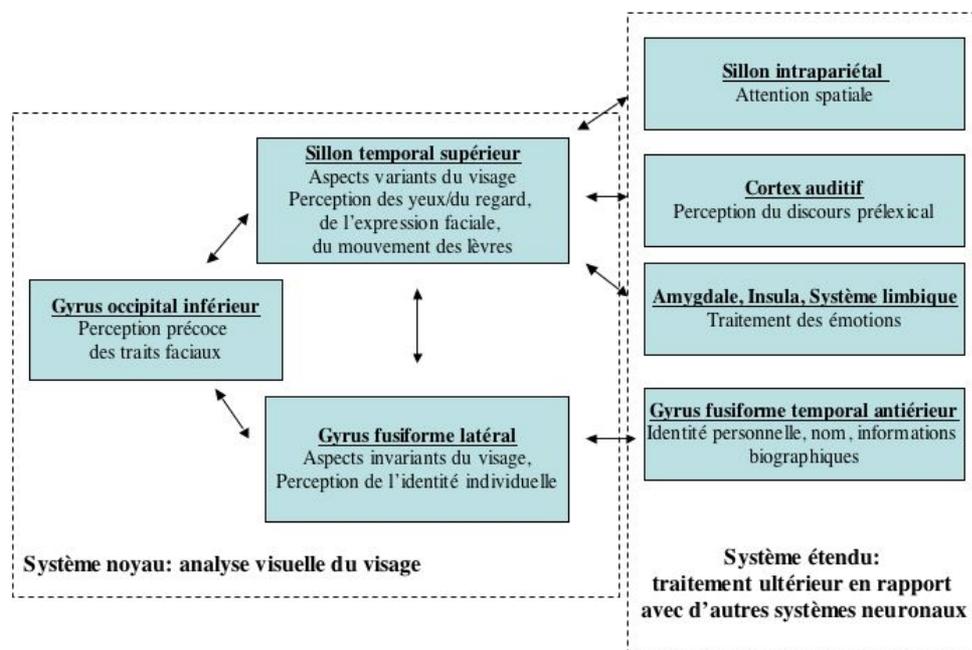
signal émotionnel provenant des visages. Il s'agit de la composante visuelle précoce nommée P1 qui apparaît à moins de 100 ms après la présentation du stimulus. Ce traitement s'opère avant même que le stimulus soit encodé par le cerveau en tant que visage. Ce codage étant reflété par la composante N170 (Bentin, McCarthy, Perez, Puce, & Allison, 1996; Chammat, Foucher, Nadel, & Dubal, 2010; Dubal, Foucher, Jouvent, & Nadel, 2010; Pizzagalli, Regard, & Lehmann, 1999; Pourtois & Vuilleumier, 2007). Cette capture précoce du signal émotionnel et le phénomène de contagion émotionnel semblent participer à la compréhension des émotions à travers la mise en correspondance des mouvements expressifs du visage et de l'expérience intériorisée du phénomène perçu.

#### **e) Le mode de présentation : statique vs. dynamique**

Depuis la découverte de l'organisation anatomo-fonctionnelle du cortex, la perception visuelle a été investie par les neurosciences cognitives. Les données issues de cette investigation fournissent actuellement de nombreux indicateurs sur le traitement des propriétés perceptives des objets et des visages. Cependant très peu d'études mettent en évidence l'aspect dynamique du traitement qu'ils mobilisent car la majorité des matériels expérimentaux sont statiques (Adolphs, 2002; Ekman & Friesen, 1976; Davidson & Irwin, 1999; Ledoux, 1996; Murphy et al., 2003; Phan et al., 2002; Creem-Regehr & Lee, 2005). Or les visages possèdent des propriétés dynamiques (Haxby et al., 2000) que les objets ne possèdent pas. La prise en compte des propriétés appartenant aux stimuli semble être déterminante dans l'identification des voies neuronales impliquées dans leur traitement respectif. D'autant plus que le traitement des informations statiques et dynamiques des objets et des visages mobilise deux voies neuronales distinctes : la voie du « quoi » et du « où » (Schneider, 1967; Milner et al., 1995; 2008).

Selon le modèle d'Haxby et ses collaborateurs (2000), le traitement des visages s'effectuerait sur un réseau neuronal qui se diviserait en deux systèmes : le système noyau qui serait responsable de l'analyse des propriétés perceptives du visage et un système étendu qui serait impliqué dans l'analyse des propriétés cognitives (Haxby,

Hoffman, & Gobbini, 2000). Dans le système noyau, les auteurs distinguent deux sous systèmes de traitement : l'un spécialisé dans l'identification des caractéristiques structurales et invariantes du visage et l'autre dans le traitement des aspects variants du visage (i.e. expressions du regard, expressions émotionnelles, mouvements labiaux). Le gyrus fusiforme recevrait les informations concernant les aspects invariants du visage et le STS les informations des aspects variants, ce dernier étant modulée par l'amygdale, l'insula et le système limbique pour les aspects émotionnels (Haxby et al., 2000; Gobbini & Haxby, 2007) (cf. figure 5).



**Figure 5** : Modèle du système neuronal distribué de la perception des visages chez l'être humain proposé par Haxby et al. (2000).

En effet, de nombreuses études montrent que le STS est impliqué dans le traitement du mouvement biologique corporel et facial. Des études d'imagerie cérébrale menées en Tomographie par Emission de Positron (TEP) et d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelles (IRMf) montrent le rôle positif du mouvement dans la

reconnaissance des expressions faciales émotionnelles (Buccino et al., 2001; Kilts et al., 2003; LaBar et al., 2003; Sato et al., 2004). Selon ces études, la présentation dynamique des visages émotionnels augmente l'activité de certaines régions comme l'amygdale, le sillon temporal supérieur, MT+/V5, des régions de la voie dorsale du cortex. Une présentation dynamique est plus réaliste et plus proche d'une situation d'interactions sociales qu'une présentation statique et facilite ainsi la reconnaissance des émotions (Bassili, 1979; Kamachi et al., 2001; Trautmann et al., 2009).

Pour le traitement des objets, on sait actuellement que la perception des objets statiques est accompagnée d'une activation d'un réseau de neurones distribué qui se projette sur le cortex occipital et temporal, des régions impliquées dans l'intégration des informations visuelles locales et la manipulation des propriétés visuelles (Wandell et al., 2007) ainsi que sur la partie antérieure du gyrus fusiforme, une autre région impliquée dans le traitement des objets (Grill-Spector, 2003) et des relations spatiales (Epstein & Janwisher, 1998). L'activation du cortex préfrontal est impliquée dans le contrôle cognitif durant le traitement des objets (catégorisation, planification) (Petrides, 2005), et le raisonnement spatial (Just et al., 2007) ainsi que l'activation du cortex pariétal supérieur est impliquée dans l'attention visuospatiale (Corbetta et al., 1993; Nobre et al., 1997) et la manipulation de l'information en mémoire de travail (Cabeza, 2008).

Dans le domaine de la perception des objets en mouvement, la plupart des études portent sur la perception d'un déplacement (voir Heider & Simmel, 1944; Leslie, 1995; Spelke, 1988; Premack, 1990), d'une translation ou d'une rotation (Shepard & Metzler, 1971; Wexler et al., 1998). Celles-ci n'impliquent pas de modifications des propriétés de structure équivalant au changement d'état des visages. Nous n'avons pas trouvé d'étude abordant la perception du changement d'état propre à l'objet, ce qui rend impossible la comparaison précise avec les changements d'état des visages. Cependant on sait que la perception des objets fonctionnels (i.e. les outils) active un réseau distribué des régions ventrales et latérales des cortex postérieur et temporal (Martin et al., 2000; Chao et al.,

1999; Chao et al., 2000). En particulier, le cortex prémoteur ventral gauche réagit de manière sélective à des images d'outils (Chao et al., 2000), ainsi qu'à la simulation mentale du mouvement manuel (Decety et al., 1997; Grafton et al., 1996; Stephan et al., 1995). Ces données suggèrent que l'activation du cortex prémoteur ventral peut être liée à la récupération d'informations sur les mouvements associés à l'utilisation d'objets manipulables fabriqués par l'homme.

## **2. Conclusion**

Il est difficile de confronter les connaissances concernant le traitement des visages dans leur aspect variant et celui du mouvement non variant des objets. À notre connaissance, une approche comparative des visages émotionnels et des objets dans un paradigme de changement dynamique d'état impliquant la perception du mouvement, n'a pas fait l'objet d'études approfondies. Le point de vue que nous proposons dans cette thèse est qu'il y a des types différents de changement d'état et que leur traitement fait appel à des mécanismes distincts dans leurs aspects perceptuels et représentationnels. Ces différents types de changement d'état pourraient nous informer plus avant sur les particularités perceptives dans l'autisme et sur les mécanismes généraux de perception visuelle dynamique.

## **Chapitre 2 : Les Troubles du Spectre Autistiques et les particularités visuelles**

### **1. Description brève des TSA**

Les « troubles du spectre autistique » décrits pour la première fois et indépendamment par Kanner (Kanner, 1943) et Asperger (Asperger, 1944), sont des troubles neurodéveloppementaux caractérisés par une altération des fonctions d'adaptation dans le domaine de la socialisation, de la communication, des comportements et des intérêts (DSM-IV-TR, 2000). Il s'agit d'un syndrome qui se manifeste dès les premiers stades du développement. Le diagnostic d'autisme implique que les signes cliniques doivent être présents dans la petite enfance (avant 30 mois), mais ils peuvent ne pas s'exprimer jusqu'à ce que les exigences sociales dépassent la limite des capacités de l'enfant, variables selon 1) la sévérité et la typicité des troubles, 2) l'âge chronologique 3) le niveau du développement intellectuel et 4) les conditions médicales éventuelles associées (Fecteau, Mottron, Berthiaume, & Burack, 2003).

Ce syndrome modifie de manière atypique la trajectoire neurodéveloppementale du jeune enfant. Or ces trajectoires atypiques ne sont pas rares comme le montrent les dernières données épidémiologiques : un enfant sur 88 environ en serait atteint (CDC, 2012) au lieu des 2 à 5/10 000 admis jusqu'à la fin des années 1990. Cette augmentation étant probablement liée à l'amélioration et l'uniformisation des critères de diagnostic. Des arguments plaident en faveur d'une origine génétique de l'autisme, notamment le sexe ratio (3 garçons pour 1 fille) (Fombonne, 2003), le risque 50 fois plus élevé dans la fratrie d'un enfant autiste que dans la population générale (Smalley, 1988), le taux de concordance chez les jumeaux monozygotes (82%) et l'existence des pathologies génétiques associées (Smalley, 1997; Rutter, Bailey, Bolton & Le Couteur, 1994). Aujourd'hui, près d'une vingtaine de régions de susceptibilité du génome ont été identifiées de manière récurrente sur de nombreux chromosomes (Filipek et al., 2003;

Sanders et al., 2011). Notamment l'équipe de Bourgeron a identifié des mutations sur des gènes qui codent des protéines impliquées dans la communication synaptique (Claire et al., 2012; Durand et al., 2012; Jamain et al., 2003; Leblond et al., 2012). En concordance avec ces données, on évoque l'existence d'anomalies cérébrales structurales comme l'augmentation du volume cérébral de la substance blanche des régions frontales, pariétales, temporales et du cervelet (Filipeck et al., 1992), une réduction de la taille des neurones, une augmentation de concentration cellulaire dans le système limbique (Bauman & Kemper, 1994), une diminution des connexions dendritiques dans l'hippocampe (Raymond, 1989) et une réduction du nombre de cellules de Purkinje dans le cervelet (Ritvo et al., 1986; Bailey et al., 1998; Bauman & Kemper, 1996). Par ailleurs, les études d'imagerie fonctionnelle au repos ont permis de montrer chez les enfants avec TSA une diminution du débit sanguin cérébral au niveau des lobes temporaux, plus particulièrement au niveau du Sillon Temporal Supérieur (Zilbovicius et al., 2000; Ohnishi et al., 2000). Cette région qui est connectée fortement aux sites fronto-pariéto- limbiques serait impliquée dans la perception des stimuli sociaux tels que le regard et les expressions faciales (Allison, Puce, & McCarthy, 2000).

La trajectoire neurodéveloppementale atypique de l'enfant avec autisme se répercute sur son comportement fonctionnel, autrement dit sur son engagement dans les conduites d'exploration et d'investissement du milieu physique et social. La description des signes cliniques en a été le premier témoin. Sous tendues par des atypicités de la perception et de la cognition, on a fait l'hypothèse que ces modifications donnent lieu à des profils de développement singulier et hétérogène qui contraignent à des degrés variés l'intégration sociale des personnes avec autisme. Sur cette base de raisonnement en cascade, se sont développés plusieurs modèles de l'autisme. Du modèle émotionnel d'Hobson (1986) au modèle de la « Théorie de l'Esprit » (ou Theory of Mind, ToM) de Baron-Cohen (1985), de la théorie d'un déficit des fonctions exécutives (Rogers et Pennington, 1991; Russel, Jarrold & Hood, 1999) à celle de la faiblesse de la cohérence centrale (Frith, 1989), on a vu se développer de nombreuses argumentations concernant

les différents aspects du fonctionnement cognitif et social des personnes TSA. Ces modèles dits globaux demeurent parcellaires et aucun n'est en mesure d'apporter une explication globale du fonctionnement autistique et de son mode d'adaptation. Par exemple, le modèle d'Hobson (1986) qui défend l'hypothèse d'un déficit primaire du partage émotionnel, ne permet pas de tester des hypothèses précises sur les rapports entre les troubles sociaux et les déficits postulés. Le modèle de la ToM de Baron-Cohen ne permet pas d'expliquer les signes précoces de l'autisme tels que le manque d'engagement social et émotionnel (sourire social, expressions faciales, réciprocité émotionnelle) ainsi que les autres symptômes de nature non sociale. De la même façon que la théorie d'un déficit primaire des fonctions exécutives ou la théorie de la faiblesse de la cohérence centrale ne permettent pas de mettre en évidence un lien de causalité entre le caractère répétitif et rigide des comportements autistiques et l'altération des fonctions mentales supérieures.

Les limites de ces modèles ont conduit les chercheurs à se tourner vers des modèles locaux en adoptant une approche ascendante des troubles. Par exemple, les signes cliniques parmi les plus représentatifs des TSA comme la faible attention portée aux visages, l'absence du contact oculaire pour réguler les interactions sociales et la production des mouvements stéréotypés produisant des effets visuels ont conduit de nombreux chercheurs à étudier les particularités visuelles dans la pathologie autistique. En particulier, la perception des visages a généré un nombre important d'études questionnant l'origine des déficits socio-émotionnels dans les TSA. Par ailleurs, l'intérêt centré sur les objets et leur manipulation menant à une exploration atypique de l'environnement, a conduit certains chercheurs à étudier la perception des formes et des objets. D'autres se sont intéressés à la perception du mouvement, un paramètre indissociable à la perception des signaux environnementaux comme les événements physiques ou les expressions humaines.

Ainsi on a vu se développer un nombre conséquent d'études en neuroimagerie cherchant à identifier d'éventuelles anomalies dans le traitement de l'information concernant différents types de source de stimulation visuelle. Ces approches qui mettent en jeu des processus basiques et élémentaires du développement seront présentées ci-dessous, en référence aux courants de recherche actuels portant sur les particularités visuelles autistiques.

## **2. Les particularités visuelles dans les TSA**

### **a) 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, une hypothèse impulsée dans les années fin 1980 à partir du modèle émotionnel suggérant l'existence d'un pattern atypique dans le traitement des signaux émotionnels chez les enfants autistes (Hobson, 1986; Hobson, Ouston & Lee, 1988, 1989). 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, & Mattinger, 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. Depuis, un nombre conséquent d'études a été rapporté dans la littérature.

#### **► *Données comportementales***

## ✓ Méthodes

Il existe une grande hétérogénéité dans les dispositifs d'études utilisés pour évaluer les capacités des sujets TSA à reconnaître les émotions sur le visage. Différents matériels et différentes tâches ont été employés selon le niveau de fonctionnement cognitif des sujets. Tout d'abord, la majorité des études ont utilisé des stimuli statiques comme des photographies ou des dessins schématiques d'expression faciale émotionnelle. Pour étudier la spécificité des visages émotionnels, certains auteurs ont varié l'identité faciale des visages émotionnels (Ozonoff, Pennington & Rogers, 1990), d'autres ont manipulé leur mode de présentation, droit ou inversé (Tantam, Monaghan, Nicholson, & Stirling, 1989 ; Wallace, Coleman, & Bailey, 2008), entiers ou fragmentés (Gross, 2004). Certains auteurs ont conduit des comparaisons entre l'évaluation des visages émotionnels et celle d'autres catégories comme des stimuli sociaux non émotionnels (Celani, Battacchi, & Arcidiacono, 1999) ou des stimuli non sociaux (Braverman, Fein, Lucci, & Waterhouse, 1989).

Plus récemment, des stimuli dynamiques tels que, des vidéos (Gepner, Deruelle, & Grynfeldt 2001; Tardif, Lainé, Rodriguez, & Gepner, 2007) ou des séquences dynamiques produit par la technique de morphing (Back, Ropar, & Mitchell, 2007; Bal, Harden, Lamb, Van Hecke, Denver, & Porges, 2010; Uono, Sato, & Toichi, 2010) ont été employées pour étudier la reconnaissance des émotions dans un contexte tenant compte des propriétés dynamiques des expressions faciales.

Les procédures utilisées varient depuis des procédures non-verbales jusqu'à l'utilisation de tâches verbales plus complexes pour les sujets de haut niveau de fonctionnement cognitif. À cela il peut être demandé de reconnaître à partir d'images statiques ou dynamiques, le label des émotions qu'elles soient secondaires ou primaires, de discriminer leur intensité et de reconnaître des émotions en situation incongrue ou en présentation très brève. Et pour les sujets de bas niveau de fonctionnement cognitif, la tâche consiste à retrouver parmi une gamme d'images celle qui est identique à l'image cible présentée en statique ou en dynamique. Pour les stimuli sociaux émotionnels, le

sujet doit faire correspondre les visages, pour les stimuli non-émotionnels, il s'agit de faire correspondre les visages selon leur identité et pour les stimuli non-sociaux il doit faire correspondre les objets entre eux.

### ✓ Résultats

Parmi les études qui ont employé des stimuli statiques, certaines ont mis en évidence des déficits de reconnaissance des expressions faciales émotionnelles (Ashwin, Chapman, Colle, & Baron-Cohen, 2006 ; Braverman et al., 1989; Gross, 2004; Howard et al., 2000; Ozonoff et al., 1990; Pelphrey et al., 2002; Wallace et al., 2008) alors que d'autres n'ont pas trouvé de déficits (Adolphs, Sears, & Piven, 2001; Capps, Yimiyi, & Sigman, 1992; Castelli, 2005; Monk et al., 2010; Neumann, Spezio, Piven, & Adolphs, 2006; Rutherford & Towns 2008; Spezio, Adolphs, Hurley, & Piven, 2007; Wong, Fung, Chua, & McAlonan, 2008). Les données comportementales recueillies sont ainsi complexes et difficiles à interpréter. En effet, la grande hétérogénéité des méthodes expérimentales employées (matériel, tâche, population) ainsi que l'impacte de divers facteurs expérimentaux (appariement de groupe) pourraient être à l'origine de la divergence des résultats recueillis dans les différentes études (Behrmann, Thomas, & Humphreys, 2006; Harms, Martin, & Wallace, 2010; Jemel, Mottron, & Dawson, 2006).

Les rares études qui ont employé des stimuli dynamiques ont 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 (15-30ms) contrairement à un traitement intact des

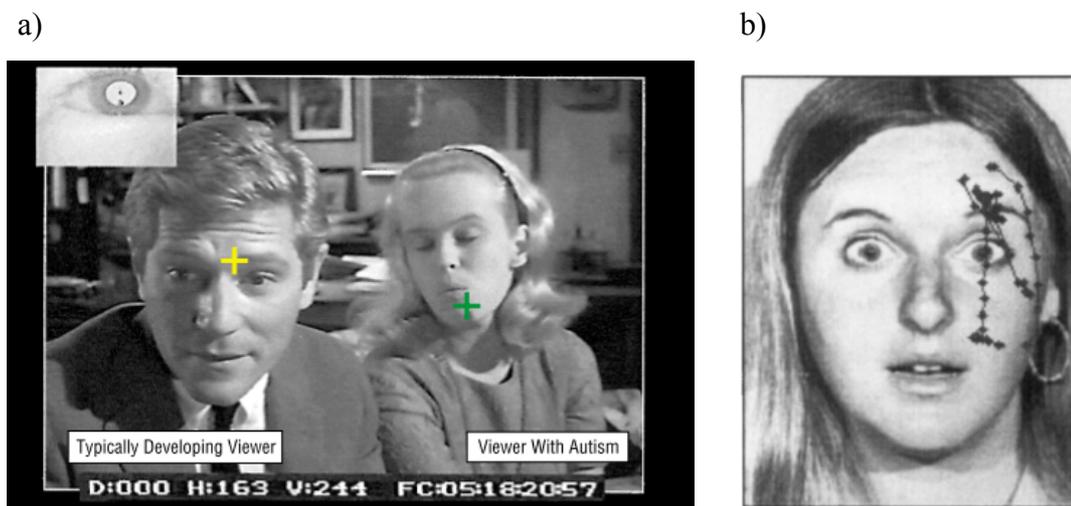
visages neutres et des stimuli non-sociaux (animal et objet). Ces résultats ont conduit les auteurs à suggérer l'idée que les difficultés à reconnaître les émotions sur le visage chez les personnes TSA de haut niveau de fonctionnement seraient liées à un déficit d'intégration des émotions plutôt qu'à un déficit perceptif visuel.

A l'origine de ces études, se trouvent les travaux de Gepner et ses collaborateurs soutenant l'idée que les difficultés rencontrées par les personnes TSA à traiter les informations provenant du visage seraient causées par un déficit du système visuel (cellules magnocellulaires). Les auteurs ont observé que le ralentissement d'une présentation dynamique des expressions faciales (2 et 4 images par seconde) facilitait la reconnaissance (Gepner et al. 2001) et induisait l'imitation faciale (Tardif et al. 2007) chez certains enfants autistes de bas niveau de fonctionnement. En effet, en employant un temps de présentation extrêmement lent (15-33 secondes), Bal et ses collaborateurs (2010) ont rapporté chez les TSA des scores de reconnaissance similaires aux typiques, avec des temps de réponse plus longs chez les TSA.

Selon certains auteurs, la présentation dynamique lente, par la modification discrète des relations spatiales entre les composantes du visage (i.e. yeux, nez, bouche) solliciterait davantage le traitement configural (Frith, 1989; Happé, 1999) un mode de traitement plus efficace pour reconnaître le visage (Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1998; Maurer, Le Grand, & Mondloch, 2002). Si on considère l'hypothèse selon laquelle les personnes porteuses de TSA utiliseraient par défaut des stratégies locales d'encodage pour traiter les visages (Deruelle, Rondan, Gepner, & Fagot, 2006; Gauthier, Klaiman, & Schultz, 2009; Gross, 2005; Hobson et al., 1988; Tantam et al., 1989; Joseph & Tanaka, 2003; Lahaie et al., 2006; Tenisse & de Gelder 2003), il se pourrait que le ralentissement puisse favoriser l'encodage des relations entre les éléments locaux des visages, mais il se pourrait aussi qu'une présentation très lente favorise chez les personnes TSA de haut niveau de fonctionnement le recours à des stratégies cognitives de haut niveau pour déterminer les informations affectives et décider de les utiliser dans leur jugement (Santos, Rondan, Rosset, Da Fonseca, & Deruelle, 2008).

► *Stratégie visuelle*

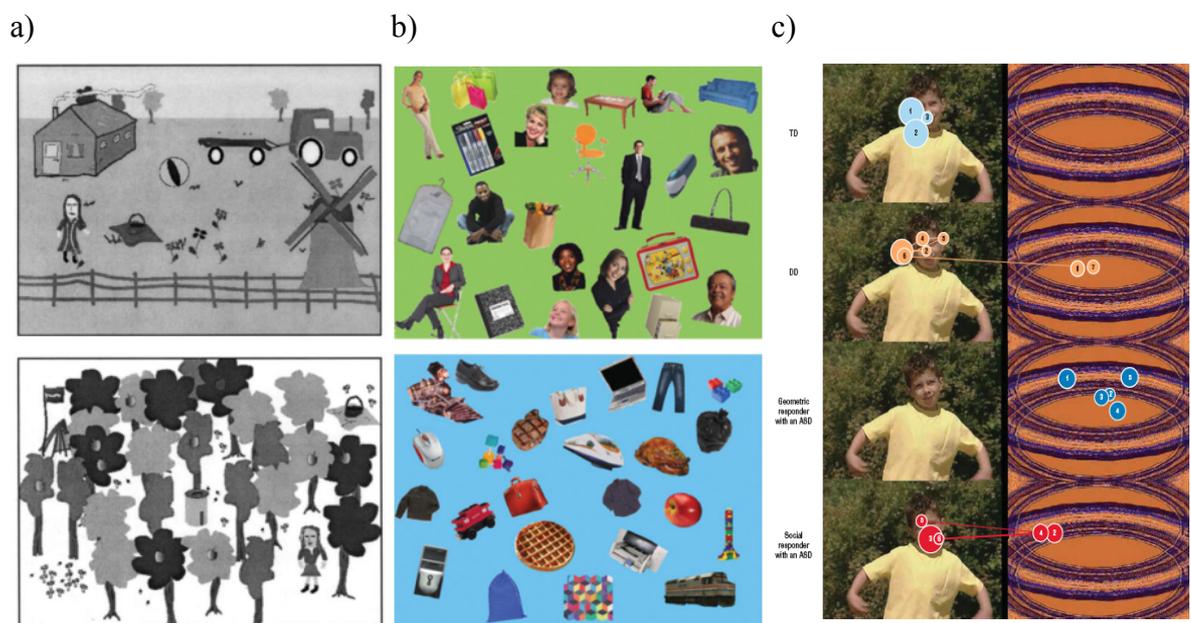
L'hypothèse d'une stratégie atypique d'exploration visuelle des visages chez les personnes porteuses de TSA a pu être abordée à travers les études du comportement oculaire employant la technique du eye tracking. En effet, certains résultats rapportés mettent en avant des patrons d'exploration atypique 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 soit sur une vidéo de scène d'interaction sociale (cf. figure 6).



**Figure 6 :** Exemples de stimuli visuels employés dans l'étude de Klin et al. (2002) (a) et de Pelphrey et al. (2002) (b).

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 (i.e. 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 des planches de photos (Sasson, Turner-Brown, Holtzclaw, Lam, & Bodfish, 2008) comprenant des objets et des figures humaines (cf. figure 7 a,b). 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.



**Figure 7 :** Exemples de stimuli visuels employés dans Van Der Geest et al. (2002) (a), dans Sasson et al. (2008) (b), et dans Pierce et al. (2011) (c).

Récemment, Pierce et ses collaborateurs (2011) ont utilisé un paradigme du regard préférentiel avec des stimuli dynamiques, pour comparer l'exploration visuelle de très jeunes enfants avec TSA. Les enfants étaient placés devant un écran présentant des stimuli en mouvement, d'un côté des enfants exprimant des actions ou des émotions et de l'autre côté des formes géométriques (cf. figure 7 c). Les résultats de cette étude ont révélé que 40 % des enfants du groupe TSA dont le risque de diagnostic de TSA était

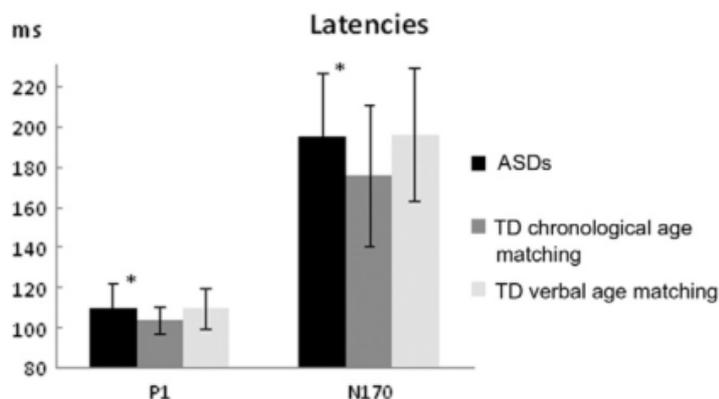
élevé, avaient une préférence visuelle pour les formes géométriques en mouvement contrairement au groupe de comparaison.

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, les résultats demeurent difficiles à interpréter en raison de l'hétérogénéité des paradigmes employés.

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.

#### ► *Fonctionnement cérébral*

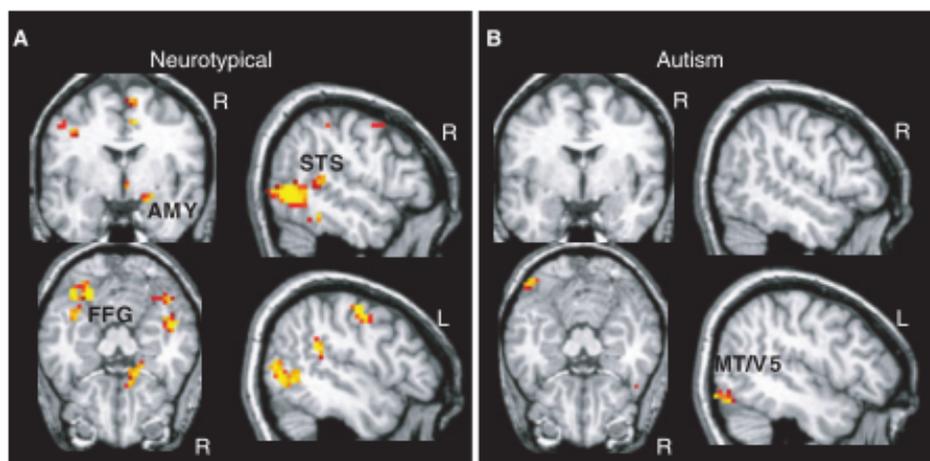
Batty et ses collaborateurs (2011) ont rapporté chez les enfants avec TSA une diminution de l'amplitude de la P1 suivie d'un temps de latence plus long de la composante N170 révélant un fonctionnement anormal des activités cérébrales au cours des stades précoces du traitement des expressions faciales émotionnelles (cf. figure 8).



**Figure 8** : Moyenne de temps de latence de la composante P1 et N170 pour les trois groupes de l'étude de Batty et al. (2011) (\*p <.05).

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'autre 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.



**Figure 9** : Résultats de l'étude de Pelphrey et al. (2007). Les aires cérébrales activées lors de la perception des expressions faciales émotionnelles dynamiques chez les personnes typiques (A) et chez les personnes avec TSA de haut niveau cognitif (B).

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 (i.e. AMY et FG), accompagnée d'une activation normale des aires impliquées dans le traitement des propriétés dynamiques du mouvement physique et biologique (i.e. 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 (cf. figure 9).

## **b) Perception visuelle des objets**

### **► *Méthode de mesure***

La perception des objets a généralement été abordée dans le cas d'études comparatives pour identifier les aspects différentiels entre le traitement des visages et celui des objets. Les stimuli sont présentés sous forme de photographie ou de dessins schématique. Le sujet doit appairer les images en identifiant les objets (animés ou inanimés) présentés à l'endroit ou à l'envers, entiers ou fragmentés. Une autre méthode est de présenter très brièvement des paires de stimuli (40 ms) et de demander au sujet de détecter un changement au niveau des propriétés configurales des stimuli (relations de second ordre ou distance entre traits).

### **► *Résultats***

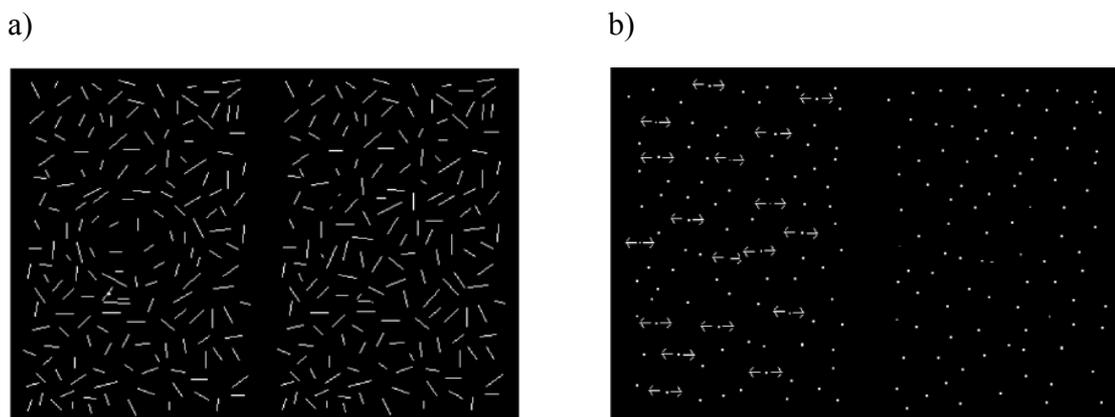
Les études comparatives réalisées auprès de population avec TSA ont rapporté des performances intactes dans la reconnaissance d'objets contrairement aux visages (Deruelle & Rondan, 2004; McPartland, Webb, Keehn, & Dawson, 2011; Tenisse & Gelder, 2003; Wallace et al. 2008). En effet, récemment, Samson et ses collaborateurs (Samson, Mottron, Soulières, & Zeffiro, 2011) ont rapporté 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 distinguait pas de celles des typiques pour le traitement des objets. Selon la méta-analyse, les performances liées aux objets ont été

accompagnées d'une activation du cortex occipital et temporal, de la partie antérieure du gyrus fusiforme, du cortex préfrontal ainsi que du cortex pariétal supérieur. La différence d'activité cérébrale observée entre les typiques et les TSA s'est révélée plus grande (higher ALE) concernant le cortex occipital (BA19) et pariétal (BA7 et 40) en faveur d'une hyper-activation de ces régions chez les TSA et une faible différence (lower ALE) concernant le gyrus fusiforme (BA 37).

En effet, 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 porteuse 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.

### c) Perception visuelle du mouvement

Le développement des stéréotypies comportementales et le sur-fonctionnement de certaines composantes de la perception visuelle ont été abordés par divers auteurs comme des signes de compensation d'une déficience visuelle précoce (Bullinger, 1996; Gepner et al., 2001; Mottron et al., 2007). Bullinger (1996) remarque, à partir d'observations cliniques des enfants autistes, un hyper investissement du système visuel périphérique qui se manifeste souvent par le regard périphérique, ou par la réponse tonique et/ou posturale de la tête et du buste chez les nourrissons. Dès lors, certains chercheurs ont investi l'étude des atypicités perceptives du mouvement dans l'autisme. Gepner et ses collaborateurs (1995) ont trouvé chez les enfants avec TSA une faible réactivité posturale à la perception visuelle du mouvement environnemental. Plusieurs études ont rapporté chez les adultes et les enfants atteints de TSA une faible sensibilité dans la détection des mouvements complexes tels que les mouvements de translation cohérents de points lumineux, contrairement à une sensibilité normale pour les formes cohérentes statiques (Milne et al., 2002; Pellicano, Gibson, Maybery, Durkin, & Badcock, 2005; Spencer, O'Brien, Braddick, Atkinson, & Wattam-Bell, 2000) (cf. figure 10).

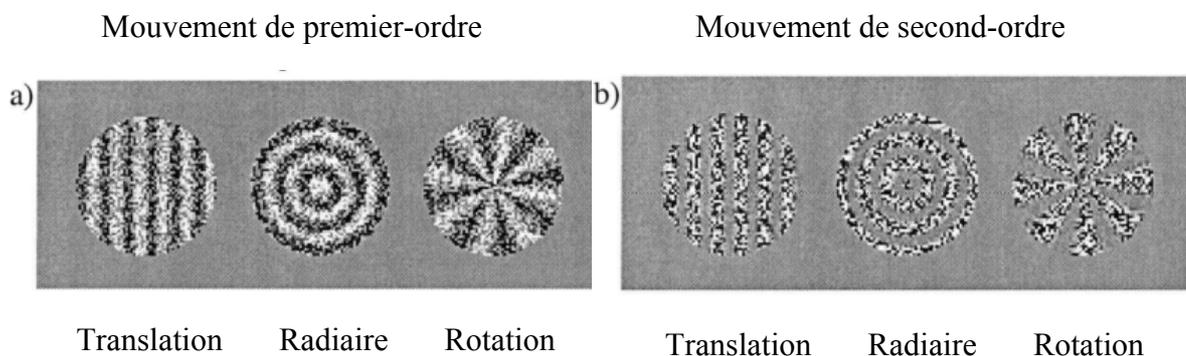


**Figure 10 :** Illustrations schématiques de formes cohérentes statiques (a) et du mouvement cohérent de points lumineux (b).

Cette sensibilité sélective au mouvement a conduit les auteurs à suspecter l'hypothèse d'un déficit de la voie dorsale du système visuel, en particulier dans le traitement de différents types de mouvement susceptible de mener à un développement atypique du lobe pariétal. En effet, différentes personnes autistes de haut niveau ont pu témoigner de leur perception atypique de la dynamique du monde qu'elles décrivent comme « *un monde allant trop vite* » (cf. Williams, 1992 et Grandin, 1995).

► ***Le mouvement simple vs. complexe***

Le mouvement simple de premier ordre est un mouvement de type linéaire, défini par une variation spatio-temporelle de la luminance. Le mouvement complexe de second ordre est un mouvement de type complexe non linéaire, défini par une variation spatio-temporelle de la texture, la fréquence spatiale, le contraste ou le relief (Chubb & Sperling, 1988; Cavanah & Mather, 1989). Pour étudier la perception de ces différents types de mouvement, Bertone et ses collaborateurs (2003) ont employé des stimuli visuels circulaires présentant des variations de luminance (premier-ordre) ou de contraste (second-ordre). Ces stimuli ont été présentés en mouvements de translations, radiaires et de rotation (cf. figure 11). Le sujet devait détecter ces trois types de mouvements selon que les stimuli visuels aient subi une variation de premier-ordre ou de second-ordre.



**Figure 11 :** Présentation schématique des stimuli employés dans l'étude de Bertone et al. (2003) représentant les trois types de mouvement de translation, radiaire, et de rotation ayant subi une variation (a) de luminance (premier-ordre) (b) de contraste (second-ordre).

Les résultats issus de cette étude ont montré que les personnes autistes de haut niveau présentaient une sensibilité normale pour les mouvements de premier ordre mais une faible sensibilité pour les mouvements de second ordre. Ces données ont conduit les auteurs à considérer que le traitement visuel atypique observé dans les TSA serait caractérisé par un déficit d'intégration neuronale entre les niveaux. La faible sensibilité au mouvement dans l'autisme proviendrait d'un déficit de plus haut niveau (global), de l'intégration d'informations 'complexes' et non d'un déficit du traitement du mouvement en soi (Bertone, Mottron, Jelenic, & Faubert, 2003, Bertone, Mottron, & Faubert, 2005).

► *Le 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 la différence entre le mouvement de locomotion présenté à l'endroit et la tête en bas. 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 enfant 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 mouvement d'objets. Pour étudier la perception du mouvement biologique, les auteurs ont utilisé des animations silencieuses en points lumineux animés de Johansson. Ces points lumineux blancs sont présentés sur un fond noir et représentent différents types de mouvement (biologique vs. non biologique). Le sujet doit reconnaître ou catégoriser le mouvement selon le nombre de point lumineux manipulés, selon la

durée d'exposition du mouvement et selon le type de présentation (à l'endroit ou inversé).

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). Elles mettent en évidence une réduction des activités des régions du sillon postérieur temporal supérieur (pSTS), des régions pariétales et frontales chez les personnes TSA au cours d'une tâche de mouvement biologique, avec une activité similaires aux sujets typiques de la région MT+/ V5 lors des tâches 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 est 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., 2012; Parron et al., 2008).

Or, il est actuellement admis que la perception de l'action est basée sur le système moteur de l'observateur et qu'elle est facilitée par les mécanismes de résonance motrice via le système neuronal miroir, une population de neurone capable de coder le but de l'action et les aspects temporels des mouvements particuliers qui le composent (Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996; Gangitano, Mottaghy, & Pascual-Leone, 2001). L'idée que les difficultés que rencontrent les personnes TSA à reconnaître et à imiter les mouvements biologiques pourraient être causées par un déficit du système miroir a été explorée par de nombreuses études d'imagerie cérébrale. Ces dernières ont pu mettre en évidence des anomalies sur le plan anatomo-fonctionnel (Theoret et al., 2005; Williams, Whiten, Suddendorf, & Perrett, 2001) ainsi que sur le plan électrophysiologique (Bernier, Dawson, Webb, & Murias, 2007; Dumas, Nadel, Soussignan, Martinerie, & Garnero, 2010; Martineau, Cochin, Magne, & Barthelemy, 2008; Oberman, Ramachandran, & Pineda, 2005; Oberman et al., 2005) lors de la perception d'action. Ces données ont conduit à l'hypothèse d'un système miroir déficitaire dans l'autisme, avec comme postulat qu'une sous-utilisation des mécanismes miroirs au cours du développement entraînerait un appauvrissement du répertoire moteur et social chez les enfants avec TSA. Cet appauvrissement contraindrait la construction des représentations de l'action orientée vers un but et entraverait le développement des compétences socio-adaptatives dans l'autisme.

Concernant la perception et la compréhension des états émotionnels, qui selon Rizzolatti (2008) bénéficierait aussi du système miroir, certains auteurs ont rapporté une absence d'activation des neurones de la région du gyrus frontal inférieur (Dapretto et al., 2006; Hadjikhani, Joseph, Snyder, & Tager-Flusberg, 2006) lors de la perception des expressions corporelles émotionnelles. D'autres auteurs ont rapporté une faible activation des régions de l'amygdale, du gyrus frontal inférieur et du cortex prémoteur (Grèze,

Wicker, Berthoz, & de Gelder, 2009) ainsi que de la région antérieure de l'insula (Hadjikhani et al., 2009) lors de la perception des expressions corporelles de la peur, alors que pour les expressions corporelles neutres les auteurs ont observé une activation normale des aires impliquées dans la perception de l'action. Ces altérations du mécanisme miroir pourraient rendre compte des déficits dans les comportements sociaux dans l'autisme (Gallese, 2006 ; Oberman & Ramachandran, 2007).

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. Un des moyens de renforcer cette hypothèse serait de reproduire ces expérimentations avec des stimuli non humains produisant des expressions émotionnelles à travers des mouvements mécaniques. En effet, il a été démontré chez les sujets typiques que le système miroir répondait aussi bien à la perception du mouvement biologique illustré en points lumineux (Centelles, Assaiante, Nazarian, Anton, & Schmitz, 2011) qu'à celui produit par un agent robotique (Gazzola, Rizzolatti, Wicker, & Keysers, 2007; Oberman, McCleery, Ramachandran, & Pineda, 2007). Bien qu'un mouvement robotique nécessite plus d'attention en raison de ses propriétés mécaniques et artificielles (Chaminade, Hodgins, & Kawato, 2007), lorsque ce dernier est étroitement couplé à un mouvement biologique, sa perception mobiliserait 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 robotiques puisse

engendrer des réponses différentes, compte tenu de la faible sensibilité perceptive des personnes autistes aux aspects émotionnels. En l'absence de données dans le domaine des TSA, la question de 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 reste ouverte. Une question que nous abordons dans notre étude 3 à travers l'utilisation d'un stimulus robotique possédant à la fois des propriétés mécaniques et humaines.

### **3. Les modèles théoriques des particularités visuelles autistiques**

Nous disposons actuellement de trois grandes approches théoriques traitant des particularités visuelles autistiques.

#### **a) Modèles du dysfonctionnement de l'amygdale**

Le rôle central de l'amygdale est développé depuis une vingtaine d'années dans les théories de la perception et de la cognition sociale (Kling & Brothers, 1992), en particulier dans le traitement précoce des signaux émotionnels et le développement de l'empathie (Adolphs, 2003). Le visage et le regard étant une des principales sources d'information visuelle véhiculant des signaux émotionnels, leur perception activerait directement le système d'éveil autonome et provoquerait automatiquement une réponse émotionnelle via l'activation des structures sous-corticales (Adolphs, 2003).

Selon les partisans de la théorie du dysfonctionnement amygdalien dans l'autisme, le manque d'engagement émotionnel, la diminution d'intérêt pour les visages et l'absence de contact oculaire dès les premiers mois de vie chez les enfants autistes seraient causés par un déficit primaire du système amygdalien. En effet, les premiers indicateurs qui ont conduit à une telle hypothèse sont les données rapportées dans les études post-mortem sur le sous développement de l'arborisation des neurones de l'amygdale chez les personnes

TSA (Bauman & Kemper, 1994; Kemper & Bauman, 1998) ainsi que la forte ressemblance des patients amygdalo-lésés (Adolphs et al., 1999; Adolphs, Baron-Cohen, & Tranel, 2002; Heberlein & Adolphs, 2004) et les personnes TSA (Frith, 2004; Kleinman, Marciano, & Ault, 2001; Macdonald et al., 1989) dans leur capacité à traiter les informations sociales et émotionnelles.

Dans la continuité des travaux de l'équipe de Baron-Cohen (2000), des études d'imageries fonctionnelles ont été conduites et ont pu confirmer un dysfonctionnement de l'amygdale lors de la perception des expressions du regard et des expressions faciales émotionnelles, soit en faveur d'une hyperactivation ou d'une hypoactivation. Selon le modèle de l'hyperactivation, le visage et les yeux seraient des stimuli fortement aversifs chez les personnes atteintes de TSA (Corden, Chilvers, & Skuse et al., 2008; Coss 1978; Dalton et al., 2005; Hutt & Ounsted, 1966; Joseph, Ehrman, McNally, & Keehn, 2008). Une hyperactivation du circuit central de l'émotion (amygdale) produirait une sensibilité accrue aux stimuli sociaux, générant par conséquent l'évitement du regard comme réponse adaptative. Dans le développement typique, ce modèle fait l'hypothèse que les co-occurrences répétées du contact oculaire et les expériences positives issues des interactions sociales renforceraient la valeur positive du contact oculaire. Or, dans les TSA, l'hypersensibilité ou la surexcitation physiologique prolongée liée à l'hyperactivation de l'amygdale, induirait l'incapacité à former une telle association positive, ce qui provoquerait un mauvais apprentissage de l'environnement social (Hutt & Ounsted, 1966; Tinbergen & Tinbergen, 1972). Le modèle prédit que les individus atteints de TSA éviteraient activement le regard et encore plus lorsqu'il s'agit d'un regard direct, que d'un regard détourné. Cette aversion au regard doit être présente dès la petite enfance et le contact avec les yeux doit susciter l'excitation physiologique et interférer avec le traitement des stimuli qui apparaissent en même temps, et/ou immédiatement après le contact oculaire. Les auteurs suggèrent d'ailleurs que la diminution d'intérêt pour la région des yeux peut être expliquée par un évitement du contact oculaire dans les TSA (Dalton et al., 2005; Hutt & Ounsted, 1966; Richer & Coss, 1976; Spezio, Adolphs,

Hurley, & Piven, 2007). En effet, Dalton et ses collaborateurs (2005) ont rapporté dans deux études combinant la méthode du eye tracking et l'IRMf, une diminution des temps de fixations sur la région des yeux corrélée positivement à l'activation de l'amygdale.

Selon d'autres auteurs, une hypoactivation de l'amygdale interférerait avec l'attachement de récompense positive (Dawson et al., 2005) et la capture de la saillance émotionnelle (Grelotti, Gauthier, & Schultz, 2002) des visages et du contact oculaire. Cela entraverait l'apprentissage de l'environnement social par renforcement. Selon ce modèle, l'absence d'apprentissage par renforcement est supposée se traduire par le manque d'expertise du cerveau social qui ne parvient pas à traiter efficacement les stimuli sociaux. Ce modèle prédit que les sujets TSA atteints d'une hypoactivation de l'amygdale devrait être insensible au contact oculaire et aux visages dès les premiers stades de développement.

Récemment Senju et Johson (2009) ont proposé un modèle de la connectivité entre l'amygdale et le cerveau social (AMY, GF, STS), guidée par le contact œil à œil. Ce contacte par le regard provoquerait une réaction émotionnelle via l'activation des aires sous corticales (le colliculus supérieur, pulvinar, et l'amygdale) et modulerait rapidement des aires corticales impliquées dans le traitement des stimuli sociaux (GF, STS). Ce circuit rapide fonctionnerait sur les informations visuelles de basse fréquence spatiale. Il modulerait le traitement des visages et faciliterait leur traitement. Cependant, certaines données ont montré que le contact œil à œil ne facilitait pas le traitement cognitif chez les enfants TSA (Senju, Yaguchi, Tojo, & Hasegawa, 2003). Pourtant sur le plan comportemental la sensibilité au contact du regard s'est révélée intacte (Chawarska & Shic, 2009). Les auteurs de ce modèle suggèrent que les anomalies d'activation cérébrale observées chez les personnes TSA en réponse au contact du regard (Elsabbagh et al., 2009) seraient causées par un défaut de modulation rapide entre les aires visuelles sous corticales et corticales. En outre, une anomalie congénitale du système visuel sous-cortical, comprenant l'amygdale pourrait conduire à un échec de s'orienter vers des

stimuli sociaux saillants tels que les visages et le regard, et empêcherait le développement de l'expertise dans le traitement des expressions faciales chez les sujets TSA.

En effet, les études conduites par l'équipe de Vuilleumier (Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2003; Pourtois & Vuilleumier, 2007) caractérisent le rôle critique du système magnocellulaire dans le traitement des expressions faciales émotionnelles : les basses fréquences spatiales seraient transmises rapidement à l'amygdale via le système magnocellulaire lors de la perception des émotions sur le visage, en particulier pour la peur. Deruelle et ses collaborateurs (Deruelle, Rondan, Gepner, & Tardif, 2004) ont montré que contrairement aux enfants contrôle, les enfants avec autisme étaient plus performants dans la reconnaissance des visages présentés avec une fréquence spatiale élevée plutôt qu'une fréquence basse.

#### **b) Théorie de la malvoyance du mouvement rapide**

La théorie de la malvoyance du mouvement rapide (Gepner et al., 2001) postule que les difficultés que rencontrent les personnes TSA à s'adapter seraient liées à des difficultés à saisir l'information dynamique provenant du monde environnant qui ne cesse de changer. Selon cette théorie, les anomalies du codage temporel du mouvement physique et biologique, au niveau de la voie magnocellulaire du système visuel, perturberait l'intégration des informations nécessaires à l'adaptation et générerait une perception fragmentée des événements. Les sujets avec TSA feraient donc recours à des stratégies compensatoires, comme le ralentissement ou la focalisation sur les détails ou la répétition des événements, afin de se créer une représentation cohérente et unifiée du monde. Ce trouble s'étendrait sur le développement des compétences intellectuelles et adaptatives du jeune enfant. L'association d'un désordre de la perception du flux proprioceptif et de l'intégration visuo-posturale entraînerait un dysfonctionnement au niveau des fonctions exécutives. Les troubles de la perception des expressions faciales émotionnelles et intentionnelles entraîneraient un déficit de la construction d'une théorie de l'esprit alors que les troubles de la perception des mouvements labiaux entraîneraient

un déficit dans l'acquisition du langage. Les partisans de cette théorie font l'hypothèse que le ralentissement des signaux environnementaux faciliterait le traitement et la capture des informations pertinentes à la compréhension et induirait l'imitation faciale et vocale chez les enfants avec TSA (Tardif et al., 2007).

### **c) Modèles du dysfonctionnement du traitement perceptif**

Deux théories postulent l'existence d'un dysfonctionnement du traitement perceptif dans l'autisme, en faveur d'un traitement supérieur des éléments locaux dans l'autisme. Selon ces modèles ce dysfonctionnement aurait pour origine soit un déficit du traitement global (WCC) soit un surfonctionnement des traitements perceptifs (EPF).

#### ► *Déficit de la cohérence centrale (WCC)*

Les capacités supérieures des personnes avec autisme à percevoir les éléments constitutifs d'une figure détachée de son contexte global ont conduit certains auteurs à postuler l'hypothèse selon laquelle les personnes autistes auraient une anomalie au niveau de la structure perceptive hiérarchisée, spécifiquement au niveau du traitement global (Frith, 1989; Frith & Frith, 2003; Happé & Frith, 2006). Il s'agit de la théorie de la « Faiblesse de Cohérence Centrale » (Weak Central Coherence) qui défend l'idée que les personnes avec autisme auraient des difficultés à percevoir l'environnement comme un ensemble cohérent, en raison de leur difficulté à intégrer les informations en une forme globale ayant du sens (gestalt).

Dans la continuité de ces travaux, d'autres auteurs ont cherché à mettre en évidence de telles caractéristiques perceptives en employant des stimuli hiérarchiques (e.g. petites lettres formant de grandes lettres, petites formes géométriques formant de grandes formes) (Mottron et al., 1999; Plaisted et al., 1999; Rinehart et al., 2000). Les résultats ont révélé chez les personnes avec autisme un traitement intact des aspects globaux accompagné d'une supériorité dans le traitement des aspects locaux. Ces résultats ont conduit certains auteurs à considérer que les spécificités ne se situeraient pas au niveau global mais plutôt au niveau local en raison de l'utilisation préférentielle d'un mode de

traitement analytique des propriétés physiques des stimuli (Mottron et al., 2003; Mottron & Burack, 2001; Iarocci et al., 2006; Plaisted et al., 1999; Rondan & Deruelle, 2007). Selon Plaisted, cette supériorité du traitement local serait due à une perception davantage orientée vers les traits uniques des stimuli que vers les traits partagés, donnant lieu à une meilleure discrimination. Ceci aurait pour conséquence une plus grande difficulté à traiter les similitudes, donc à catégoriser et à généraliser les informations.

► ***Surfonctionnement du traitement perceptif de bas niveau (EPF)***

Le sur-fonctionnement perceptif ainsi que l'absence de déficit dans la perception des aspects globaux de stimuli ont conduit l'équipe de Mottron (2001, 2006) au modèle de surfonctionnement perceptif (Enhanced Perceptual Functioning; EPF). Ce modèle stipule que le traitement perceptif de bas niveau est intrinsèquement meilleur dans l'autisme qu'il s'agisse de stimuli social ou non-social. Les données en imagerie fonctionnelle ont en effet montré qu'il y avait chez les sujets TSA une augmentation des activités cérébrales des aires associées au traitement visuel et l'expertise, lors de la perception de stimuli (visage, objet, mots) (pour une méta analyse voir Samson et al., 2011). Les auteurs suggèrent que le surfonctionnement des mécanismes perceptifs de bas niveaux dans les TSA pourrait expliquer l'ensemble des caractéristiques perceptives comme l'intérêt accru pour les parties locales, la supériorité à discriminer les stimuli, la perception intacte des stimuli statiques, et la perception diminuée du mouvement complexe.

#### 4. Conclusion

Comme nous avons pu le voir dans ce présent chapitre, les particularités perceptives autistiques ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales cherchant à identifier les composantes intactes et déficitaires du système perceptif visuel. Les différents modèles et théories neurocognitives suggèrent qu'une altération des composantes visuelles du traitement du mouvement complexe et du signal socio-émotionnel, pourrait être à l'origine d'une perception atypique de l'environnement physique et social.

Bien que de nombreuses données d'imagerie cérébrale convergent vers l'hypothèse d'une implication importante d'une connectivité atypique entre les aires visuelles et le cerveau social dans la pathogénie de l'autisme, encore peu d'études comparatives et encore moins d'études comportementales sont en mesure de mettre en évidence les spécificités des particularités visuelles dans les TSA, en particulier concernant le traitement des stimuli visuels dynamiques. En effet, la majorité des études emploient des catégories de stimuli uniques, avec une grande hétérogénéité des paradigmes expérimentaux, ne permettant pas la comparaison des résultats. Par exemple, les anomalies de traitement du mouvement complexe rapporté dans les travaux de Bertone et ses collaborateurs (2003, 2005) ne sont pas comparables aux données issues du paradigme des points lumineux illustrant le mouvement biologique qui lui-même est un cas de mouvement cohérent et complexe, de part la configuration des points lumineux mais aussi par le fait qu'il soit porteur d'émotion et d'intention. De plus, les données issues des études de la perception des expressions faciales émotionnelles ne sont pas comparables à celles des études de la perception des objets, car, dans les études comparatives, les paramètres de présentation des stimuli sont statiques et ne prennent pas en compte la dynamique des expressions faciales. Ainsi, la mesure porte sur les propriétés configurales statiques des stimuli et non sur les propriétés dynamiques du mouvement, ni sur les propriétés intrinsèques des stimuli, dont le traitement semble être spécifique dans les TSA.

De notre point de vue, les stimuli visuels employés jusqu'ici pour évaluer, dans l'autisme, les particularités visuelles liées à la perception des expressions faciales émotionnelles et celle des objets relèvent de méthodes d'observation qui ne différencient guère les propriétés intrinsèques des deux types de sources de stimulation. Si l'on veut comparer le traitement visuel des propriétés dynamiques du mouvement des visages émotionnels et des objets, notre point de vue est qu'il faut ajuster leur présentation, tout en gardant intactes leurs propriétés perceptives (que perçoit-on ?), ontologiques (qu'est-ce ?) et fonctionnelles (quelle signification ?). Ce point de vue que nous défendons dans cette thèse nous a conduit à concevoir un outil de comparaison basé sur la notion de changement dynamique d'état. La démarche de conception théorique et méthodologique de cet outil est présentée dans le chapitre qui suit.

## **Chapitre 3 : Perception visuelle des changements dynamiques d'état, une nouvelle méthode de comparaison.**

### **1. Proposition d'une nouvelle méthode de comparaison**

Dans la partie qui suit, nous présentons les principes de notre approche en introduisant la notion de changement dynamique d'état ainsi que la technique de morphing employée. Par la suite nous présenterons la base de données d'images et de vidéos FOT-DB que nous avons mis en place pour une approche du comportement perceptif dans les TSA. Tous les stimuli employés dans nos trois expérimentations sont issus de cette base de données.

#### **a) Le changement dynamique d'état : principe de base**

Lorsque nous présentons une image statique d'un visage figé ou d'un objet inanimé sur une scène visuelle, notre appareil perceptif reçoit des informations directement perceptibles par notre rétine : une image contenant des propriétés de surface manifeste un état physique particulier de l'entité présente. Cette perception des propriétés élémentaires (physiques et spatiales) est renvoyée à un niveau supérieur de traitement impliqué dans la récupération des propriétés cognitives attribuées par les connaissances et les inférences. Dès lors, un visage est perçu comme un ensemble de composantes indiquant le sexe, l'âge, l'ethnie (Brewer, 1988) d'un agent semblable à nous, évoquant des impressions, des souvenirs et des jugements. Quant à l'objet, il est perçu comme une entité physique, manipulable et accessible par ses propriétés structurelles, fonctionnelles et procédurales. Ce traitement basé sur les aspects invariants des visages et des objets inanimés permet d'intégrer l'ensemble des propriétés en des représentations cohérentes, permettant la reconnaissance et l'attribution de valeur cognitive à ces entités. Cependant, lorsque nous créons de manière artificielle un changement d'état des visages et des objets par le morphing et que nous présentons en dynamique un visage changeant d'expression ou un objet changeant d'état, nous induisons de manière intentionnelle un événement

correspondant à la transformation des propriétés structurales dites perceptibles. Ces transformations induites par le mouvement apparent aboutissent à un changement d'état profondément lié aux propriétés cognitives des visages et des objets. La détection du changement d'état ne devient possible qu'à travers la perception du mouvement et l'accès à la représentation séquentielle de l'événement perçu. Face à un changement d'état de ce type, le percevant est amené à simuler le mouvement et produire des inférences à partir des observables pour se représenter la scène perçue, c'est à dire, un visage qui change d'expression ou un objets qui change d'état.

Ce que nous venons de décrire de manière très schématique montre l'intérêt de l'utilisation d'une présentation dynamique de changement d'état via la technique du Morphing. Car, l'introduction du mouvement à travers la manipulation des propriétés transitoires des stimuli implique des mécanismes de traitement distincts d'une présentation statique.

► ***Les différents types de changements d'état***

Ce que nous savons des propriétés respectives des objets et des visages nous a mené à penser le changement d'état en deux catégories : *les changements endogènes* (causes internes) et *les changements exogènes* (causes externes). Le changement d'état d'un visage est produit par des causes internes que sont les émotions, alors que celui d'un objet est provoqué par des causes externes comme des événements naturels (relatifs au temps) ou l'application d'une force humaine (action motrice). Ainsi, la perception des changements peut être influencée pour les objets par les événements ou les actions qu'ils évoquent alors que la perception des changements des visages est influencée par l'expérience des états mentaux liés à des intentions et à des émotions. À cet égard nous pouvons supposer que ces deux types de changement d'état (endogène et exogène) soient susceptibles d'impliquer des mécanismes perceptifs différents renvoyant à des niveaux de représentations différents (motrice, cognitive et émotionnelle). Cela pourrait avoir un

impact sur le type de traitement engagé (automatique ou différé) et donc sur la qualité de la reconnaissance du changement d'état.

### **b) Le Morphing : principe de base**

Le morphing est une technique de traitement d'image développée dans les années 1990, permettant de créer des effets spéciaux à travers la transition progressive d'une image A à une image B. Cette technique de transformation se base sur la mise en correspondance des points de repère morphologiques et des vecteurs entre les images initiales et finales. Il existe de nombreux logiciels de morphing qui, à partir de ce principe, trouvent une transformation pour passer d'une image à l'autre et génèrent les images intermédiaires pour en faire une animation. Elle permet d'effectuer un mapping efficace entre les différentes parties des images et d'obtenir une fluidité du mouvement.

#### **► *Intérêt de la technique du morphing pour une comparaison valide entre mouvement des objets et mouvement des visages***

La technique du morphing permet de créer des changements dynamiques d'états artificiels sur différents types de stimulus, en intervenant sur les propriétés transitoires de la manière la plus naturelle. Elle permet d'égaliser le mode de présentation dynamique tout en gardant intactes les propriétés perceptives, ontologiques et fonctionnelles des stimuli. Ainsi elle rend possible la mesure des processus dynamiques impliqués dans le traitement perceptif du mouvement et assure la comparabilité de différents stimuli visuels soumis aux mêmes paramètres de transformation.

Ainsi, le morphing est un moyen adéquat pour l'analyse expérimentale des paramètres du mouvement. La distance que parcourt un trait (déplacement des points) ainsi que le nombre de traits en mouvement déterminent la charge de traitement que doit effectuer le système visuel afin de suivre la dynamique de l'information. La trajectoire du mouvement ainsi que sa vitesse, déterminent la saillance visuelle. Or, la technique du morphing qui permet de créer le déplacement des points de correspondance entre deux

images donne la possibilité d'intervenir sur ces paramètres du mouvement en manipulant la position des points de correspondance et la vitesse de transition entre les images.

## **2. Développement de la base de données FOT**

La base de données « Facial expressions and Objects Transformation Database » (FOT-DB) inclut une base de données de photographies (FOT-PDB) composée de 292 photographies couleurs de visages émotionnels et d'objets, et une base de données de vidéo-morphing (FOT-VMDB) composée de 410 vidéos produisant des changements dynamiques d'état de visages émotionnels et d'objets.

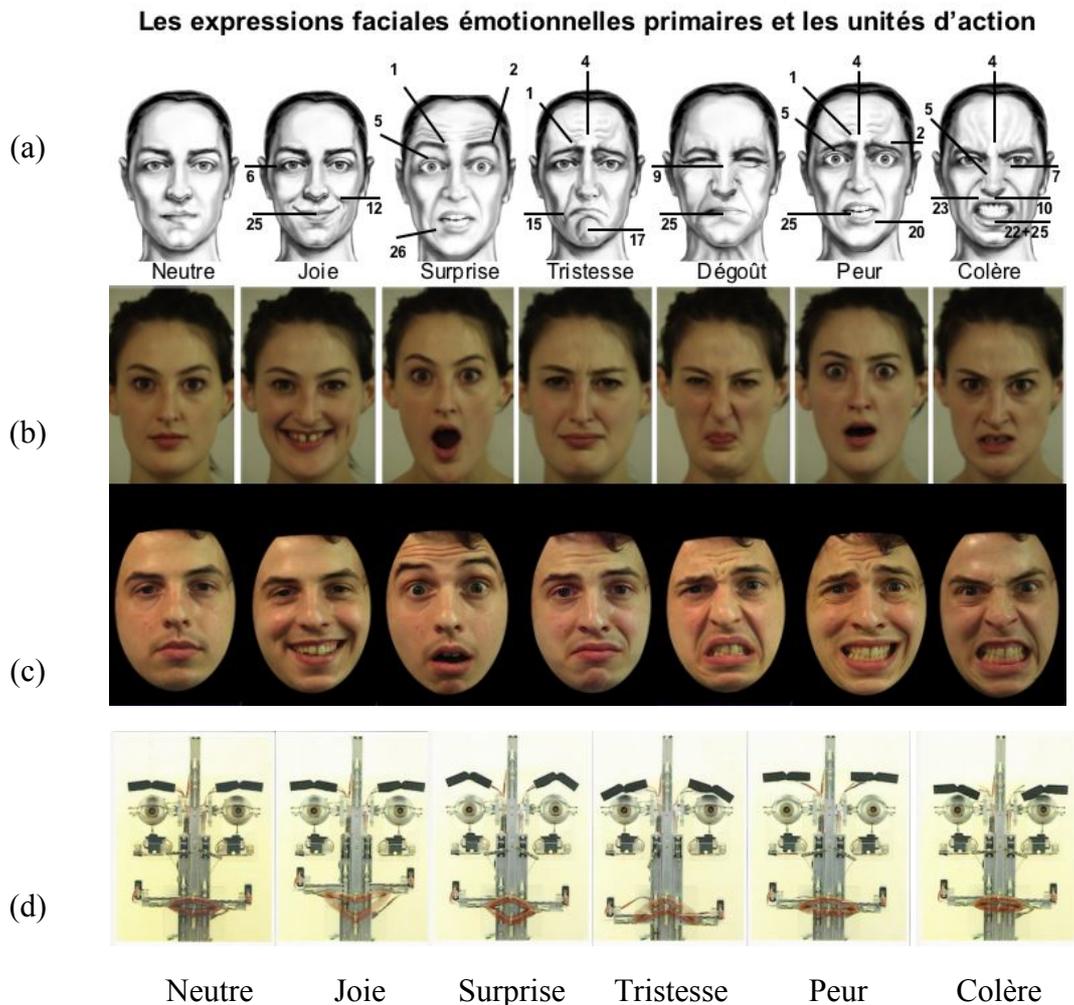
### **a) Description de la base de données de photographies (FOT-PDB)**

La FOT-PDB est composée de 154 photos de visages émotionnels (77 photos en version originale et 77 en version recadrée), de 6 photos d'expressions émotionnelles de robot non humanoïde et de 132 photos d'objets (36 photos d'objets fonctionnels et 96 d'objets naturels).

#### **► Base de données de photographies pour les visages émotionnels**

Les photos de visages émotionnels, prise de vue frontale, ont été réalisées à partir de sept acteurs comédiens (2f, 5h) de l'école Court Florent, âgés de 20-25 ans, ainsi que quatre volontaires (2f, 2h) âgés de 25-33 ans. Au total 11 participants ont contribué à la constitution de la base de données en contrepartie d'une rémunération. Durant la séance de photographie, nous avons demandé aux acteurs de reproduire les expressions émotionnelles primaires prototypiques (Ekman, 1982) : *joie, tristesse, dégoût, surprise, peur, colère et neutre*. Compte tenu du fait que les acteurs n'étaient pas des experts formés au FACS (Facial Action Coding System) (Ekman, Friesen & Hager, 2002), nous avons utilisé des modèles de production extraits du site Artnatomia (<http://artnatomia.net>) pour coacher les acteurs (cf. figure 12). Ces modèles correspondent à la nomenclature du FACS et ont permis d'obtenir une homogénéité dans les productions. Ces modèles ont été présentés sur un écran de télévision tout au long de la

séance. Un miroir était à la disposition des acteurs pour contrôler l'adéquation de chaque production faciale.



**Figure 12 :** Exemples de visages émotionnels de la FOT Database. (a) Modèle synthétique d'Artanatomia et les unités d'action.

*Légende : UA : 1 - Intérieur des sourcils levé, 2 - Extérieur des sourcils levé, 4 - Sourcils froncés, 5 - Paupières supérieures levées, 6 - Paupières inférieures levées, 7 - Paupières tendues, 9 - Nez replié, 10 - Lèvre supérieure levée, 12 - Coin des lèvres levé, 14 - Coin des lèvres rentré, 15 - Coin des lèvres baissé, 17 - Menton levé, 20 - Étirement des lèvres, 22 - Lèvres en formes d'entonnoir, 23 - Lèvres serrées et rentrées, 25 - Lèvres séparées (au repos), 26 - Machoire baissée, (b) Les 7 expressions faciales émotionnelles produites par les acteurs (version originale) (c) Les 7 expressions faciales émotionnelles produites par les acteurs (version recadrée), (d) Les 6 expressions émotionnelles robotiques.*

► ***Base de données de photographies pour les objets***

En nous basant sur les propriétés ontologiques, perceptives et fonctionnelles des objets (Cordier & Tijus, 2001) ainsi que les données expérimentales portant sur les objets fonctionnels (Creem-Regeh & Lee, 2005), nous avons constitué une base de données de photographies d'objets (fabriqués et naturels). Cette base de données comprend au total 18 items d'objets dont 8 items d'objets fonctionnels et 10 items d'objets naturels. Pour le choix des items, nous nous sommes basés sur les critères de familiarité et de manipulabilité. Tous les objets sont des objets préhensibles et manipulables avec lesquels nous sommes en contact régulièrement. Pour nous assurer de ces critères nous nous sommes référés aux études normatives concernant les bases de données d'images portant sur les objets (Snodgrass, J. G. & Vanderwart, M., 1980; Magnié et al., 2003; Salmon et al., 2010). Parmi les 18 items, 14 sont inclus dans ces études normatives qui révèlent sur une échelle de 1 à 5 (1 = pas du tout d'accord à 5 = tout à fait d'accord), une moyenne supérieure à 3 points sur les éléments de jugement perceptif (Accord Image, Familiarité, Manipulabilité). Ces données montrent que plus de 75 % des items de notre base de données ont été jugés comme étant des objets plus ou moins familiers et manipulables dont l'image mentale qu'ils évoquent correspond plus ou moins à nos représentations. Pour la graspabilité (ou la préhension) et la fonctionnalité seulement 55 % de nos items (10/18) figurent dans l'étude de Salmon et ses collaborateurs (2010) rapportant une moyenne de 4.8 sur 5 pour la graspabilité des objets et une moyenne de 2.3 pour les aspects liés à leur fonctionnalité.

Le tableau 1 présente pour les items de notre base de données, les moyennes des scores de jugement obtenues dans les différentes études. Une validation de la FOT-DB selon les mêmes critères a été envisagée mais compte tenu de la charge de travail qu'elle représente nous ne l'avons pas incluse dans le cadre de cette thèse.

**Tableau 1 :** Information sur les items de la catégorie des objets de la FOT-DB en référence aux trois études normatives : Moyenne de scores (écart-type) sur 5 points (1 : pas du tout d'accord à 5 : tout à fait d'accord), obtenue dans les études normatives des bases de données d'image portant sur les objets.

Snodgrass & Vanderwart (1980)			Magné et al. (2003)		Salmon et al. (2010)	
N°	Item	IA	Fam	Man	Grasp.	Fonc.
15	Ballon	4.33 (1.18)	2.58 (1.02)	2.42 (1.41)	4.63 (0.60)	1.68 (1.11)
32	Bouteille	2.85 (1.22)	3.94 (1.21)	4.05 (1.06)	4.68(0.67)	1.95 (1.27)
168	Crayon	4.40 (0.80)	4.42 (1.00)	3.7 (1.07)	-	-
197	Ciseaux	4.40 (0.83)	3.98 (0.99)	4.88 (0.33)	5 (0)	3.47 (1.26)
198	Clou	3.67 (0.89)	3.20 (1.00)	3.20 (1.00)	-	-
215	Cuillère	4.10 (1.11)	4.50 (0.89)	4.05 (1.00)	-	-
	Trousse	-	-	-	-	-
-	Épingle	-	-	-	-	-
6	Pomme	4.05 (8.7)	3.98 (1.08)	4.43 (1.11)	-	-
16	Banane	4.42 (0.70)	3.65 (1.04)	3.8 (1.44)	5.00 (0)	2.68 (1.16)
133	Feuille	3.88 (1.12)	4.30 (0.75)	1.5 (0.85)	4.53 (1.07)	2.11 (1.18)
135	Citron	4.35 (0.94)	3.25 (1.22)	2.92 (1.4)	4.89 (0.32)	2.37 (1.26)
158	Orange	4.00 (1.07)	3.34 (1.26)	2.95 (1.28)	4.88 (0.49)	3.00 (1.33)
166	Poire	4.62 (0.62)	3.55 (1.14)	2.2 (1.07)	4.89 (0.46)	1.21 (0.92)
170	Poivron	3.64 (1.28)	2.92 (1.29)	1.65 (0.92)	5.00 (0)	2.21 (1.27)
236	Tomate	4.05 (1.12)	3.78 (1.06)	1.83 (0.68)	4.89 (0.46)	1.84 (1.12)
-	Piment	-	-	-	-	-
-	Kiwi	-	-	-	-	-

*Légende : IA - Image Agreement, Fam - Familiarité, Man - Manipulabilité, Grasp - Graspabilité, Fonc – Fonctionnalité.*

Les 18 objets ont été photographiés dans leur forme la plus typique et dans divers états donnant 32 photographies d'objets fonctionnels et 96 photographies pour les objets naturels. En suivant le principe de changement d'état, nous avons sélectionné des actions motrices élémentaires et des événements naturels liés à la déformation des objets. Par

exemple, nous avons couplé l'action « tordre à la main » le changement d'état de la cuillère qui se déforme (cuillère droite > cuillère tordue > cuillère droite) (cf. tableau 2).

**Tableau 2** : Les changements d'état des objets.

	Objet	États	Causalité du changement	
OF	Ballon	Gonflé / dégonflé	Souffler	Action - Bouche
	Bouteille	Écrasé / non écrasée	Presser	Action - Mains
	Ciseaux	Fermé/ ouvert	Couper	Action - Mains
	Cuillère	Tordue/ droite	Tordre	Action - Mains
	Trousse	Ouvert/ fermé	Ouvrir	Action - Doigts
	Épingle	Ouvert/ fermé	Épingler	Action - Doigts
	Pomme	Entière/ croquée	Croquer	Action - Bouche
ON	Kiwi	Entier/ coupé	Couper	Action - Mains
	Banane	Mûri / pourri	Développement Biologique	Événement Naturel
	Feuille	Sèche/ pourrie	Développement Biologique	Événement Naturel
	Poivron	Court/ long	Développement Biologique	Événement Naturel
	Tomate	Ronde/ déformée	Développement Biologique	Événement Naturel

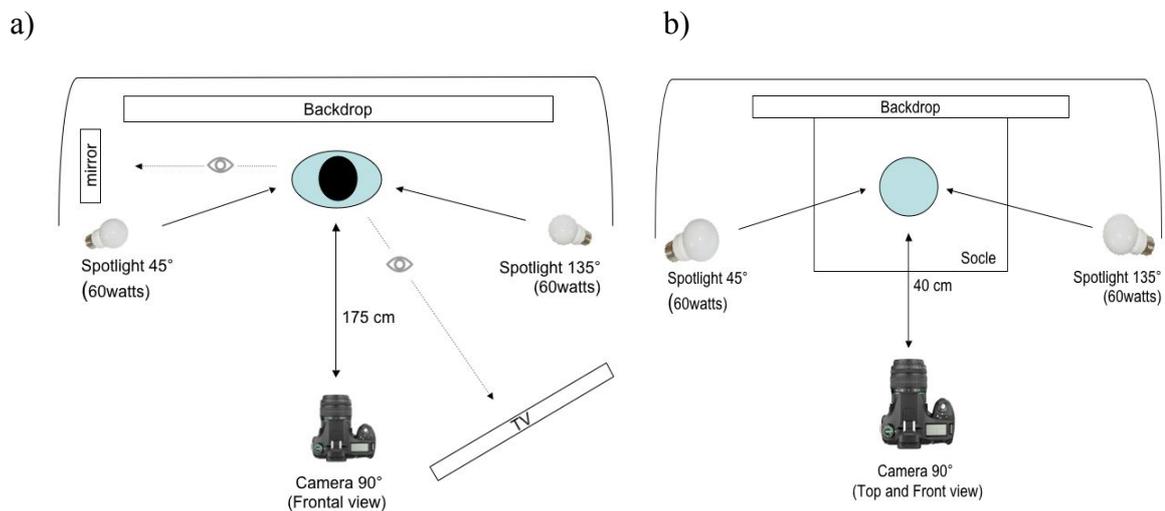
*Note : OF - Objets Fonctionnels, ON - Objets Naturels*

► ***Critères de sélection des états***

Les critères de sélection des différents états concernant nos trois types de stimulus obéissent aux contraintes physiques et sémantiques qui définissent l'identité des stimuli : le développement physique et spatial pour les objets ainsi que le degré de liberté pour les expressions faciales. Chaque état sélectionné correspond à un état optimal dans le processus du changement d'état (c'est-à-dire un légume qui change de forme en longueur et en largeur, une cuillère qui se déforme suite à une intervention manuelle d'un agent externe, un visage qui exprime une émotion).

► ***Dispositif***

Toutes les photos ont été prises avec un appareil photo numérique (Pentax K200D) avec un double éclairage (60 watts) sur un fond blanc. Les séances de photos ont été réalisées au sein de la plateforme de tests du « Laboratoire des Usages en Technologie de l'Information Numérique » dans des conditions strictement contrôlées (cf. Figure 13).



**Figure 13 :** Mise en place technique de la séance de photographie pour les expressions faciales émotionnelles (a) et pour les objets (b).

### ► *Traitement d'image*

La normalisation de la luminance et le reformatage des images ont été effectués avec le logiciel Adobe Photoshop Elements 4.0 et Gimp 2.6. Pour ne conserver que les caractéristiques internes des stimuli, nous avons appliqué un fond (noir ou blanc) à toutes les images afin d'extraire la forme du fond. Toutes les images ont été spatialement alignées (centrées), recadrées et redimensionnées (stimuli faciaux : 417 X 624 pixels, stimuli d'objet : 624 X 624 pixels).

### **b) Description de la base de données de vidéo-morphing (FOT-VMDB)**

La FOT-VMDB est composée de 410 vidéos-morphing produisant des changements dynamiques d'état de visages émotionnels et d'objets. A partir de la FOT-PDB nous avons sélectionné 6 objets fonctionnels, 6 objets naturels, 6 expressions faciales émotionnelles humaines des 11 acteurs et 5 expressions faciales émotionnelles

d'un robot non humanoïde sur lesquelles nous avons effectué des changements d'état artificiels avec le logiciel Morph Age Pro 4.0.7.

► *Les patterns de changement d'état*

Le passage d'un état initial à un état final est le type de changement classique utilisé dans les études utilisant la technique du morphing pour les visages. Généralement, dans les études expérimentales, il s'agit d'un passage d'un visage neutre (état initial) à un visage émotionnel (état final) dans lequel l'état cible à reconnaître est toujours l'état final qui représente l'état émotionnel. Ainsi dans une transition de ce type, l'état final ne peut être que plus saillant que l'état initial en raison de sa charge émotionnelle et de sa position dans la séquence de changement d'état. Nous avons jugé nécessaire de contrôler cet effet facilitateur pour éviter de créer des biais expérimentaux, en concevant un pattern de changement d'état basé sur deux étapes de transition avec un état initial, un état intermédiaire et un état final (transition 1 : état initial → état intermédiaire et transition 2 : état intermédiaire → état final).

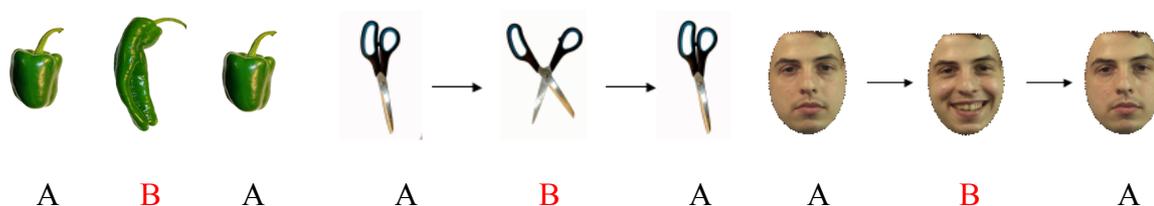
Description d'une séquence de vidéos-morphing

Une séquence vidéo est conçue à partir de 3 images qui se succèdent via le morphing. La première transition se fait par le passage de l'image contexte représentant l'état initial du stimulus (i1) vers l'image cible représentant l'état intermédiaire (i2) et la seconde par le passage de l'image cible (i2) à l'image contexte représentant l'état final du stimulus (i3) (cf. figure 4).

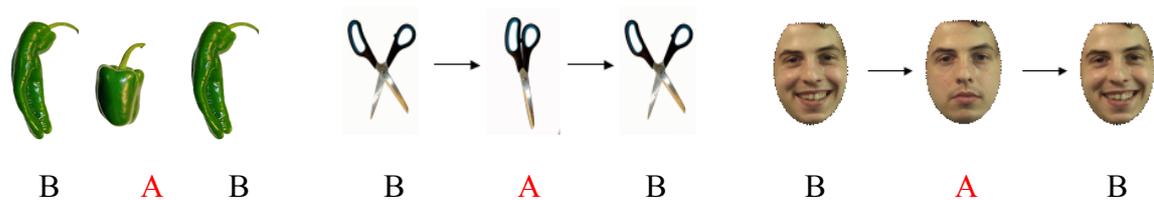
Fixation →	Image contexte (i1)	→ Image cible (i2) →	Image contexte (i3)	→ Fixation
	État initial	État intermédiaire	État final	
	Transition1		Transition2	

**Figure 14 :** Illustration schématique d'une séquence de vidéo de changement d'état.

Les deux images contexte (i1 et i3) sont toujours les mêmes et quel que soit le contenu de l'image, l'image cible reste toujours l'image qui se situe au milieu de la séquence, donc l'image 2. À partir de ce pattern de transformation, nous varions l'emplacement des images items en deux ordres différents (ABA et BAB). L'image cible d'une transformation d'ordre ABA est l'état B, alors que celle d'une transformation d'ordre BAB est l'état A. Pour les visages, l'état A correspond à l'expression neutre et B aux expressions émotionnelles primaires. Pour les objets, l'état A correspond à la figure initiale et B aux figures transformées (cf. figure 15 et 16).



**Figure 15** : Exemples de changement d'état d'ordre ABA où l'image cible est l'état 'B'.



**Figure 16** : Exemples de changement d'état d'ordre BAB où l'image cible est l'état 'A'.

► **Les vitesses du changement d'état**

Avec une approche basée sur le morphing, il nous a été possible de varier la vitesse en intervenant au niveau de la durée de la séquence et non sur le nombre d'image. Ce qui nous a permis de maintenir un mouvement fluide en gardant le format standard d'une

vidéo (25 images par seconde). Pour choisir les différentes vitesses nous nous sommes situés entre deux extrêmes fournis par la littérature : le seuil de conscience à 30-33 ms (Clark et al., 2008) et la valeur maximale de transformation à 12000 ms (Simons et al., 2005). L'ensemble des stimuli a été dupliqué en 10 vitesses (500 ms, 1000 ms, 1500 ms, 2000 ms, 2500 ms, 3000 ms, 3500 ms, 4000 ms, 5000 ms, 6500 ms).

► *Validation des séquences vidéos et sélection de la vitesse*

En référence à ces extrêmes nous avons choisi deux vitesses parmi quatre (500 ms/13 ips; 1000 ms/25 ips; 2000 ms/50 ips; 4000 ms/100 ips), l'une qui correspond à une réussite quasi complète chez notre population de pré-test (91%) et l'autre qui est juste au-dessus du seuil de réponse au hasard (63%). 16 adultes ( $\pm 25$ ans) ont participé au pré-test et ont visualisé chacun 36 vidéos composées de 4 séries (500, 1000, 2000, 4000 ms) de 9 vidéos (3 visages, 3 objets fabriqués, 3 objets naturels).

## *PARTIE EXPÉRIMENTALE*

## **Chapitre 4 : Perception visuelle du changement dynamique d'état de visages émotionnels et d'objets : une étude développementale**

### **1. Contexte**

A partir de la base de données FOT nous avons conduit une première étude expérimentale auprès de populations typiques afin d'étudier les mécanismes sous jacents à la perception des changement dynamique d'état.

### **2. Méthode**

#### **a) Participants**

79 sujets (37 filles et 42 garçons) ont participé volontairement à cette expérience. Notre échantillon est composé de 7 enfants âgés de 5-6 ans ( $M = 5.8$  et  $\sigma = 0.3$ ), 27 enfants âgés de 7-9 ans ( $M = 8.1$  et  $\sigma = 0.8$ ), 27 enfants âgés de 10-12 ans ( $M = 11.1$  et  $\sigma = 0.8$ ) et enfin 18 adultes ( $M = 35$  et  $\sigma = 15$ ). Les participants sont sains sans troubles de la vision ni de troubles attentionnels et sont de langue maternelle française. Le niveau de développement (âge) nous intéresse particulièrement pour aborder la validité de notre matériel dans le cadre d'une étude sur les personnes ayant des troubles du spectre autistique. Les 7 enfants âgés de 5-6 ans n'ont pas pu réaliser la tâche car la performance était impossible à réaliser pour ces derniers.

#### **b) Matériel**

*Séquence vidéo* : Au total 77 séquences vidéo ont été sélectionnées de la FOT-DB, dont 5 séquences vidéo pour la phase de familiarisation et 72 pour la phase de test. Les 72 vidéos tests comprennent 36 vidéos présentées en deux séries de vitesse (36 vidéos en  $v1$  : 500 ms, et 36 en  $v2$  : 4000 ms). Ces deux séries de 36 vidéos comportent respectivement 18 vidéos présentées dans deux patterns de transformation (18 vidéos en ABA et 18 vidéos en BAB). Ces deux séries de 18 vidéos comportent 6 items pour

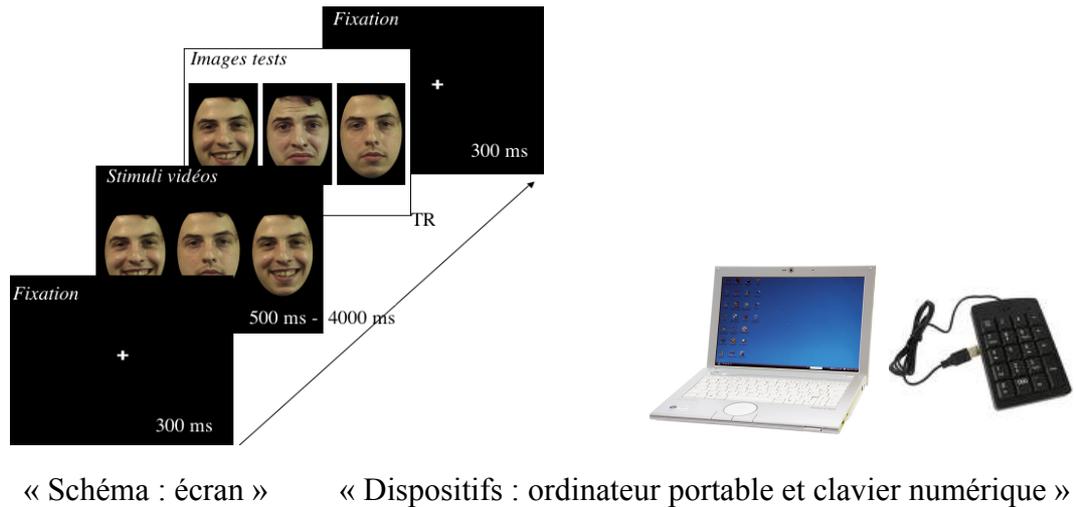
chaque catégorie de stimulus (OF : Ballon, Bouteille, Ciseaux, Cuillère, Épingle, Trousse, ON : Banane, Feuille, kiwi, Piment, Pomme, Tomate, VE : les 6 émotions primaires).

*Images tests* : Chaque séquence vidéo est accompagnée de 3 images, parmi lesquelles le sujet doit choisir l'image cible apparue dans la vidéo. Une fois que la vidéo est finie, les 3 images sont présentées côte à côte. Les emplacements des images ont été déterminés préalablement. Au total 72 images-tests ont été présentées lors de la phase de réponse.

Pour éviter de montrer les mêmes séquences vidéo dupliquées en deux vitesses, nous avons réparti les 72 vidéos en deux protocoles (36 vidéo en Protocole 1 et 36 vidéos en Protocole 2) que nous avons contrebalancé en fonction des participants. Ainsi chaque participant a visualisé 36 vidéos comprenant 3 vidéos, par type de stimuli, présentées selon deux patterns de transformation et deux séries de vitesse. Les 36 séquences vidéos et les 72 images tests sont présentées sur un écran d'ordinateur portable de 13.3 pouces (1200 x 800 pixels). La présentation de l'expérience est programmée à l'aide du logiciel de programmation Psyscope XB53. L'ordre de présentation des séries v1 et v2 est aléatoirement défini par le logiciel de programmation.

La tâche que le sujet doit réaliser consiste à regarder attentivement la vidéo et presser sur le clavier numérique, le numéro correspondant à l'emplacement de l'image cible apparue dans la vidéo ('❶' si l'image cible se trouve à GAUCHE de l'écran, '❷' si l'image cible se trouve au MILIEU de l'écran et '❸' si l'image cible se trouve à DROITE de l'écran) (cf. figure 17).





**Figure 17** : Exemple de ce que voient les participants sur l'écran.

### c) Procédure

La passation se déroule au sein de la plateforme de tests le « Laboratoire des Usages en Technologie de l'Information Numérique », dans une salle isolée. Le participant est installé sur une chaise devant l'écran de l'ordinateur posé sur une table (Distance 50 – 60 cm). L'expérimentateur explique au sujet la tâche à l'aide de schéma visuel pour faciliter la compréhension de la consigne et, en particulier, celle de la notion de changement d'état. Une fois la consigne intégrée, l'expérimentateur propose de faire des essais sur ordinateur et fait une démonstration avec les vidéos. Sur les 5 séquences d'essais, l'expérimentateur guide le participant du début jusqu'à son autonomie. Une fois l'autonomie acquise, l'expérience commence. Chaque sujet passe 2 séries de 18 séquences vidéos.

### d) Plan expérimental

La réussite et le temps de réponse ont été recueillis auprès de 72 participants répartis dans 3 groupes d'âge (a1: 27 enfants de 7-9 ans, a2: 27 enfants de 10-12 ans, et a3: 18 adultes). Chaque participant a eu 3 essais pour chacune des 12 conditions expérimentales, selon que le type de stimuli était des objets fonctionnels (st1), des objets

naturels (st2), ou des visages (st3), selon que la vitesse du morphing était rapide (de 0.5 secondes ; v1) ou lente (de 4 secondes ; v2), et selon que l'ordre de la transformation était ABA (o1) ou BAB (o2). Le plan expérimental correspondant est  $P_n < A_3 > St_3 * V_2 * O_2 * I_3$ , où  $P_n$  représente les participants par classe d'âge,  $A_3$  les 3 classes d'âge,  $T_3$  les 3 types d'objets,  $V_2$  les deux vitesses de transformation,  $O_2$  les deux ordres de transformation et  $I_3$  les 3 items.

Avec 3 essais par condition pour chaque participant, nous avons avec les 72 participants un total de 216 observations par condition, et de 2592 pour les 12 conditions. Chaque observation comprend la réponse (codée 1 pour la réussite et 0 pour l'échec) et le temps de réponse. Selon le nombre d'essais réussis, pour chaque condition, un participant obtient un score de réussite compris entre 0 et 3 et, pour toutes les conditions, entre 0 et 36.

#### **e) Prédiction**

La perception de la transformation permet au participant de percevoir l'image cible (image intermédiaire). Nous pensons que le type de stimuli devrait avoir un effet sur le taux de détection de l'image cible et sur le temps de réponse. Les visages sont un type de stimuli qui se transforment pour exprimer des émotions : la transformation est interne et habituelle. Ce n'est pas le cas des objets fonctionnels ou naturels qui ne se transforment pas tout seul, en quelques secondes, mais lorsqu'ils sont soumis à une force externe exercée par un agent. Les changements d'état émotionnel seraient traités plus vite et mieux que les changements d'état des objets, en raison de la grande pratique que nous avons de la dynamique émotionnelle des visages. Par ailleurs, les objets usuels à maniement manuel devraient être traités plus aisément que les produits naturels, car leur perception suggère les actions qui leurs sont liées (cf. Grèzes & Decety, 2002). Nous nous attendons à de meilleurs résultats avec les objets fonctionnels qu'avec les objets naturels. Cependant, si la vitesse de transformation est trop rapide au regard des capacités de traitement, le participant ne percevra pas l'état intermédiaire de la transformation et ne pourra identifier l'image cible. En variant la vitesse de transformation, nous nous

attendons à trouver une différence significative entre les performances des participants en fonction du type de stimuli et en fonction de leur expérience, donc de l'âge.

Dans ce sens, nous formulons cinq prédictions :

*Effet de l'âge :* en raison du niveau d'expertise lié à l'âge la performance des participants (a1 : enfant 7-9 ans , a2 : enfant 10-12 ans, et a3 : adulte) devrait varier :  $Réussite\ a3 > Réussite\ a2 > Réussite\ a1$  et  $TR\ a3 < TR\ a2 < TR\ a1$ .

*Effet de la vitesse :* lorsque la vitesse de transformation sera faible, la détection de l'image cible sera plus facile. Les participants devraient avoir le temps de traiter le changement de l'aspect perceptif et sémantique des stimuli, et enfin reconnaître l'état cible assez facilement. De manière générale, les participants devraient montrer une meilleure performance en v2 (4000 ms) qu'en v1 (500 ms) :  $Réussite\ v2 > Réussite\ v1$  et  $TR\ v2 < TR\ v1$ .

*Effet de l'ordre de transformation :* les participants montreront de meilleures performances lorsque les stimuli se transformeront dans l'ordre o1 (ABA) que dans l'ordre o2 (BAB) :  $Réussite\ o1 > Réussite\ o2$  et  $TR\ o1 < TR\ o2$ .

*Effet du type de stimuli :* selon le type de stimuli soumis à transformation (st1 : les objets naturels indépendants de l'action humaine, st2 : les objets fonctionnels pour qu'on y exerce des actions de la main, st3 : les visages qui se transforment sous l'effet des émotions), nous prédisons des différences de réussite et des différences de temps de réponse. Les performances devraient décroître lorsque la transformation aura lieu sur un visage émotionnel, puis sur un objet fabriqué, puis sur un objet naturel.  $Réussite\ st3 > Réussite\ st2 > Réussite\ st1$  et  $TR\ st3 < TR\ st2 < TR\ st1$ .

*Effet d'interaction :* l'âge, le type de stimuli, la vitesse et l'ordre sont des facteurs qui devraient interagir. Ainsi, les performances d'un enfant qui a du mal à traiter une transformation rapide d'un stimulus devraient se dégrader bien plus dans l'ordre 'BAB' que dans l'ordre 'ABA' et bien plus encore si le stimulus qui se transforme est un objet naturel plutôt qu'un visage.

### 3. Résultats

Afin de vérifier les prédictions expérimentales, nous avons d'abord analysé les taux de réussite, puis les temps de réponse pour tous les essais. Pour chacune des 12 conditions résultant du plan  $St_3 * V_2 * O_2$  où pour mémoire,  $T_3$  représente les 3 types de stimulus,  $V_2$  les deux vitesses de transformation,  $O_2$  les deux ordres de transformation, 6 vidéos de transformation ont été réparties en 2 séries de 3 vidéos. À chaque participant était attribuée aléatoirement une des deux séries. Il n'y a pas de différence significative entre les 2 séries, ni pour le taux de réussite, ni pour le temps de réponse. Les analyses portent sur les deux séries de vidéos avec 3 vidéo par condition et par participant, soit sur 2592 couples de données (Réponse et Temps de réponse).

#### a) Réussite

Nous avons analysé les scores de réussite pour chacune des 12 conditions. Les analyses portent sur les deux séries de vidéos avec 3 vidéo par condition et par participant. Pour toutes les conditions, nous avons un taux de réponse correctes supérieur à un choix aléatoire (0.8) jusqu'à une quasi-réussite (2.9) pour les 3 essais. Le tableau 3 présente l'ensemble des résultats. Une série d'ANOVAs, en mesure répétée, a été réalisée pour comparer les scores de réussite des participants en fonction de l'âge, selon le type de stimuli, selon la vitesse du morphing et selon l'ordre de la transformation.

**Tableau 3 :** Moyennes des scores de réussite et écart-type pour les 72 participants répartis en 3 groupes d'âge (27 enfants de 7-9 ans, 27 enfants de 10-12 ans, et 18 adultes) et confrontés à chacune des 12 conditions expérimentales.

		500						4000						
		ABA			BAB			ABA			BAB			
		NEC	OF	ON	VE	OF	ON	VE	OF	ON	VE	OF	ON	VE
7-9 ans	3	2 (0.8)	1.6 (1.2)	2.1 (0.9)	1.1 (1.1)	1 (0.9)	0.8 (0.8)	2.3 (0.8)	2.3 (1.1)	2.5 (0.7)	1.8 (1.1)	2.3 (1.1)	1.9 (0.9)	

10-12 ans	3	2.55 (0.6)	2.4 (0.8)	2.6 (0.6)	2 (1)	1.8 (0.9)	1.44 (1.1)	2.6 (0.7)	2.9 (0.3)	2.8 (0.4)	2.6 (0.7)	2.5 (0.7)	2.3 (0.8)
Adultes	3	2.11 (1)	1.9 (1.2)	1.8 (1.2)	2.1 (0.9)	1.8 (1)	1.9 (1)	2.5 (0.8)	2.6 (0.8)	2.6 (0.8)	2.4 (0.8)	2.4 (0.8)	2.4 (0.9)

*Légende : OF : objets fonctionnels, ON : objets naturels, VE : visages émotionnels, ABA : schéma de transformation canonique, BAB : schéma de transformation non canonique, 500 : vitesse rapide, 4000 : vitesse lente, NEC : nombre d'essais par condition pour chacun des participants.*

► ***Effets de l'âge sur la réussite***

Les enfants de 10-12 ans ont obtenu de meilleures performances de réussite que les adultes et les enfants de 7-9 ans ont obtenu les plus faibles performances. La réussite des enfants de 10-12 ans est de 2,37 ( $\sigma : 0.84$ ), celle des adultes est de 2.21 ( $\sigma : 0.99$ ) et enfin celle des enfants de 7-9 ans est de 1.8 ( $\sigma : 1.09$ ). Les résultats sont compatibles avec la prédiction 1 selon laquelle les performances devraient varier selon l'âge : la réussite des enfants de 7-9 ans est inférieure à celle des enfants de 10-12 ans et à celle des adultes (Réussite a3, Réussite a2 > Réussite a1) [ $F(2, 69) = 9.3, p = .0003$ ]. Toutefois, les enfants de 10-12 ans ont une performance supérieure à celle des adultes, mais cette différence (0.16 sur 3), n'est pas significative.

► ***Effets de la vitesse sur la réussite***

La différence des scores de réussite obtenus dans les deux vitesses est significative [ $F(2, 69) = 9.3, p < .0003$ ]. Les deux ordres de présentation et les trois types d'objets confondus, et avec 3 essais par condition, soit sur 18 essais, la vitesse 4000 induit une réussite moyenne de 14.5 sur 18 (80 %), alors la vitesse 500 induit une réussite moyenne de 11 sur 18 (61 %). Cette différence se retrouve pour chacun des trois groupes d'âge. La prédiction 2 sur l'effet de la vitesse est vérifiée.

► ***Effets de l'ordre de la transformation sur la réussite***

Lorsque les vidéos sont présentées dans l'ordre ABA, la réussite est de 14.1 sur 18 essais (78 %). Dans l'ordre BAB, la réussite est de 11.3 sur 18 essais (63 %). La différence est significative : la réussite est plus élevée pour l'ordre 'ABA' [ $F(1, 69) = 39.2, p = .0001$ ]. La prédiction 3 se trouve vérifiée.

► ***Effets du type de stimuli sur la réussite***

Lorsque les vidéos présentent des transformations de visages émotionnels (VE), la réussite est de 8.3 sur 12 essais (69 %). Lorsqu'il s'agit de transformations d'objets fabriqués, la réussite est de 8.6 sur 12 essais (71 %). Lorsqu'il s'agit de transformations d'objets naturels, la réussite est de 8.5 sur 12 essais (71%). Cette différence de réussite des participants selon le type d'objets n'est pas significative [ $F(2, 69) = 1.3, p = 0.27$ ]. La prédiction 4 selon laquelle les performances devraient décroître lorsque la transformation aura lieu sur un visage émotionnel, puis sur un objet fabriqué, puis sur un objet naturel ( $Réussite\ t3 > Réussite\ t2 > Réussite\ t1$ ) n'est pas vérifiée.

► ***Effets d'interaction : âge \* vitesse \* type de stimuli***

Il n'y a pas d'effet d'interaction.

► ***Effets d'Interaction : ordre \* vitesse \* type de stimuli***

L'effet de la vitesse et du type de stimuli interagit avec l'ordre de transformation. Globalement, la différence observée, entre la condition ABA vs. BAB, est significative pour les stimuli présentés en vitesse rapide (500 ms) : objets fonctionnels ( $p = .0005$ ), objets naturels ( $p = .003$ ) et visages émotionnels ( $p = .0001$ ). Alors que pour les stimuli présentés en vitesse lente (4000 ms), la différence observée, entre la condition ABA vs. BAB, est significative, uniquement pour les objets fabriqués ( $p = .03$ ) et pour les visages

émotionnels ( $p = .0001$ ). La différence n'est pas significative pour les objets naturels ( $p = .06$ ).

► ***Effets d'Interaction : ordre \* âge***

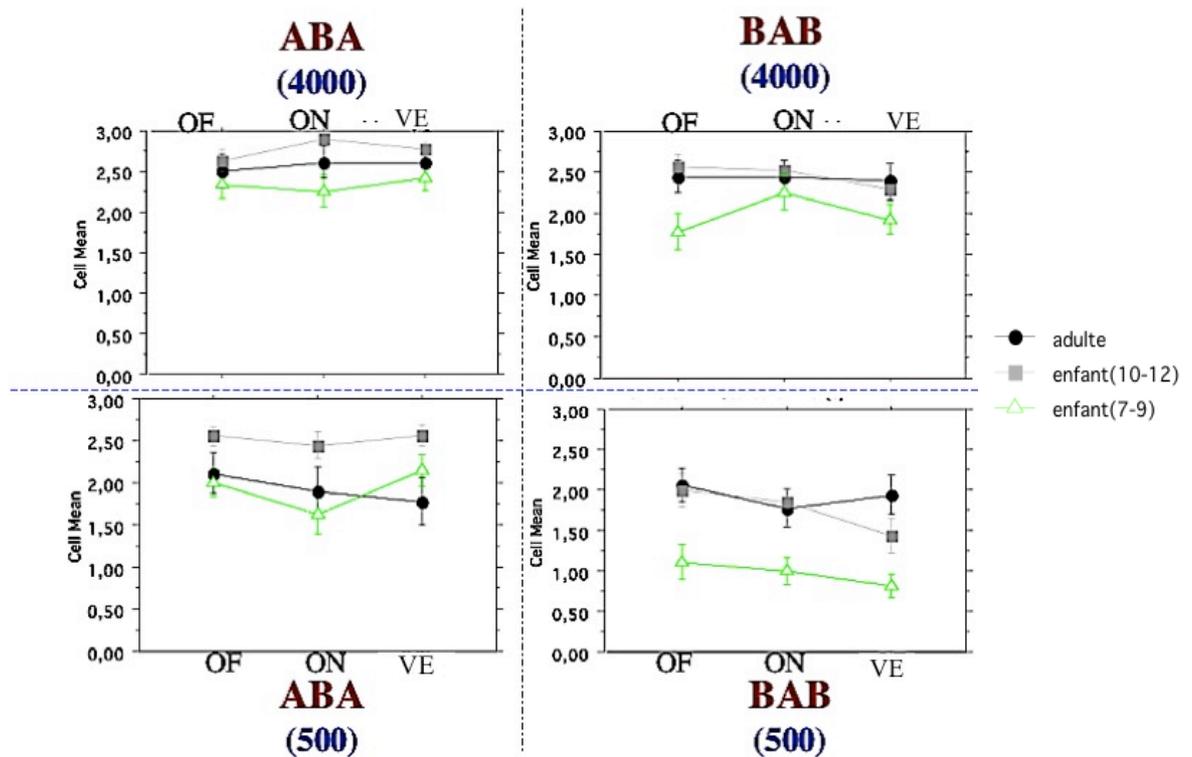
L'effet de l'ordre de la transformation interagit avec l'âge. Quels que soient la vitesse et le type de stimulus, la différence des moyennes de scores observées dans les deux conditions ABA vs. BAB, pour les trois groupes d'âge, est significative [ $F(1, 69) = 6.11, p = .0036$ ]. Les tests post-hoc de Tukey indiquent que cet effet dépend principalement du groupe des adultes qui se distingue des deux groupes d'enfant (7-9 ans et 10-12 ans). L'ordre de transformation n'affecte pas la performance des adultes, contrairement aux enfants qui laissent percevoir une baisse de performance générale dans toutes les conditions BAB.

► ***Effets d'Interaction : ordre \* vitesse \* type de stimuli \* âge***

La différence observée, entre la condition ABA vs. BAB, selon la vitesse et selon l'âge, est significative selon le type de stimulus : objets fabriqués/fonctionnels [ $F(2, 69) = 7.02, p = .06$ ] et visages émotionnels [ $F(2, 69) = 6.82, p = .002$ ]. Les enfants obtiennent de moins bonnes performances lorsque les stimuli objets fabriqués et visages émotionnels sont présentés dans l'ordre BAB en vitesse 500 ms. Cet effet conjoint (négatif) de l'ordre et de la vitesse se révèle significatif chez les enfants de 7-9 ans pour les objets naturels ( $p = .005$ ), pour les objets fabriqués/fonctionnels ( $p = .0002$ ) et pour les visages émotionnels ( $p = .0001$ ). Il en est de même chez les enfants de 10-12 ans, pour les objets naturels ( $p = .02$ ), les objets fabriqués/fonctionnels ( $p = .02$ ) et les visages émotionnels ( $p = .0001$ ), alors qu'il ne l'est pas chez les adultes sur l'ensemble des stimulus : objets naturels ( $p = .75$ ), objets fabriqués/fonctionnels ( $p = 0.8$ ) visages émotionnels ( $p = .69$ ) (cf. figure 18).

► ***Effets d'Interaction : ordre \* type de stimuli \* âge***

La comparaison des moyennes de scores de réussite, dans la série de la vitesse 4000 ms, les 3 groupes confondus, montre un effet différent de l'ordre de transformation selon le type de stimulus. Les tests post-hoc de Tukey indiquent que cet effet dépend du groupe d'enfants les plus jeunes (7-9 ans) qui se distingue significativement des deux autres groupes (10-12 ans et adulte). Les différences observées sont significatives, entre les enfants de 7-9 ans et les enfants de 10-12 ans ( $p = .0001$ ), entre les enfants de 7-9 ans et les adultes ( $p = .009$ ), alors qu'elle ne l'est pas entre les enfants de 10-12 ans et les adultes ( $p = .28$ ). Par ailleurs, la différence de moyenne de scores observée chez les enfants les plus jeunes, dans les deux conditions 4000-ABA et 4000-BAB est significative pour les visages [ $F(1, 26) = 12.77, p = .0014$ ], pour les objets fonctionnels [ $F(1, 26) = 8.78, p = .006$ ], alors que pour les objets naturels la différence est nulle ( $p = .99$ ). Ainsi, la performance des enfants les plus jeunes est plus affectée par le facteur ordre de transformation, que chez les plus âgés, en particulier lorsqu'il s'agit d'objets fabriqués/fonctionnels et de visages émotionnels.



**Figure 18** : Courbe des interactions sur la moyenne des scores de réussite (score maximal = 3) sur la reconnaissance des changements d'états dynamiques selon le type de stimulus, l'âge des participants, des deux ordres de présentation et des deux vitesses.

### b) Temps de réponse

Pour l'analyse des temps de réponse, les valeurs supérieures à 3 écart-types ont été remplacées par la moyenne. Ceci concerne 39 données sur 2592 soit 1.5 % des données. Par ailleurs les données de trois participants, soit 108 données, ont été exclues de l'analyse en raison de leur performance inférieure à 25% de réussite. Ainsi l'analyse des temps de réponse comprend au total 2484 données.

#### ► Effets de l'âge sur le temps de réponse

Comme pour la réussite, les résultats sont compatibles avec la prédiction 1 selon laquelle les performances devraient varier selon l'âge : les enfants de 7-9 ans ont mis plus de temps à répondre ( $M = 3664$  ms,  $\sigma = 2017$ ) que les adultes ( $M = 2399$  ms,  $\sigma = 1524$ ) qui ont mis plus de temps à répondre que les enfants de 10-12 ans ( $M = 2307$  ms,  $\sigma =$

1384). La différence des TR entre les deux groupes est significative [ $F(2, 66) = 15.9, p = .0001$ ]. Ici encore, les enfants de 10-12 ans ont une performance supérieure à celle des adultes, mais cette différence n'est pas significative.

► ***Effets de la vitesse sur le temps de réponse***

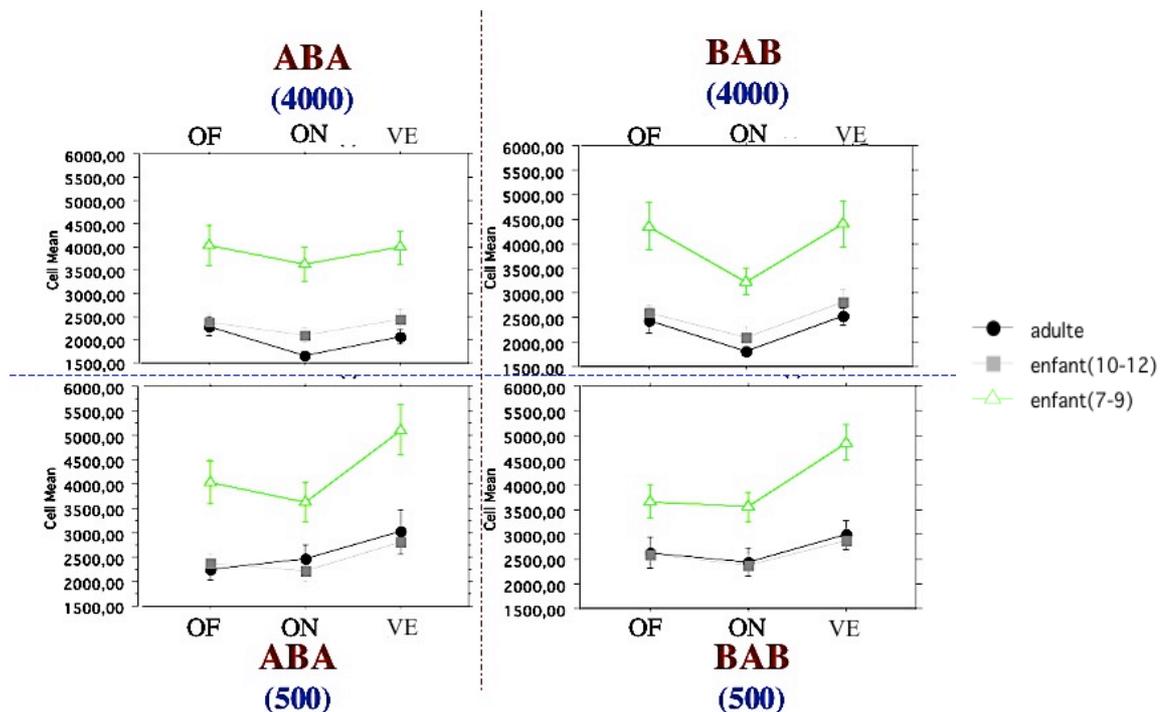
La différence des temps de réponse obtenus dans les deux vitesses est significative [ $F(2, 66) = 13.06, p = .0006$ ]. Les deux ordres de présentation et les trois types d'objets confondus, et avec 3 essais par condition, soit sur 18 essais, la vitesse 4000 induit des temps de réponses plus rapides avec une moyenne de 2731 ms ( $\sigma = 838$ ) pour 18 essais, alors que la vitesse 500 induit des temps de réponse relativement plus longs avec une moyenne de 3081 ms ( $\sigma = 909$ ). Cette différence se retrouve pour chacun des trois groupes d'âge. La prédiction 2 sur l'effet de la vitesse ( $TR_{v2} < TR_{v1}$ ) est vérifiée, mais la prédiction 5 sur l'interaction entre l'âge et la vitesse n'est pas vérifiée. La différence de TR observée entre les adultes et les enfants est significative [ $F(2, 66) = 15.92, p = .0001$ ], cette différence vient des plus jeunes enfants qui mettent beaucoup plus de temps à répondre que les enfants de 10-12 ans et les adultes manifestant des TR quasi égaux.

► ***Effets de l'ordre de la transformation sur le temps de réponse***

Quel que soit l'ordre de transformation des stimuli, 'ABA' ou 'BAB', les participants mettent autant de temps à répondre dans les deux conditions. La prédiction 3 selon laquelle l'ordre 'ABA' induirait des temps de réponse plus courts que l'ordre 'BAB' ( $TR_{o1} < TR_{o2}$ ) n'est pas vérifiée. Cet effet est présent dans les trois groupes ainsi la prédiction 5 sur les effets d'interaction entre l'âge et l'ordre de transformation n'est pas vérifiée. Toutefois, les enfants de 7-9 ans mettent beaucoup plus de temps à répondre que les enfants plus âgés et les adultes. Cette différence est significative [ $F(2, 66) = 15.7, p = .0001$ ].

► ***Effets du type de stimuli sur le temps de réponse***

La différence des temps de réponse obtenus dans les trois types de stimuli, les deux ordres de transformation et les deux vitesses confondues, est très significative [ $F(2, 64) = 13.06, p = .0001$ ]. Cependant, contrairement à la prédiction 4, les TR ne décroissent pas lorsque la transformation a lieu sur des visages émotionnels, puis sur un objet fabriqué, puis sur un objet naturel ( $TR t3 < TR t2 < TR t1$ ). Au contraire, les plus jeunes enfants mettent plus de temps à répondre lorsqu'il s'agit de transformation de visage émotionnel que d'objets naturels et encore plus que d'objets fabriqués (cf. figure 19). De plus, chez les adultes et les enfants de 10-12 ans, les visages, au même titre que les objets fabriqués ne sont pas traités plus rapidement que les objets naturels. Les objets naturels entraînent des temps de réponse relativement plus courts que ces derniers. Cet effet d'interaction entre Type de stimuli et Groupe est significatif [ $F(4, 64) = 3.4, p = .01$ ], ainsi la prédiction 5 est vérifiée.

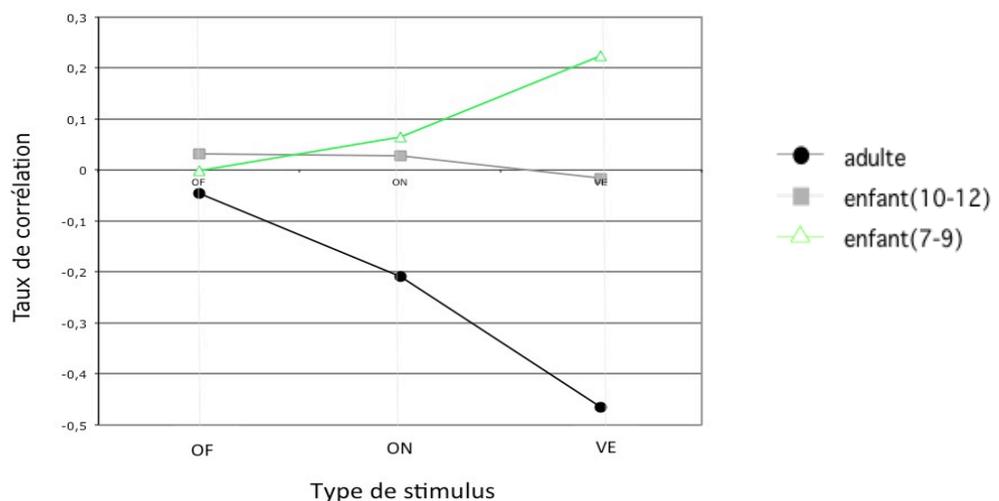


**Figure 19** : Courbe des interactions sur la moyenne des temps de réponse des participants selon le type de stimulus, l'âge des participants, des deux ordres de présentation et des deux vitesses.

### c) Corrélation entre réussite et Temps de réponse

Les résultats de cette étude montrent qu'il y a chez les adultes, une corrélation négative (-0.46) entre la réussite et les temps de réponse. Ainsi, plus la réussite est élevée et plus le temps de réponse est court. Cette assurance de la réponse correcte qui se manifeste par une rapidité de la réponse ne se retrouve pas chez les enfants de 10-12 ans pour lesquelles la corrélation est proche de zéro. Elle ne se retrouve pas non plus chez les enfants de 7-9 ans pour lesquels la corrélation est positive (0.22) (cf. figure 20).

En considérant l'âge et le type de stimuli, on note que la corrélation est nulle pour les trois groupes d'âge quand il s'agit d'objets fabriqués/fonctionnels. Elle est également nulle pour les enfants de 7-9 ans et de 10-12 ans pour les objets naturels et la corrélation est négative pour les adultes (-0.21). Concernant les visages émotionnels, nous observons une corrélation négative pour les adultes (-0.47) et une corrélation positive pour les enfants de 7-9 ans (0.22), alors que, pour les enfants de 10-12 ans la corrélation est proche de zéro. Autrement dit, pour les visages émotionnels, plus le temps de réponse est court, plus grande est la réussite pour les adultes et plus le temps de réponse est long, plus grande est la réussite des enfants de 7-9 ans. Chez les enfants de 10-12 ans, cet effet n'est pas présent.



**Figure 20 :** Corrélation entre réussite et temps de réponse des participants et des trois stimuli.

#### **4. Discussion**

Nous avons tout d'abord mis au point un dispositif dynamique simulant, à l'aide de la technique du morphing, un changement d'état de stimuli variés. Cette technique nous permet de modifier la vitesse du changement d'état tout en maintenant constant le nombre d'images par seconde, évitant la perception saccadée obtenue lorsque l'on ralentit la vitesse en réduisant le nombre d'images présentées. Avec ce dispositif, nous avons comparé les performances de trois groupes de sujets dans une tâche perceptive dynamique comprenant trois types de stimuli (visages émotionnels, objets fabriqués/fonctionnels à usage manuel, et objets naturels) produisant des changements d'état présentés à des vitesses et ordres variés. L'étude était largement exploratoire du fait de l'utilisation originale du morphing sur des objets et non plus seulement sur des visages comme dans les études précédentes (Kilts et al., 2003 ; LaBar et al., 2003 ; Sato et al., 2004 ; Trautmann et al., 2009).

Cependant nous prédisions que l'âge des participants, la vitesse de présentation, la nature des objets, l'ordre de transformation auraient un effet sur les performances des participants. En effet, conformément à notre attente, nous avons trouvé un effet de l'âge sur les performances liées à la vitesse, à l'ordre de transformation et au type de stimuli. Les performances des plus jeunes enfants (7-9 ans) se démarquent significativement de celles des enfants de 10-12 ans, qui elles-mêmes ne se différencient pas de celles des adultes. Les résultats montrent que, quels que soient les mécanismes impliqués, les performances liées à la perception visuelles du changement d'état des visages émotionnels et des objets sont déjà acquies à l'âge de 10-12 ans, alors que ça ne l'est pas encore à 7-9 ans. De plus, nous avons constaté auprès des enfants très jeunes, que la performance était impossible à réaliser à l'âge de 5-6 ans. Il se pourrait, comme Piaget et Inhelder ont pu le suggérer, que les images mentales de l'enfant de niveau préopérateur (avant l'âge de 7-8 ans) soient essentiellement statiques et que l'enfant soit inapte à figurer les transformations les plus simples d'objet (Piaget & Inhelder, 1971).

En effet, les enfants de 5-6 ans qui ont participé à notre étude, mais que nous avons exclus de l'analyse, ont tous réussi à la tâche de reconnaissance statique que nous avons

administrés avant la tâche dynamique. La tâche dynamique que nous proposons faisant recours à des opérations mentales concrètes (concernant la réversibilité, la conservation, la sériation d'état et la planification), il se pourrait bien que sa réalisation exige un niveau de représentation équivalant à ceux des enfants de 7 à 8 ans. Si nous nous référons au développement de l'intelligence de Piaget, les enfants du stade pré-opérateur (2 - 6/7 ans), n'auraient pas accès à la logique de raisonnement ni à la capacité de produire l'action B-A à partir de l'action A-B. Cependant, la question de savoir si le type d'opération mentale mobilisé par une tâche perceptive de changement d'état, correspond bien aux opérations concrètes, reste à débattre. Malgré cette incertitude, les résultats obtenus dans notre étude concordent avec ceux de Piaget et ses collaborateurs et non avec ceux de Marmor (1975) ni avec ceux de Kosslyn et ses collaborateurs (1990). Bien que la transformation des stimuli était liée à une expérience motrice du mouvement (pour les visages et les objets fabriqués) et que la tâche était accompagnée d'une consigne recourant à une stratégie (faire appel à l'image reproductrice cinétique de la transformation de l'objet), les enfants de 5-6 ans étaient incapables de réaliser la tâche. Nous notons que les processus de rotation mentale et les conditions expérimentales employées par les auteurs ne sont pas identiques à celles que nous avons employées dans notre étude. De ce fait, nous ne pouvons pas confirmer les données de Piaget & Inhelder (1971), Marmor, (1975) et Kosslyn et al., (1990). Bien que nos résultats suggèrent fortement l'existence d'une transition entre ces trois âges (5-6 ans, 7-9 ans et 10-12 ans) dans la perception des changements d'états dynamiques des stimuli que nous proposons.

Concernant notre prédiction, nous avons trouvé un effet constant de la vitesse de transformation sur les performances des trois groupes d'âge. La vitesse lente favorise la réussite de tous les participants. Par ailleurs, les résultats montrent que les schémas mentaux canoniques correspondant à l'interprétation usuelle des événements (ABA) facilitent la détection de l'image cible, et ceci, en particulier chez les enfants et non chez les adultes. Nous pouvons ainsi supposer, comme l'ont démontré les études issues de la rotation mentale (Olivier, et al., 2004 ; Shepard & Metzler, 1971; Schendan & Stern, 2007; Vingerhoets, et al., 2002), que les schémas internes favorisent la reconnaissance des

changements d'état, mais en contrepartie, étant plus difficiles à inhiber, les performances baissent lorsque la transformation correspond à un pattern de transformation non canonique (BAB). C'est ce que nous observons, chez les enfants, pour les objets fabriqués et les visages émotionnels. Les enfants réussissent moins bien dans l'ordre BAB que dans l'ordre ABA pour ces deux types de stimulus. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que la perception d'un état émotionnel ou d'une action, active précocement certaine région du cortex favorisant ainsi leur traitement (Adolphs, 2002; Dubal et al., 2010; Stolorova et al. 2006; Pourtois & Vuilleumier, 2007). Si l'on s'appuie sur ces données, l'état cible d'une transformation devrait être plus facile à retenir lorsqu'il s'agit d'un état émotionnel ou d'un état transformé sous l'effet d'une action, plutôt qu'un état neutre n'ayant pas subi de transformation. Ainsi, chez les enfants, nous pouvons supposer que la condition 'BAB', correspondant à une transformation non canonique avec l'état neutre à retenir en mémoire, soit plus difficile à traiter que la condition 'ABA', car elle exige une contribution plus importante des fonctions exécutives, qui sont elles mêmes en cours d'acquisition chez l'enfant.

D'autre part, bien que nos résultats ne nous permettent pas de confirmer la prédiction selon laquelle les visages émotionnels induiraient de meilleurs scores de réussite que les objets fabriqués à usage manuel et les objets naturels, les effets d'interactions entre la vitesse et l'ordre de transformation nous ont permis de mettre en évidence une différence dans le traitement des objets naturels et des objets à usage manuel (entrant dans les couplages perception - action). En effet, une vitesse lente n'a pas d'effet en présentation ABA pour les visages émotionnels ( $p = .27$ ) ni pour les objets fabriqués ( $p = .12$ ), tandis qu'elle améliore les scores pour les objets naturels. Cette absence de différence pourrait se justifier par le fait que le schéma de couplage perception et action lié à l'action sur les objets (Grèzes & Decety, 2002), se retrouve dans le traitement des émotions (Rizzolatti, 2008).

Nous constatons également, chez les plus jeunes enfants, que le traitement du changement d'état des objets naturels est plus sensible à la variation de la vitesse qu'à

l'ordre de transformation. Il se pourrait que cette sensibilité à la vitesse soit liée au fait que la transformation ne renvoie pas aux schémas moteurs, et que l'absence de relation forme/fonction rend le traitement perceptif moins immédiat (Cordier & Tijus, 2001 ; Johnson & Mervis, 1994). Ce qui expliquerait la baisse de performance lors de la présentation rapide de ces derniers. Bien que la chute de performance des objets fonctionnels et des visages émotionnels soit présente, elles n'est pas aussi prononcée que celle des objets naturels. Ces résultats nous renvoient à la théorie de l'opposition sensoriel/fonctionnel de Warrington & Shallice (1984) selon laquelle la reconnaissance des objets animés et naturels reposerait sur des aspects visuels et perceptifs (plus complexes) tandis que le traitement des objets inanimés reposerait sur des aspects fonctionnels (plus simples). Nous pouvons donc supposer que les transformations d'objets naturels « trop rapides » à l'égard des capacités de traitement des plus jeunes enfants, les induiraient en erreur, n'ayant pas bénéficié du temps nécessaire pour traiter les informations pertinentes à la scène perçue.

Nous constatons également que nos conditions ne permettent pas de détecter un effet de l'âge, donc de l'expérience, sur la perception des changements d'état des objets naturels, car contrairement aux objets fabriqués et aux visages émotionnels, nous observons des scores quasi égaux chez tous les participants pour les objets naturels présentés en vitesse lente, alors que dans le cas des visages émotionnels et des objets référant à des manipulations, la différence devient importante avec l'âge, donc l'expérience acquise. Nos prochaines études viseront à préciser, à travers des populations et conditions expérimentales variées, le rôle de l'expérience dans le traitement perceptif des changements d'état.

## **Chapitre 5 : Étude de la perception visuelle des changements dynamiques d'états chez les adolescents TSA de bas niveau de fonctionnement**

### **1. Contexte**

En raison des particularités perceptives soulevées dans les TSA contraignant l'acquisition de certains types d'expériences en référence aux émotions et aux intentions, il se pourrait que le traitement cognitif des changements d'états des visages et des objets soit minimisé chez eux. Il se pourrait aussi que les compétences visuelles spécifiques et particulières qui consistent à effectuer un traitement analytique et non holistique de l'information conduisent à des performances différentes entre le traitement des changements dynamiques d'états des visages et des objets.

### **2. Méthode**

#### **a) Ajustement de l'étude aux spécificités des TSA de bas niveau cognitif**

##### **► *Pré-expérimentation: ajustement de la tâche***

La tâche de détection de l'état cible au cours d'un changement d'état dynamique est une tâche perceptivo-cognitive qui nécessite des pré-requis. 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. Comme nous l'avons constaté dans l'étude 1, les très jeunes enfants âgés de moins de 6 ans n'étaient pas capables de réaliser cette tâche. Il nous a semblé probable que cette incapacité soit liée à la complexité de la consigne verbale qui n'était pas adapté à une population aussi jeune. Avec l'objectif de travailler avec une population clinique cet aménagement paraissait nécessaire par ailleurs. Les grands principes de l'aménagement étant de remplacer la consigne verbale en consigne visuelle, passage de la réponse par la souris en réponse tactile. Pour remédier à cela, un protocole de pré-expérimentation spécialement conçu pour les très jeunes enfants et les sujets avec autisme non-verbaux de faible niveau cognitif a été mis en place. Il s'agit

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 pré-requises de tous les participants aptes à différencier dans le processus de transformation ABA, l'état B de l'état A.

► ***Pré-expérimentation: ajustement du protocole***

En référence aux résultats obtenus dans l'étude 1, nous avons jugé nécessaire d'exclure la catégorie des objets naturels qui renvoie à des performances plus représentationnelles et difficilement comparables avec les transformations familières des objets fonctionnels et des visages émotionnels. Par ailleurs, nous avons retenu la condition optimale de réussite, c'est-à-dire la condition ordre ABA, qui révèle un taux de réussite égal à 83 % pour les objets et un taux de réussite égal à 86 % pour les visages émotionnels. Bien que le facteur vitesse n'a pas révélé de différence dans la performance des trois groupes typiques, nous retenons les deux vitesses afin de vérifier l'effet de ce facteur auprès d'une population TSA. Ce choix méthodologique a été fait en raison de la taille de nos trois groupes de comparaison exigeant de réduire le nombre de variables expérimentales.

► ***Méthode de la pré-expérimentation***

*Participants* : Une population de 11 enfants âgés de 4 à 9 ans a été recrutée pour tester le dispositif avec consigne adaptée. Compte tenu du retard de développement intellectuel que présente notre population clinique, il était impératif de tester ce dispositif auprès d'une population d'enfants à développement typique du même niveau de développement. Suite à la validation de ce dispositif auprès d'enfants typiques, 25 sujets (23 garçons et 2 filles) âgés de 14-29 ans ( $M = 18.7$  ans,  $\sigma = 3.5$ ) présentant des troubles du spectre autistique (TSA) et des troubles apparentés ont été recrutés dans deux institutions spécialisées (IME/SESSAD) et ont passé les pré-expérimentations (cf. tableau 3).

**Tableau 4** : participants du groupe clinique.

Groupe	Garçons/Filles	Age Chronologique	Niveau de développement
TED- Asperger	4/0	21-27 ans (M = 22, $\sigma$ = 4.6)	Sans retard mental
TED- Autisme	11/0	17-29ans (M = 19, $\sigma$ = 4)	4-10 ans (M = 8.2, $\sigma$ = 1.9)
TED- NOS	5/1	14-22 ans (M = 17.5, $\sigma$ = 3)	4-7 ans (M = 6.2, $\sigma$ = 1.8)
TED- Apparenté	3/1	15-18 ans (M = 16, $\sigma$ = 1.3)	4-10 ans (M = 6, $\sigma$ = 3)

*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). A partir de ces 4 items nous avons constitué 2 niveaux de 4 exercices que nous avons présenté sur un iPad. En tenant compte des particularités perceptives de 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, i.e. 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 logiciels *Match* (Poitrenaud).

*Niveau 1* : Chaque item sélectionné est présenté dans un état courant. Ce dernier est suivi de 3 images 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 test celle qui est identique à la canette noire (figure 21). Il s'agit d'une tâche de discrimination d'état.



**Figure 21** : Consigne visuelle pour le niveau 1 d'exercice du pré-test.

*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 test. Il s'agit d'une tâche de reconnaissance de changement d'état (cf. figure 22).



**Figure 22** : Consigne visuelle pour le niveau 2 d'exercice du pré-test.

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) différencié 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, et ainsi intégrer la consigne en procédant par essais/erreur.

Feedback Réussite : Si le participant clique la bonne réponse du premier coup, sa réponse est renforcée par l'estompage des images non cible et par un 'Bravo' (cf. figure 23).

Essai 1



**Figure 23** : Exemple de réussite en 1 coup d'essai pour le niveau 2 du pré-test.

Feedback Échec : Si le participant choisit une mauvaise réponse, l'image réponse va se déplacer vers l'image cible et se superposer. L'image réponse va alors devenir transparente (50 %) lors de la superposition (1 seconde) et va mettre en évidence la non similitude des deux images. L'image réponse va ensuite revenir à sa place et s'estomper et son

emplacement va devenir inactif. Le troisième essai conduit automatiquement à la réussite puisque les deux précédents ont conduit à des emplacement inactif (cf. figure 24).



**Figure 24** : Exemple d'échec pour le niveau 2 du pré-test.

*Procédure* : Les passations se déroulent en institution spécialisée dans une salle isolée. Le participant est installé sur une chaise devant le dispositif posé sur une table. L'expérimentateur présente la consigne non verbale et le dispositif aménagé. Il accompagne le sujet tout au long de l'exercice. Le participant passe d'un niveau à l'autre lorsqu'il obtient un score de réussite supérieur à 3/4.

*Critères d'inclusion dans l'expérimentation* : Les critères d'inclusion étaient : la compréhension des instructions simples (i.e. s'asseoir devant l'écran, utiliser son doigt pour la réponse sur l'écran), ne pas avoir de troubles moteurs ni d'anomalies visuelles non corrigées. L'objectif de cette pré-expérimentation était de constituer les groupes ayant les pré-requis nécessaires pour réaliser la tâche de détection de l'état cible au cours d'un changement d'état dynamique. Parmi les 25 sujets du groupe clinique, 18 ont franchi les pré-tests dont 12 sujets TED de type autistique et NOS, de 4 sujets Asperger et de 2 sujets présentant des troubles apparentés. Les sujets en difficulté ont bénéficié de séances d'entraînement pendant 2 mois (au rythme d'une fois par semaine) sans donner de résultat final (cf. tableau 4).

**Tableau 5** : Tableau des taux de réussite des 25 participants TSA concernant les deux niveaux du prétest.

N	Diagnostic	Niveau1	Niveau2	N	Diagnostic	Niveau1	Niveau2
1	TED Asperger	100	100	16	TED NOS	75	50
2	TED Asperger	100	100	17	TED NOS	75	100
3	TED Asperger	100	100	18	TED NOS	100	75
4	TED Asperger	100	100	19	TED NOS	100	100
5	TED Autistique	100	75	20	TED Apparentés	100	100
6	TED Autistique	100	75	21	TED Apparentés	50	-
7	TED Autistique	100	100	22	TED Apparentés	100	100
8	TED Autistique	75	50	23	TED Apparentés	25	-
9	TED Autistique	50	-	24	TED Apparentés	50	-
10	TED Autistique	100	100	25	TED Apparentés	75	50
11	TED Autistique	100	75				
12	TED Autistique	100	100				
13	TED Autistique	100	100				
14	TED Autistique	100	100				
15	TED Autistique	100	100				

## b) Test dynamique de morphing

### ► *Participants*

Le test dynamique de morphing a été présenté à trente-six participants volontaires. Ils ont été répartis en trois groupes ayant tous franchi les pré-expérimentations : un groupe de 12 adolescents présentant des troubles du spectre autistique (TSA), un groupe de 12 enfants à développement typique (EDT) et un groupe de 12 jeunes adultes typiques (AT). Parmi les 12 sujets TSA ( $M = 19.5$  ans,  $\sigma = 3.1$ ) de niveau cognitif faible à modéré, neuf répondent aux critères diagnostiques des troubles autistiques du DSM-IV-TR (APA, 2000), 3 répondent aux critères des troubles envahissants du développement non spécifiés. Les 12 sujets avec autisme ont bénéficié d'évaluations homogènes concernant le degré d'autisme

(CARS : Schopler et al., 1989) et le niveau de développement non verbal (RCPM: Raven et al., 1998). Les 12 enfants à développement typique ( $M = 8.1$  ans,  $\sigma = 2.2$ ) ont été appariés sur l'âge développemental non verbal (ADNV) des sujets TSA (cf. tableau 5).

**Tableau 6 :** Données individuelles.

Sujet	TSA			EDT			AT
	AC / Genre	RCPM score	RCPM ADNV	AC / Genre	RCPM score	RCPM ADNV	AC / Genre
01	17 / M	11	4	4 / M	14	4	24 / M
02	19 / M	18	5.5	5 / M	17	5.5	30 / M
03	19 / M	22	6.5	6 / M	20	5.5	28 / F
04	16 / M	24	7	7 / M	24	7	29 / M
05	19 / M	29	8.5	8 / M	27	7.5	17 / F
06	22 / M	31	9.5	9 / M	26	7.5	20 / M
07	20 / M	30	9	9 / M	27	7.5	24 / M
08	19 / M	30	9	9 / M	28	8	30 / F
09	20 / M	31	9.5	9 / M	30	9	32 / M
10	17 / M	32	10	10 / M	32	10	19 / M
11	18 / M	34	10	11 / M	33	10.5	19 / M
12	28 / M	35	12	11 / M	35	11.5	20 / M
Moy. ( $\sigma$ )	19.5 (3.1)	27.3 (7.1)	8.4 (2)	8.1 (2.2)	26.1 (6.4)	7.8 (2.2)	24 (5.3)

Les analyses montrent que la moyenne d'âge de développement ne diffère pas selon les deux groupes, [ $t(22) = .8, p = .43$ ]. Afin d'effectuer une comparaison basée sur l'âge chronologique des sujets TSA nous avons recruté 12 jeunes adultes typiques ( $M = 24$  ans,  $\sigma = 5.3$ ). Les critères d'inclusion étaient : la compréhension des instructions simples, pas de troubles moteurs ni d'anomalies visuelles non-corrigées. Tous les participants ou leurs parents ont donné leur consentement écrit libre et éclairé.

#### ► *Stimuli*

Les stimuli employés comprennent 8 vidéos de changement d'état dynamique de deux catégories de stimuli: objet fonctionnel (OF) et visage émotionnel (VE). Chaque catégorie est composée de 4 items (OF : bouteille en plastique, épingle à nourrice, trousse,

ciseaux; VE : joie, dégoût, surprise et peur). Ces items sont transformés suivant un pattern de changement d'état (ABA) à deux vitesses (500 ms, 4000 ms). Deux vidéos de démonstration ont été employées pour la phase de familiarisation.

► ***Procédure et tâche***

Tous les participants ayant franchi la phase de pré-expérimentation ont visualisé 8 stimuli dynamiques de morphing sur un écran d'ordinateur de 13.3 pouces (1280 x 800 pixels), dans une salle isolée. Les participants étaient placés à 50 cm de l'écran d'ordinateur, qui était posé sur une table avec une souris à portée de la main. Les participants devaient réaliser la tâche de détection de l'état cible au cours du changement d'état dynamique des stimuli. Il s'agit de la même tâche que l'expérience 1, à la seule différence qu'ils devaient utiliser la souris à la place d'un clavier numérique pour désigner la réponse.

► ***Plan expérimental et prédictions***

Le plan expérimental correspondant est le suivant :  $P_n < G_3 > St_2 * V_2 * I_4$ , où  $P_n$  représente les participants par groupe,  $G_3$  les 3 groupes,  $St_2$  les 2 types de stimuli,  $V_2$  les deux vitesses de transformation et  $I_4$  les 4 items.

***Prédiction 1*** : Nous prédisons un effet d'interaction entre le facteur groupe \* type de stimuli sur la performance. En raison des difficultés que rencontrent les personnes TSA à reconnaître les émotions et les intentions provenant des expressions du visage, nous nous attendons à de meilleures performances concernant le traitement des changements d'état des objets fonctionnels que celui des expressions faciales émotionnelles.

***Prédiction 2*** : La vitesse de présentation devrait avoir un effet sur la performance des sujets. Globalement la vitesse 4000 ms devrait induire de meilleures performances que la vitesse 500 ms. Si les difficultés des personnes TSA se situent à un niveau perceptif général affectant le traitement du mouvement, les sujets TSA devraient mieux réussir en 4000 ms qu'en 500 ms quel que soit le type de stimuli. En revanche, si les difficultés sont liées à un domaine spécifique, l'effet de la vitesse pourrait être différent selon le type de stimuli. Dans ce dernier cas nous nous attendons à un effet d'interaction Groupe \* Vitesse \* Stimulus.

### 3. Résultats

La réussite et le temps de bonne réponse ont été recueillis auprès des participants répartis en 3 groupes (G1 : 12 TSA, G2 : 12 EDT, G3 : 12 AT). Chaque participant a eu 4 essais pour chacune de quatre conditions expérimentales, selon que le type de stimuli était des objets fonctionnels (OF), ou des visages émotionnels (VE), selon que la vitesse de présentation était lente (4000 ms) ou rapide (500 ms). Avec 4 essais par condition pour chaque participant, nous avons avec les 36 participants un total de 144 observations par condition, et de 576 pour les 4 conditions. Chaque observation comprend la réponse (codée 1 pour la réussite et 0 pour l'échec) et le temps de bonne réponse (TBR). Selon le nombre d'essais réussis, pour chaque condition, un participant obtient un score de réussite compris entre 0 et 4. Le tableau 1 présente l'ensemble des résultats (Réussite et TBR) pour la réussite aux 4 essais, pour les quatre conditions et pour les 3 groupes de participants. La réponse consiste à choisir parmi 3 images, celle qui correspond à l'image cible, autrement dit l'état intermédiaire dans le processus de transformation : l'image B dans la transformation « ABA ».

**Tableau 7 :** Moyennes des réussites (score maximal = 4) et des temps de bonne réponse des trois groupes pour chacune des 4 conditions expérimentales.

	N	Réussite				TBR			
		500		4000		500		4000	
		OF	VE	OF	VE	OF	VE	OF	VE
TSA	12	2.3 (1.1)	1.8 (.9)	3 (.7)	2 (1)	4038 (2321)	4767 (3115)	3923 (1652)	4050 (1776)
EDT	12	2.3 (.9)	2.8 (1.3)	2.9 (1.3)	3.1 (1.4)	3749 (1962)	2899 (1203)	2870 (810)	2604 (681)
AT	12	3.1 (.9)	2.7 (1.1)	3.8 (.6)	3.8 (.6)	1816 (436)	1977 (788)	1739 (359)	1975 (411)

*Légende :* Type de stimulus (OF : objets fabriqués ; VE : Visages émotionnels) \* Vitesse (500 ms ou 4000 ms). TSA : adolescents autistes de bas niveau cognitif, EDT : enfants à développement typique, AT : jeunes adultes typiques.

*Réussite :* Pour toutes les conditions, à l'exception de celle des visages émotionnels à vitesse rapide pour le groupe TSA, nous avons un taux de réponses correctes supérieur à un choix aléatoire, jusqu'à une quasi-réussite pour les 4 essais.

*Temps de bonne réponse* : L'analyse se concentre sur le temps de bonnes réponses soit un total de 402 données sur 576 (70%) (TSA: 110; EDT: 133; AT : 159). Pour chaque groupe, les TBRs supérieurs à 2.5 écart-types ont été remplacés par la moyenne des groupes de chaque condition expérimentale. Ceci concerne 11 données sur 402 soit, 2.7 % des données.

*Traitement statistique* : Compte tenu de la taille de nos échantillons ( $n = 12$ ), le nombre de réponses correctes et le temps de bonne réponse ont été soumis à deux méthodes d'analyse : une analyse de la variance paramétrique (ANOVA) et une série de tests non paramétriques (Freadman ANOVA et Wilcoxon test pour les échantillons appariés et Mann-Whitney  $U$  test pour les échantillons indépendants). Les résultats issus de ces deux méthodes d'analyses se sont révélés similaires. Nous avons choisi de mettre au premier plan les analyses paramétriques afin de tester les effets d'interaction et d'obtenir des comparaisons post-hoc. Les résultats issus des analyses non-paramétriques sont présentés en annexe pour confirmer les effets observés. Toutes les ANOVAs décrites dans ce chapitre sont issues de mesures répétées et sont accompagnées d'analyse post-hoc avec les tests de Bonferroni ou de Student.

*Plan d'analyse* : Nous avons effectué deux séries d'analyses comparant A) les performances (Réussite et TBR) des sujets TSA à celles des EDT appariés sur l'âge de développement non verbal, et B) les performances des sujets TSA à celles des AT appariés grossièrement sur l'âge chronologique. Ces deux séries d'analyses suivent le même plan, présenté ci-dessous.

- ✓ *Analyse 1 ( $G_2 * St_2 * V_2$ )* : Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA vs. EDT et TSA vs. AT), le type de stimulus (OF, VE) et la vitesse (500 ms, 4000 ms).
- ✓ *Analyse 2 (4000 ms :  $G_2 * St_2$ )* : Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA vs. EDT et TSA vs. AT), le type de stimulus (OF, VE) sur les performances liées à la vitesse 4000 ms.
- ✓ *Analyse 3 (500 ms :  $G_2 * St_2$ )* : Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA vs. EDT et TSA vs. AT) et le type de stimulus (OF, VE) sur les performances liées à la vitesse 500 ms.

- ✓ *Analyse 4 (OF :  $G_2 * V_2$ )* : Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA vs. EDT et TSA vs. AT) et la vitesse (4000 ms, 500 ms) sur les performances liées aux objets fonctionnels.
- ✓ *Analyse 5 (VE :  $G_2 * V_2$ )* : Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA vs. EDT et TSA vs. AT) et la vitesse (4000 ms, 500 ms) sur les performances liées aux visages émotionnels.
- ✓ *Analyses non paramétriques*

#### **a) Comparaison TSA vs. EDT**

##### ✓ **Analyse 1 ( $G_2 * St_2 * V_2$ )**

L'analyse ne révèle pas d'effet principal du facteur groupe sur la réussite et les Temps de Bonne Réponse (TBR). Les deux vitesses et les deux types de stimulus confondus, les performances des TSA ( $M = 2.3, \sigma = .9$ ) ne se distinguent pas de celles des EDT ( $M = 2.8, \sigma = 1.2$ ). En revanche l'effet principal du facteur vitesse s'est révélé significatif sur les scores de réussite [ $F(1, 22) = 6.4, p = .02$ ]. Tous les participants ont mieux réussi lorsque les stimuli étaient présentés à 4000 ms ( $M = 2.8, \sigma = 1.1$ ) qu'à 500 ms ( $M = 2.3, \sigma = 1.1$ ) avec des TBR qui ne se distinguent pas entre eux. Nous n'avons pas observé d'effet principal du facteur type de stimulus sur les performances.

Les analyses des interactions montrent que le facteur vitesse n'interagit pas avec le facteur groupe. Quel que soit le groupe, la vitesse 4000 favorise la réussite de tous les participants avec des TBR quasi égaux. Un effet d'interaction entre le facteur groupe \* stimulus s'est révélé significatif sur les scores de réussite [ $F(1, 22) = 14.9, p = .0009$ ]. Les analyses post-hoc montrent que cet effet est dû au groupe TSA, ce dernier ayant obtenu des scores plus élevés pour les objet fonctionnels ( $M = 2.7, \sigma = .9$ ) que pour les visages émotionnels ( $M = 1.9, \sigma = .9$ ) (Bonferroni :  $p = .006$ ). Nous n'avons pas trouvé d'effet d'interaction groupe \* stimulus \* vitesse. Tous les sujets ont mieux réussi en condition 4000 ms qu'en 500 ms. Aucun effet de facteur ni d'interaction ne s'est révélé significatif dans l'analyse des TBR.

##### ✓ **Analyse 2 (4000 ms : $G_2 * St_2$ )**

L'analyse des performances liées aux stimuli présentés à 4000 ms révèle un effet du facteur groupe sur les TBR [ $F(1, 22) = 7.2, p = .01$ ] mais pas sur la réussite. Globalement, les sujets TSA ont mis plus de temps à répondre que les EDT (EDT :  $M = 2827$  ms,  $\sigma =$

773 ; TSA :  $M = 3905$  ms,  $\sigma = 1666$ ). L'effet du type de stimulus s'est révélé significatif sur la réussite [ $F(1, 22) = 5.8, p = .02$ ], démontrant que les objets fonctionnels ( $M = 2.9, \sigma = .1$ ) sont significativement mieux réussis que les visages émotionnels ( $M = 2.5, \sigma = 1.2$ ). Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR. L'analyse des interactions sur les scores de réussite montre que le facteur groupe interagit avec le facteur stimulus [ $F(1, 22) = 11.5, p = .003$ ]. Comme dans l'analyse précédente, les analyses post-hoc montrent une différence de performance intragroupe chez les sujets TSA, en faveur d'une meilleure réussite pour les objets fonctionnels ( $M = 3, \sigma = .7$ ) que pour les visages émotionnels ( $M = 2, \sigma = .9$ ) (Bonferroni :  $p = .003$ ) (cf. figure 25, a, b).

Pour approfondir cette analyse nous avons effectué des comparaisons simples en intergroupe et intragroupe avec des tests de Student. Les analyses intergroupe prenant comme facteur les visages émotionnels montrent que la réussite des TSA liée aux visages émotionnels se distingue significativement de celle des EDT [ $t(22) = -2.2, p = .03$ ]. Pour les objets fonctionnels, l'analyse montre que la performance des TSA et des EDT est similaire. Les analyses intragroupes en échantillon apparié révèlent dans le groupe des TSA une performance significativement plus élevée pour les objets fonctionnels que pour les visages émotionnels [ $t(11) = 4.7, p = .0007$ ] alors que cette différence n'est pas détectée dans le groupe des EDT (cf. figure 25, a).

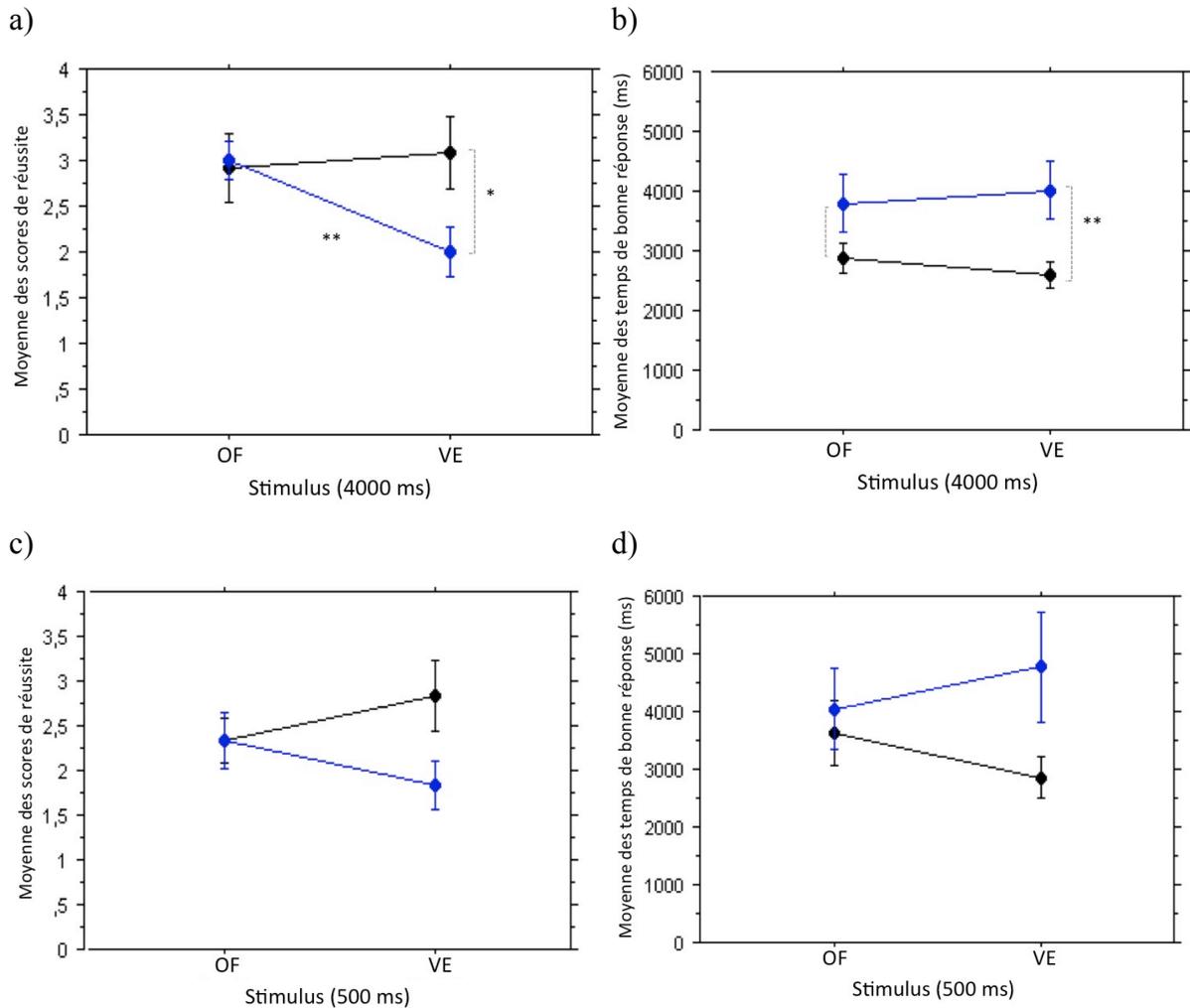
#### ✓ Analyse 3 (500 ms : $G_2 * St_2$ )

Nous n'avons pas trouvé d'effet de facteur ni d'interaction sur la performance (Réussite et TBR) des deux groupes (TSA, EDT) (cf. figure 25 c,d).

#### ✓ Analyse 4 (OF : $G_2 * V_2$ )

Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA, EDT) et la vitesse (4000 ms, 500 ms) sur les performances liées aux objets fonctionnels a été conduite afin de mesurer l'effet de la vitesse de présentation sur la reconnaissance des changements d'état des objets. Les résultats mettent en avant un effet facilitateur de la vitesse 4000 ms chez nos deux groupes, [ $F(1,22) = 6.1, p = .02$ ]. Tous les sujets ont mieux réussi lorsque les objets fonctionnels étaient présentés en 4000 ms plutôt qu'en 500 ms, démontrant l'existence

d'une modulation du traitement par la vitesse du mouvement chez nos deux groupes. Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR, indiquant que la vitesse de présentation du morphing n'a pas d'effet sur le délai de (bonne) réponse, ce qui pourrait paraître surprenant dans le cas de TSA.



**Figure 25 :** Moyenne des scores de réussite et des temps de bonnes réponses (erreur standard) des deux groupes (TSA ●, EDT ●), pour les objets fonctionnels (OF) et pour les visages émotionnels (VE) présentés à 4000 ms (a, b) et à 500 ms (c, d).

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ .

✓ **Analyse 5 (OF :  $G_2 * V_2$ )**

Une ANOVA prenant pour variable le groupe (TSA, EDT) et la vitesse (4000 ms, 500 ms), sur les performances liées aux visages émotionnels, révèle un effet du facteur

groupe sur la réussite [ $F(1,22) = 5.8, p = .02$ ] ainsi que sur les TBR [ $F(1,22) = 4.9, p = .04$ ]. Les sujets TSA ont obtenu des scores significativement inférieurs à ceux des EDT avec des temps de réponse plus longs. Nous n'avons pas trouvé d'effet modulateur du facteur vitesse sur les performances (Réussite et TBRs) des deux groupes.

## **b) Comparaison TSA vs. AT**

### **✓ Analyse 1 ( $G_2 * St_2 * V_2$ )**

L'analyse 1 prenant pour variable le facteur groupe (TSA, AT), le type de stimulus (OF, VE) et la vitesse (500 ms, 4000 ms) révèle un effet principal du facteur groupe sur la réussite [ $F(1, 22) = 15, p = .0008$ ] et sur les TBR [ $F(1, 22) = 6.4, p = .02$ ]. Les deux vitesses et les deux types de stimulus confondus, les performances des TSA ( $M = 2.3, \sigma = .9$ ) se sont révélées significativement inférieures à celles des AT ( $M = 3.3, \sigma = .8$ ) avec des TBR significativement plus long chez les TSA ( $M = 4148 \text{ ms}, \sigma = 2165$ ) que les AT ( $M = 1877 \text{ ms}, \sigma = 499$ ). Un effet principal du facteur vitesse s'est révélé significatif sur les scores de réussite [ $F(1, 21) = 14.7, p = .0009$ ]. Tous les participants ont mieux réussi lorsque les stimuli étaient présentés en 4000 ms ( $M = 3.1, \sigma = .7$ ) qu'en 500 ms ( $M = 2.5, \sigma = 1$ ) avec des TBR qui ne se distinguent pas entre eux. Un effet principal du type de stimulus s'est révélé significatif sur la réussite [ $F(1, 22) = 17.4, p = .0004$ ]. Les deux groupes et les deux vitesses confondus, les objets fonctionnels ( $M = 3, \sigma = .8$ ) ont conduit à des performances significativement supérieures à celles liées aux visages émotionnels ( $M = 2.6, \sigma = .9$ ). L'analyse des interactions montrent que le facteur stimulus interagit avec le facteur groupe [ $F(1, 22) = 5.5, p = .03$ ]. Comme dans la précédente comparaison avec le groupe EDT, les analyses post-hoc montrent dans le groupe TSA, que les scores de réussite obtenus dans la condition des visages émotionnels sont significativement inférieurs à ceux obtenus dans la condition des objets fonctionnels (Bonferroni :  $p = .0008$ ) alors que cette différence n'est pas présente dans le groupe AT. Les analyses mettent aussi en évidence une différence intergroupe concernant les scores de réussite liés aux visages émotionnels (Bonferroni :  $p = .01$ ) : les TSA réussissant moins bien les visages émotionnels que les AT. Aucun autre effet ne s'est révélé significatif sur les deux variables mesurées (Réussite et TBR).

### **✓ Analyse 2 (4000 ms : $G_2 * St_2$ )**

L'analyse des performances liées aux stimuli présentés à 4000 ms révèle un effet du facteur groupe sur la réussite [ $F(1, 22) = 20.1, p = .0001$ ] et sur les TBR [ $F(1, 22) = 20.4, p = .0002$ ]. Globalement, le groupe AT a obtenu des scores de réussite significativement supérieurs aux TSA (AT :  $M = 3.7, \sigma = .6$  ; TSA =  $2.5, \sigma = .8$ ) avec des temps de réponse plus courts (AT :  $M = 2881 \text{ ms}, \sigma = 1025$  ; TSA =  $3906 \text{ ms}, \sigma = 1666$ ). L'effet du type de stimulus s'est révélé significatif sur la réussite [ $F(1, 22) = 16.5, p = .0005$ ], démontrant que les objets fonctionnels ( $M = 3.4, \sigma = .7$ ) sont significativement mieux réussis que les visages émotionnels ( $M = 2.9, \sigma = .8$ ). Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR.

L'analyse des interactions sur les scores de réussite montre que le facteur groupe interagit avec le facteur stimulus [ $F(1, 22) = 16.5, p = .0005$ ]. Encore une fois, les analyses post-hoc montrent que la performance des sujets TSA concernant les visages émotionnels ( $M = 2, \sigma = .9$ ) est significativement inférieure à celle liée aux objets fonctionnels ( $M = 3, \sigma = .7$ ) (Bonferroni :  $p = .00005$ ). Notons que cette différence liée au type de stimulus n'a pas été observée dans le groupe AT.

Les analyses mettent aussi en évidence une différence inter-groupe concernant les scores de réussite liés aux visages émotionnels (Bonferroni :  $p = .001$ ). Concernant la condition du visage émotionnel (VE), le groupe TSA a obtenu des scores de réussite significativement inférieurs à ceux des AT (TSA :  $M = 2, \sigma = .95$  ; AT :  $M = 3.7, \sigma = .6$ ). Pour la condition OF, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les scores de réussite des deux groupes (TSA :  $M = 3, \sigma = .7$  ; AT :  $M = 3.7, \sigma = .6$ ). Cet effet d'interaction n'a pas été retrouvé sur les temps de bonnes réponses (cf. figure 26, a,b).

### ✓ Analyse 3 (500 ms : $G_2 * St_2$ )

L'analyse des performances obtenues dans la condition 500 ms révèle un effet du facteur groupe sur la réussite [ $F(1, 22) = 5.3, p = .03$ ] et sur les TBR [ $F(1, 22) = 10.5, p = .004$ ] : les AT ayant obtenu des scores de réussite supérieurs aux TSA et des temps de réponse plus rapides. L'effet du facteur type de stimulus sur la réussite s'est également révélé significatif [ $F(1, 22) = 4.3, p = .05$ ], les objets fonctionnels ayant conduit à de meilleures performances que les visages émotionnels. Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR, ni d'effet d'interaction sur les deux variables mesurées (cf. figure 26, c,d).

✓ **Analyse 4 (OF : G<sub>2</sub> \* V<sub>2</sub>)**

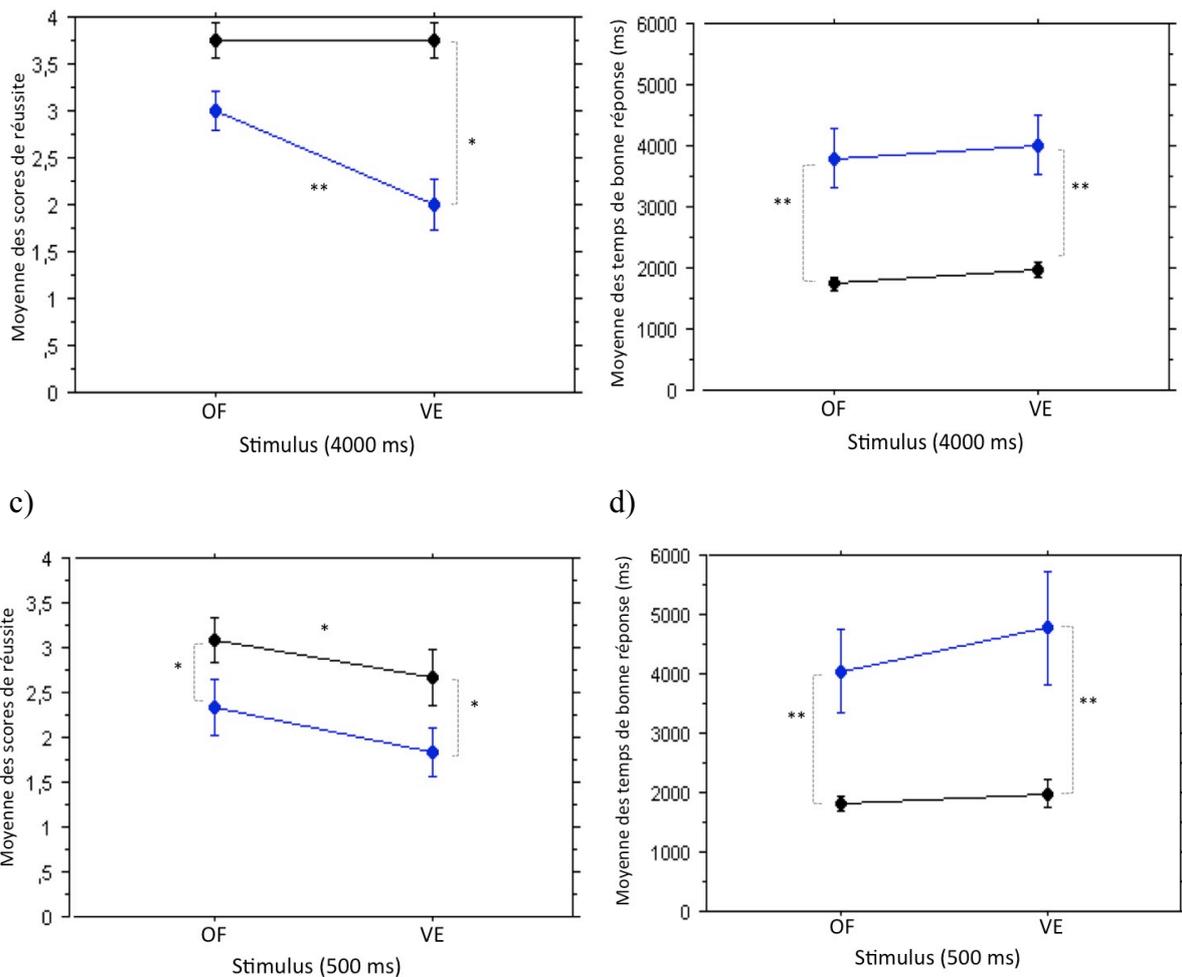
Comme dans la précédente comparaison avec le groupe EDT, l'analyse de la performance liée aux objets fonctionnels montre un effet du facteur groupe sur la réussite [ $F(1, 22) = 6.7, p = .02$ ] et sur les TBR [ $F(1, 22) = 17.5, p = .0004$ ]. Les AT ont obtenu des scores supérieurs aux TSA (AT : M = 3.7,  $\sigma = .6$ ; TSA : M = 3,  $\sigma = .7$ ) avec des temps de réponse plus rapide (AT : M = 1739 ms,  $\sigma = 359$  ; TSA : M = 3797 ms,  $\sigma = 1634$ ). Un effet significatif du facteur vitesse a également été retrouvé mettant en avant un effet facilitateur de la vitesse 4000 ms, [ $F(1, 22) = 12.1, p = .002$ ]. Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR ni d'effet d'interaction sur les deux variables mesurées.

✓ **Analyse 5 (OF : G<sub>2</sub> \* V<sub>2</sub>)**

Comme pour les objets fonctionnels, l'analyse des performances liées aux visages émotionnels révèle un effet du facteur groupe sur la réussite [ $F(1, 22) = 20.7, p = .0002$ ] et sur les TBR [ $F(1, 22) = 11.8, p = .002$ ]. Les AT ont obtenu de meilleures performances que les TSA (AT : M = 3.2,  $\sigma = .8$ ; TSA : M = 1.9,  $\sigma = .9$ ) avec des TBR plus court (AT : M = 1976 ms,  $\sigma = 1199$ ; TSA : M = 4391 ms,  $\sigma = 4813$ ). Les deux groupes confondus, l'effet du facteur vitesse sur la réussite s'est révélé significatif [ $F(1,22) = 6.7, p = .02$ ]. Globalement les visages émotionnels présentés en vitesse 4000 ms ont conduit à de meilleures performances qu'en 500 ms (4000 ms : M = 2.9,  $\sigma = .8$  ; 500 ms : M = 2.2,  $\sigma = 1$ ). Nous n'avons pas trouvé d'effet de ce facteur sur les TBR, ni d'effet d'interaction sur les deux variables mesurées.

a)

b)



**Figure 26** : Moyenne des scores de réussite et des temps de bonnes réponses (erreur standard) des deux groupes (TSA ●, AT ●), pour les objets fonctionnels (OF) et pour les visages émotionnels (VE) présentés à 4000 ms (a, b) et à 500 ms (c, d).

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ .

### ✓ Analyses non paramétriques

Nous présentons ci-dessous sous forme de tableau récapitulatif, les résultats obtenus aux analyses non paramétriques (cf. annexe 2 pour plus de détails). Conformément à nos résultats issus des analyses paramétriques, le test de Wilcoxon montre que la différence de performances liées aux objets fonctionnels et aux visages émotionnels est significative uniquement dans le groupe TSA et ceci dans la condition 4000 ms. Par ailleurs, les résultats montrent que pour tous les groupes, et dans les deux conditions de présentation, les temps de bonne réponse ne diffèrent pas selon le type de stimuli. De plus, le test de Mann

Witney montre que la différence de performances liées aux visages émotionnels dans les deux conditions de présentation est significative lorsqu'on compare la réussite du groupe TSA au groupe EDT. La comparaison TSA vs. AT met en évidence une différence significative globale en faveur des AT.

**Tableau 8** : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison: *TSA vs. EDT vs. AT*, dans la condition 4000 ms et 500 ms.

		Réussite		Temps de bonne réponse		
Non parametric test	Comparaison	4000 ms	500 ms	4000 ms	500 ms	
Wilcoxon	OF vs. VE	TSA	Z= 3.6**	Z= 1.47	Z= -.23	Z= -1.3
		EDT	Z= 1.3	Z= 1.4	Z= -1.4	Z= -.8
		AT	Z= 1.45	Z= -	Z= -1.5	Z= -.35
Mann Witney	TSA vs. EDT	OF	Z= -.4	Z= -.1	Z= 1.4	Z= .06
		VE	Z= -2.2*	Z= -2.1*	Z= 2.2*	Z= 1.4
	TSA vs. AT	OF	Z= -2.6**	Z= -1.8	Z= 3.3**	Z= 3.06**
		VE	Z= -3.7**	Z= -1.8	Z= 2.6**	Z= 2.5**

*Légende: Wilcoxon test: comparaison intra-group OF vs. VE et Mann Witney test: comparaison iner-group pour OF: Objets fonctionnels, VE: visages émotionnels.*

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ .

#### 4. Discussion

Les résultats issus du test dynamique de morphing mettent en évidence chez les sujets TSA de bas niveau de fonctionnement, une dissociation entre les capacités à percevoir le changement dynamique d'état lorsqu'il s'agit d'objets fonctionnels et lorsqu'il s'agit de visages émotionnels. Les sujets TSA ont obtenu de moins bonnes performances concernant le changement d'état des visages émotionnels alors que pour les objets fonctionnels, ils ont obtenu des performances égales aux enfants contrôles appariés en âge de développement non verbal. Ces résultats peuvent être expliqués par le développement de l'expertise concernant les objets fonctionnels et leur manipulation dans l'autisme. En effet, il a été montré que la perception des objets saisissables était facilitée par la représentation des actions correspondantes. On peut supposer que l'utilisation quotidienne des objets fonctionnels et l'expérience perceptivo-motrice acquise sur les objets aient pu faciliter la reconnaissance de leur changement d'état via la simulation mentale,

contrairement aux visages émotionnels. La difficulté à reconnaître les émotions sur les visages statiques (Ashwin et al., 2006 ; Braverman et al., 1989 ; Gross, 2004; Howard et al., 2000; Ozonoff, Pennington, & Rogers, 1990; Pelphrey et al., 2002; Wallace et al., 2008) et sur les visages dynamiques (Uono et al., 2010 ; Back et al., 2007 ; Clark et al., 2008) est bien répertoriée dans la littérature. Le fait d'une réussite similaire des sujets TSA et contrôle, lorsqu'il s'agit de la dynamique d'objets fonctionnels, ajoute une nouvelle information concernant le caractère spécifiquement social du dysfonctionnement perceptif.

Dans l'ensemble, nos résultats convergent en deux points avec les études utilisant des stimuli statiques. La première convergence concerne la difficulté à traiter les expressions faciales émotionnelles chez les personnes TSA. Une explication suggérée par certains auteurs est qu'une spécialisation corticale anormale du cerveau social (Wong et al., 2008) ainsi qu'une modulation anormale du cortex visuel primaire via le système amygdalien engendreraient un déficit dans le traitement visuel du signal émotionnel provenant du visage (Batty et al., 2011).

La deuxième convergence concerne la similitude de performance avec les sujets typiques lorsque les objets sont concernés. En effet, plusieurs études antérieures ont montré un traitement intact des objets statiques (Deruelle & Rondan, 2004; McPartland et al., 2011; Tenisse & de Gelder 2003; Wallace et al., 2008).

Au-delà de ces convergences, nos résultats apportent plusieurs éléments à la littérature. Tout d'abord, nous avons utilisé une présentation dynamique tandis que les principaux résultats classiques ont été obtenus avec des stimuli statiques pour les visages et pour les objets. Certaines études récentes ont utilisé des stimuli dynamiques, mais n'ont pas fourni de comparaison avec des objets (Pelphrey et al., 2007; Speer et al., 2007). Deuxièmement, nous avons contrôlé les principaux paramètres de mouvement du visage et des objets via notre méthodologie de morphing. Un appariement minutieux des paramètres de morphing pour les deux types de stimuli dynamiques nous a permis d'effectuer une comparaison valide sur le traitement des objets fonctionnels et des visages émotionnels. Nous offrons ainsi une vision unifiée de la performance liée à ces deux catégories de stimuli qui convergent avec les études utilisant des vidéos de visages ou d'objets indépendamment, ou en utilisant des objets sociaux et non sociaux qui n'ont pas les mêmes paramètres de comparaison.

Enfin, nous avons varié la vitesse de présentation des changements d'état afin d'en mesurer les effets. Les résultats montrent que l'effet de la vitesse est identique pour les trois groupes, lors qu'il s'agit de changement d'états des objets, avec une meilleures performances en 4000 ms qu'en 500 ms chez tous les participants. Or, lorsqu'il s'agit de changement d'états des visages émotionnels, cet effet facilitateur de la vitesse 4000 ms n'a pas affecté de façon significative la performance des sujets TSA et EDT, contrairement aux AT. La suggestion de Gepner et ses collaborateurs (2001) concernant l'effet facilitateur du ralentissement de la vitesse sur le traitement des expressions faciales dans l'autisme n'est pas vérifiable avec notre procédure, mais l'amélioration serait limitée aux visages compte-tenu de la bonne performance perceptive obtenue pour les objets présentés à la vitesse 4000 ms. Cette bonne performance pour les objets, qui varie en fonction de la vitesse de présentation tout comme chez les sujets typiques, montre chez les sujets TSA une sensibilité normale au changement d'état dynamique d'objet, suggérant ainsi une modulation intacte de la perception par le mouvement. En revanche, lorsque les visages émotionnels sont concernés, les données montrent que la performance des TSA n'est pas modulée par la vitesse du mouvement facial. Ces données comportementales, adjointes aux résultats obtenus en imagerie cérébrale par Pelphrey et ses collaborateurs (2007), laisse supposer que le traitement du mouvement serait intact dans les TSA et modulerait la perception des changements d'état des objets mais non celle des visages émotionnels.

Pourquoi une telle différence pour les visages émotionnels ? Bertone et ses collègues (Bertone et al., 2003), suggèrent que le déficit autistique dans la détection de mouvement dépend de la complexité des stimuli plutôt que du mouvement en soi. Les mouvements faciaux feraient partie des mouvements complexes en raison de la configuration du visage qui nécessite la mise en relation de ses différentes parties en mouvement. Or pouvons-nous considérer que les mouvements des objets tels que nous l'avons conçu dans notre matériel renvoient à des mouvements moins complexes que les visages ? En réalité, la question de la complexité du mouvement n'est pas abordable dans notre étude compte-tenu du fait que les stimuli employés sont différents de ceux employés dans le paradigme classique de la perception du mouvement simple et complexe. Une autre hypothèse est que les personnes atteintes de TSA auraient tendance à sur-investir le traitement des stimuli sur le plan visuel (Samson et al., 2011) et s'appuyer sur les aspects

configuraux du visage (Deruelle & Rondan, 2004) plutôt que sur la capture directe des signaux émotionnels qu'il véhicule.

En effet, une saisie directe des signaux émotionnels a été observée chez les adultes typiques autour de 100 ms (P1) post stimuli, avant même que le stimuli soit identifié comme un visage (Bentin et al., 1996; Chammat et al., 2010 ; Dubal et al., 2010 ; Pizzagalli et al., 1999; Pourtois & Vuilleumier, 2007). Batty et ses collaborateurs (2011) ont rapporté chez les enfants avec TSA une diminution de l'amplitude de la composante P1 suivi d'un temps de latence plus long de la composante N170 au cours des stades précoces du traitement des expressions faciales émotionnelles. Selon les auteurs, une modulation anormale du cortex visuel primaire via la connexion anatomique de l'amygdale et du STS, qui est censée faciliter le traitement du signal émotionnel (Batty & Taylor 2003), engendrerait un déficit dans le traitement visuel du signal émotionnel provenant du visage. Cette absence de modulation pourrait expliquer l'hyper-activation des aires visuelles observée chez les enfants avec TSA durant la visualisation des émotions faciales (Dapretto et la., 2006). Cette anomalie de filtrage pourrait perturber le traitement holistique du visage et entraîner une dissociation dans le codage de la configuration du visage et de son contenu affectif (Batty et al., 2011). Ces anomalies du fonctionnement cérébral qui empêchent la capture précoce des signaux émotionnels pourraient expliquer la faible performance liée aux visages émotionnels par rapport aux objets fonctionnels.

Sur le plan comportemental, Clark et ses collaborateurs (2008) ont rapporté un déficit de la capture précoce des signaux émotionnels (à 200 ms) chez les sujets TSA de haut niveau de fonctionnement, contrairement à un traitement intact des visages neutres et des stimuli non sociaux (animal et objet). Pour approfondir l'étude, une analyse de l'exploration visuelle des visages et des objets serait d'une valeur considérable. Le problème à résoudre est cependant de délimiter des régions d'intérêt pour les objets qui ne sont pas équivalants aux régions d'intérêts des visages.

## **Chapitre 6 : Étude comparative des comportements oculaires lors de la perception des changements d'états d'objet fonctionnel, de visage émotionnel humain et robotique chez les adolescents TSA de bas niveau cognitif.**

### **1. Contexte**

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. Comme nous l'avons exposé dans les chapitres précédents, 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 d'étude, le caractère spécifiquement social du déficit, en comparant la réussite et les comportements oculaires des sujets TSA et typiques.

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 (Gaussier et al., 2007; Nadel et al., 2006). Les schémas émotionnels sont des expressions prototypiques produites par 12 servomécanismes, et sont issus de la réplique la plus proche possible du FACS par Simon (Simon et al., 2007). 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).

## **2. Méthode**

### **a) 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 ( $M_{AC} = 19.5$  ans;  $\sigma = 3.1$ ) 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;  $\sigma = 2$ ) 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 ADN des deux groupes [ $t(22) = -1.8, p = .08$ ] (cf.

tableau 6). Enfin, 11 adolescents typiques ( $M_{AC} = 14$  ans,  $\sigma = 1$ ) ont été appariés approximativement sur l'âge chronologique (AC) des 12 sujets TSA.

**Tableau 9 :** Données individuelles.

	Groupe TSA			Groupe EDT			Groupe AT		
	AC	/Score	MPRC	AC	/Score	MPRC	AC	/Score	MPRS
	Genre	MPRC	ADNV	Genre	MPRC	ADNV	Genre	MPRS	ADNV
01	17/M	11/36	4	5/M	20/36	5	14 / F	42/60	12.5
02	19/M	19/36	5.5	5/M	20/36	5	14 / F	43/60	13
03	19/M	22/36	6.5	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	19 / M	29/36	8.5	6/F	24/36	7	16 / M	46/60	14
06	22 / M	37/60	9.5	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	20/M	31/60	9.5	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	34/36	10	9/M	29/36	8	15/M	41/60	12
12	28/M	42/60	12	10/M	32/36	10			
Moyenne	19.5		8.4	7		7	14		13
(ET)	(3.1)		(2)	(2)		(1.4)	(1.3)		(.07)

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

## b) 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), 4 visages émotionnels (VE) et 4 robots émotionnels (RE). Les items employés sont identiques à ceux de l'étude 2 à l'exclusion de l'expression du dégoût que nous avons du remplacer par la tristesse pour égaliser les régions d'intérêt des deux types de médium (visage humain et robotique), l'expression du dégoût mobilisant des mouvements faciaux autour de la région du nez que le stimuli robot ne possède pas. Le changement d'état pour les expressions du robot émotionnel a été créé comme il est expliqué dans l'étude 1 à travers la technique du morphing. Tous les clips vidéo ont été présentés à une vitesse de

4000 ms. Nous avons exclu la vitesse rapide de 500 ms car elle n'était pas pertinente pour une étude du comportement oculaire.

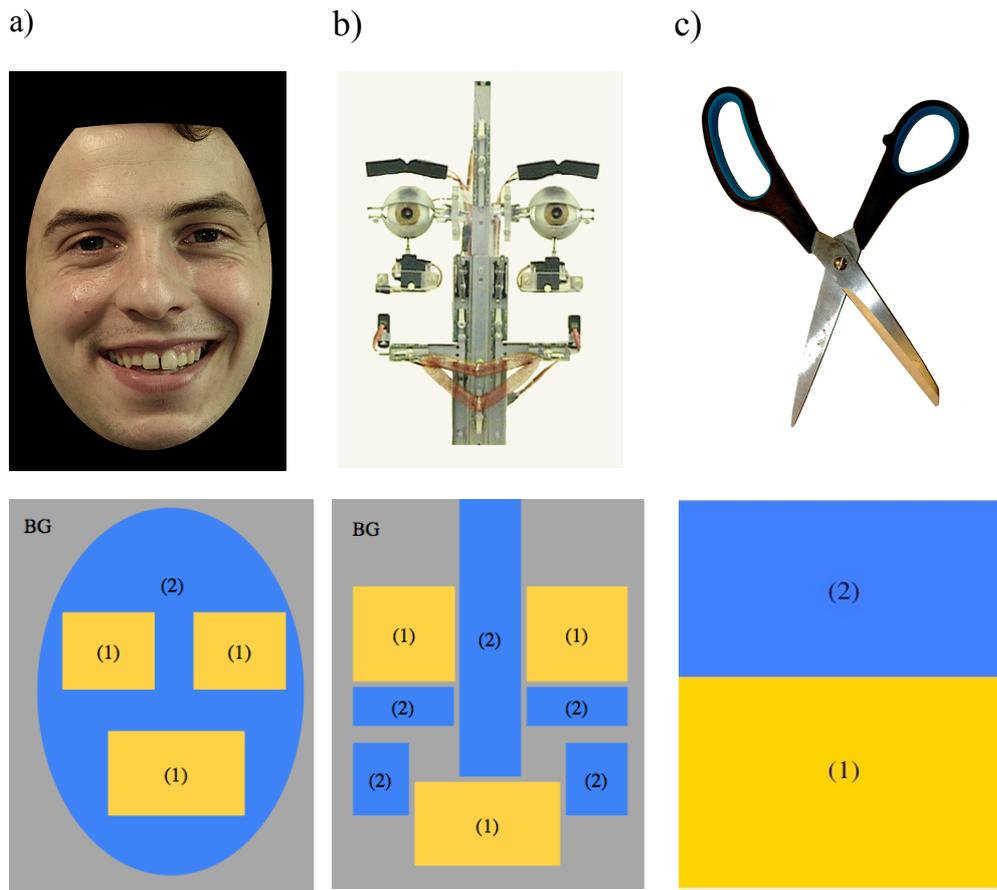
### **c) Procédure**

Les mouvements oculaires ont été enregistrés à une fréquence d'échantillonnage de 50 Hz à l'aide du système de suivi du regard, 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. La calibration a été effectuée sur 5 points avec un angle visuel de  $.5^{\circ}$ . Les participants étaient installés confortablement sur une chaise face à une table à environ 70 cm d'un écran d'ordinateur de 19 pouces (1280 x 1024 pixels). Une souris était mise à disposition sur la table pour permettre aux participants d'effectuer la tâche de reconnaissance décrite précédemment dans l'étude 2. Tous les participants ont bénéficié d'une phase de familiarisation avant l'expérience. Trois vidéos de démonstrations (une vidéo de chaque catégorie de stimuli) ont servi d'exemples.

### **d) 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 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 stimulus robotique 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 27).



**Figure 27** : 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, menton et frond, mouvement mécanique, servomoteurs; OF : Manipulation, BG : Background.

### e) Plan expérimental et prédictions

La réussite, le temps de bonne réponse et les durées de fixation ont été recueillis auprès de 35 participants répartis en 3 groupes (G1 : 12 adolescents TSA, G2 : 12 enfants à développement typiques, et G3 : 11 adolescents typiques). Il a été proposé à chaque participant 4 items pour chacune des 3 catégories de stimuli : visages émotionnels humains (st1), schémas émotionnels robotiques (st2) et objets fonctionnels (st3). 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 dans l'étude 2, entre les TSA et les TD concernant la reconnaissance des changements d'état des objets, on peut s'attendre à avoir des explorations visuelles (durée de fixation) similaires chez nos deux groupes lorsqu'il s'agit d'explorer les objets. En revanche, au regard de la faible performance des sujets TSA obtenue dans l'étude 2 lors de la reconnaissance des changements d'états émotionnels des visages il est probable que l'exploration visuelle des visages émotionnels chez les sujets TSA diffère des sujets typiques. Nous nous attendons à une exploration visuelle atypique des sujets du groupe 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 stimulus émotionnel (visage humain et schéma robotique) et le facteur groupe. Si nous prenons en compte les données de la neuroimagerie 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 d'une 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, l'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 pour 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 comportements oculaires qui reflèteraient 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 mises en mouvement.

### 3. Résultats

#### a) Performance

L'analyse porte sur la réussite et le Temps de Bonne Réponse recueillis auprès de 35 participants répartis en 3 groupes (G1 : 12 TSA, G2 : 12 EDT, G3 : 11 AT). Avec 4 essais par condition pour chaque participant, nous avons un total de 420 observations. Chaque observation comprend la réponse (codée 1 pour la réussite et 0 pour l'échec) et le TBR. 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 7 présente le score et les temps de bonne réponse des 3 groupes de participants.

**Tableau 10** : 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		
		OF	VE	RE	OF	VE	RE
TSA	12	3 (.7)	1.9 (.8)	1.8 (1.1)	4316 (2573)	4988 (3115)	5215 (3499)
EDT	12	3.2 (.7)	2.9 (.8)	2.5 (1.4)	5145 (3401)	3241 (2114)	3637 (2536)
AT	11	4 (0)	3.7 (.8)	3.2 (.6)	3428 (3940)	1986 (530)	2088 (344)

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

► **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 (OF, VE, RE). Les ANOVAs décrites dans ce chapitre sont issues de mesures répétées et sont accompagnées d'analyse post-hoc par le test de Bonferroni ou de Student. Les analyses non paramétriques ont été effectuée suivant la même procédure que l'étude 2 (cf. Annexe 2 - A, B).

► **Effet Groupe**

Les analyses révèlent un effet principal du facteur groupe sur la réussite des participants [ $F(2, 32) = 14.4, p = .00003$ ] et sur leurs TBR [ $F(2, 29) = 3.5, p = .04$ ]. Les analyses post-hoc montrent que ces effets sont dus aux scores de réussite et des TBR du groupe des AT (Réussite :  $M = 3.7, \sigma = .4$  ; TBR :  $M = 2501 \text{ ms}, \sigma = 1229$ ) qui se démarquent significativement de ceux du groupe des EDT (Réussite :  $M = 2.9, \sigma = .8$  ; TBR :  $M = 4020 \text{ ms}, \sigma = 2207 \text{ ms}$ ) et des TSA (Réussite :  $M = 2.3, \sigma = .6$  ; TBR :  $M = 4741 \text{ ms}, \sigma = 2629 \text{ ms}$ ) (Bonferroni:  $p < .04$ ). Nous n'avons pas trouvé de différence significative concernant les performances du groupe EDT et TSA.

► **Effet Stimulus**

Un effet principal du facteur stimulus s'est révélé significatif sur la réussite des participants  $F(2, 64) = 12.9, p = .0002$ , en faveur d'une performance significativement supérieure pour les objets fonctionnels par rapport aux deux autres catégories de stimulus (Bonferroni:  $p < .01$ ). 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 d'objet fonctionnel favorise la reconnaissance du changement d'état avec des TBR qui ne se distinguent pas entre eux.

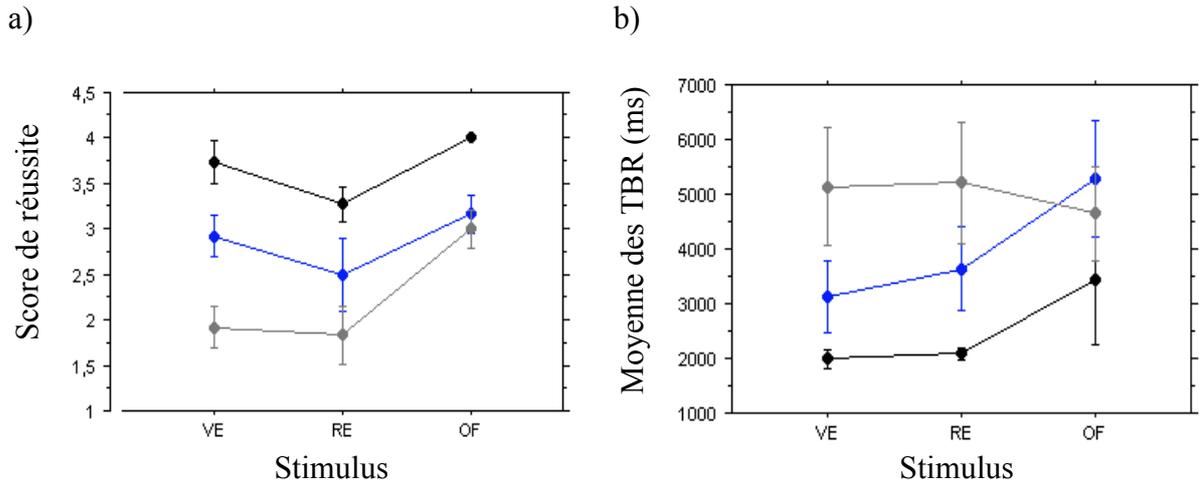


Figure 28 : Moyenne des scores de réussite (a) et des temps de bonne réponse (b) des trois groupes (TA ●, EDT ●, TSA ???), pour les objets fonctionnels (OF), les visages émotionnels (VE) et les robots émotionnels (ER) présentés à 4000 ms.

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ .

✓ **Analyses non paramétriques**

Nous présentons ci-dessous sous forme de tableau récapitulatif, les résultats obtenus aux analyses non paramétriques (cf. annexe 2-A,B pour plus de détails).

**Table 11** : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison, pour les trois types de stimulus.

Test non paramétrique	Comparaison	Réussite			TBR		
		TSA	EDT	AT	TSA	EDT	AT
Wilcoxon	VE vs. RE	Z= .1	Z= 1.2	Z= 1.5	Z= 1.2	Z= 2*	Z= .7

	VE vs. OF	Z= 2.8**	Z= .9	Z= 1.1	Z= .9	Z= 2*	Z= .5
	RE vs. OF	Z= 2.4*	Z= 1.6	Z= 2.4*	Z= 1.6	Z= 1.4	Z= .7
		VE	RE	OF	VE	RE	OF
Mann Witney	TSA vs. EDT	Z= 2.6*	Z= 1.2	Z= 0.6	Z= -1.4	Z= -.91	Z= .46
	TSA vs. AT	Z= 3.6**	Z= 3.2**	Z= 3.5**	Z= -3.1**	Z= -2.3**	Z= -1.7

*Légende: Wilcoxon test: comparaison intra-groupe et Mann Witney test: comparaison inter-groupe pour VE: visages émotionnels, RE : robot émotionnels OF: objets fonctionnels.*  
*\*  $p < .05$ , \*\*  $< .01$ .*

### **b) 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 ( $G_3 * St_3$ )* : comparaison de groupe sur la durée totale des fixations 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.

✓ *Analyse 2 ( $G_3 * ROI_2$ )* : comparaison de la durée des fixations des 3 groupes sur les ROIs des stimuli objets fonctionnels (OF). En raison de la nature différente des stimuli objets comparés 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.

✓ *Analyse 3 ( $G_3 * St_2 * ROI_2$ )* : comparaison des taux de 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 les régions des composantes émotionnelles centrales (CEC) et les composantes non émotionnelles (CNE), selon que le médium soit un visage humain ou un visage robotique.

*Analyse 4 ( $G_3 * ROI_2$ )* : comparaison (intra et intergroupe) des taux de fixations sur les régions du Mouvement Mécanique vs. régions des CEC du robot émotionnels (RE). A travers cette comparaison, nous cherchons à mettre en évidence une éventuelle dissociation entre intérêt pour le mouvement et intérêt pour le signal émotionnel chez nos sujets TSA.

✓ **Analyse 1 ( $G_3 * St_3$ )**

L'analyse révèle une différence inter-groupe sur la durée totale des fixation indiquant que les participants du groupe TSA ont accordé moins d'attention aux stimuli visuels comparés aux deux groupes typiques [ $F(2, 32) = 3.9, p = .03$ ]. 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 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 12).

**Tableau 12** : Taux de fixation des trois groupes de participants sur les trois catégories de stimuli visuels.

	OF	VE	RE
TSA	86 % (13 %)	88 % (19 %)	84 % (14 %)
EDT	90 % (9 %)	91 % (9 %)	95 % (8 %)
AT	96 % (6 %)	96 % (6 %)	98 % (3 %)

✓ **Analyse 2 ( $G_3 * ROI_2$ )**

La comparaison de la durée des fixations des 3 groupes sur l'exploration des stimuli objets fonctionnels (OF) 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 référant à la fonction des objets ( $M = 81.4 \%$ ,  $\sigma = 12.5 \%$ ) plutôt que sur les régions liées à leur manipulation ( $18.6 \%$ ,  $\sigma = 12.5 \%$ ).

✓ **Analyse 3 ( $G_3 * St_2 * ROI_2$ )**

Les moyennes des taux de fixation recueillis sur les régions d'intérêts des trois

groupes de participant sont présentées ci-dessous (cf. tableau 13).

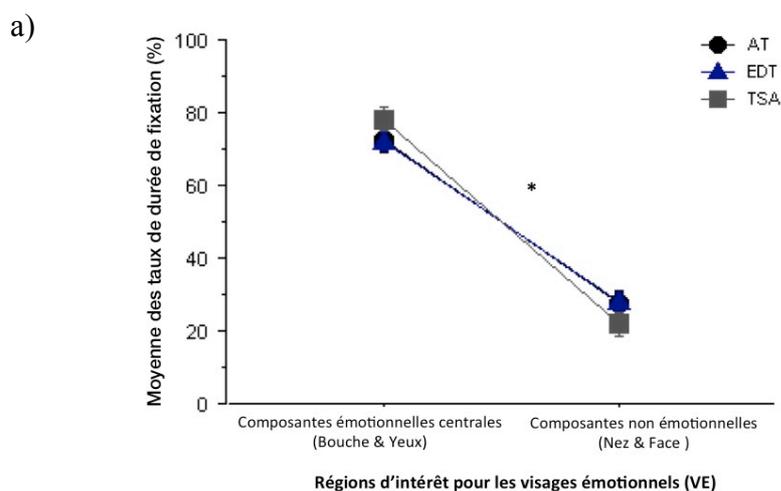
**Tableau 13** : Taux de fixation des trois groupes de participants sur les deux catégories de ROI (CEC et CNE) des stimuli émotionnels (VE et RE).

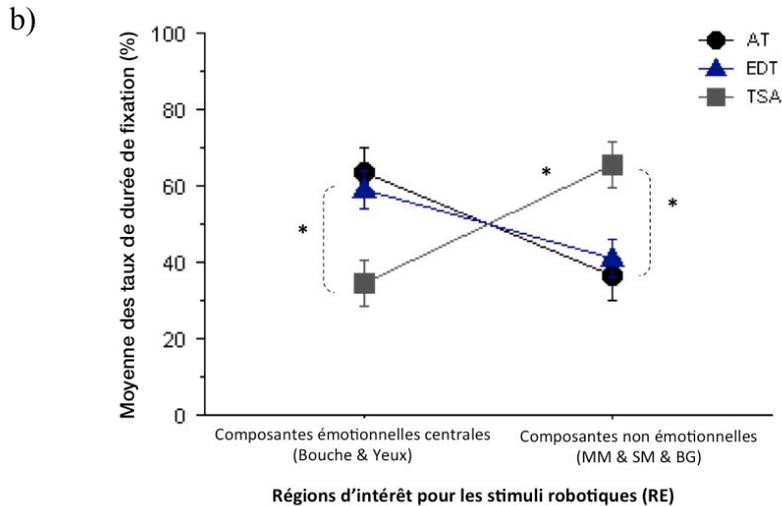
Stimulus	ROI	Composantes ROI	Groupe		
			TSA	EDT	AT
VE	CEC	Yeux	49 (22)	54 (16)	35 (17)
		Bouche	29 (19)	18 (16)	38 (18)
	CNE	Nez	14 (9)	19 (7)	22 (14)
		Autres (joue, front, menton)	8 (9)	9 (4)	5 (3)
RE	CEC	Yeux	19 (20)	15 (14)	13 (15)
		Bouche	16 (13)	44 (17)	51 (22)
	CNE	MM	58 (19)	33 (15)	33 (20)
		Autres (background)	7 (7)	7 (6)	4 (3)

Une Anova prenant pour variable le type de stimulus émotionnel (VE, RE) et les ROIs (CEC, CNE) montre un effet principal du facteur ROI sur la proportion de la durée des fixations des participants [ $F(1,32) = 42.2, p < .01$ ]. Les deux types de stimuli émotionnels et les deux groupes confondus, le taux de fixation pour les régions d'intérêt correspondant aux régions des composantes émotionnelles centrales ( $M = 63.2\%$ ,  $\sigma = 16.8\%$ ) s'est révélé significativement plus élevé que celui des composantes non émotionnelles ( $M = 36.8\%$ ,  $\sigma = 29.4\%$ ).

Un effet d'interaction stimulus \* ROI s'est révélé significatif [ $F(1, 32) = 42.2, p < .001$ ]. Les analyses post-hoc montrent que les trois groupes confondus, le taux de fixations portées sur la région des CEC des visages émotionnels ( $M = 74\%$ ,  $\sigma = 11\%$ ) est significativement supérieur au taux porté sur la région des CNE ( $M = 26\%$ ,  $\sigma = 11\%$ ) (Bonferroni :  $p < .0001$ ), alors que pour les stimuli robotiques les taux de fixations portées sur les deux régions ne diffèrent pas entre eux (CEC :  $M = 52\%$ ,  $\sigma = 23\%$  vs. CNE :  $M = 48\%$ ,  $\sigma = 23\%$ ). De plus, la différence de taux de fixation recueillis dans les régions CEC des visages émotionnels et celles du robot émotionnel s'est révélé significative (Bonferroni :  $p < .0001$ ).

L'interaction groupe \* stimulus \* ROI s'est révélée significative [ $F(2, 32) = 10.7, p = .0003$ ]. Les analyses post-hoc montrent que les taux de fixation recueillis chez nos trois groupes sur les régions d'intérêt des CEC des stimuli VE sont supérieurs aux taux recueillis sur les régions des CNE (Bonferroni :  $p < .0001$ ), indiquant que les trois groupes ont regardé plus la région des composantes émotionnelles centrales des stimuli humains. Ces données montrent que les sujets TSA ont exploré les visages émotionnels comme les typiques en accordant plus de 70 % de leur attention aux composantes émotionnelles du visage (yeux et bouche) (cf. figure 29 a). Cependant, lorsqu'il s'agit des stimuli robotiques, les analyses montrent une différence inter-groupe sur les taux de fixations portées sur ces deux régions. La distribution des taux de fixation dans les deux groupes typiques concernant les régions d'intérêt des stimuli robotiques n'est pas significativement différente d'une région à une autre, alors que dans le groupe des TSA le taux de fixations recueillies sur la région des CNE ( $M = 65 \%$ ,  $\sigma = 21 \%$ ) s'est révélé supérieur aux taux recueillis sur la région des CEC ( $M = 35 \%$ ,  $\sigma = 21 \%$ ) ( $p = .04$ ). Les comparaisons post hoc en intra-groupe montrent que cette diminution est significative (Bonferroni :  $p = .0003$ ). De plus, les comparaisons en inter-groupe montrent que le taux de fixations recueilli dans le groupe TSA sur la région CNE ( $M = 58 \%$ ,  $\sigma = 19 \%$ ) est significativement plus élevé que celui des deux groupes typiques (Bonferroni :  $p < .0001$ ) (cf. figure 29 b).

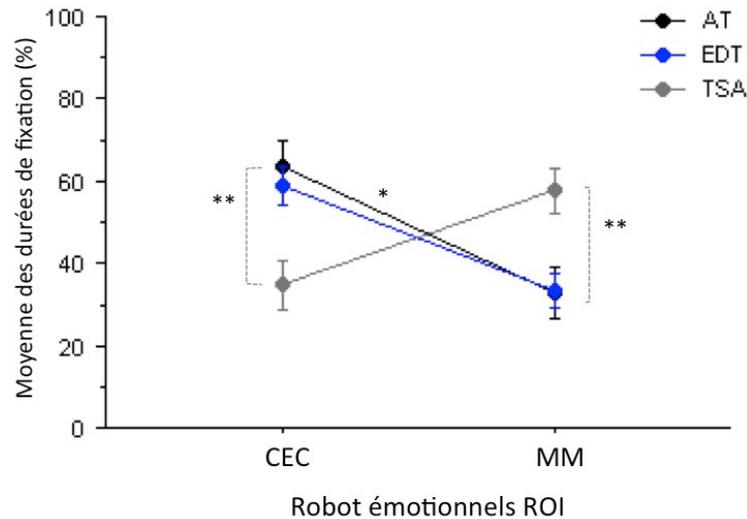




**Figure 29** : Taux de fixation des trois groupes concernant les deux régions d'intérêt (CEC vs. CNE) des visages émotionnels (a) et du robot émotionnel (b). \*  $p < .05$ , \*\*  $< .01$ .

#### ✓ Analyse 4 ( $G_3 * ROI_2$ )

Pour cette analyse nous avons tout d'abord effectué une ANOVA prenant pour variable le facteur groupe et les ROI du robot émotionnel. Nous nous sommes principalement intéressée à la distribution des taux de fixation entre les régions CEC et MM. Les résultats issus de cette analyse révèlent un effet d'interaction groupe \* ROI [ $F(2, 32) = 7.69, p = .002$ ]. Les analyses post-hoc en inter-groupe montrent que les sujets TSA ont regardé plus longtemps les parties mécaniques du robot en mouvement (MM) comparé aux groupes typiques (Bonferroni :  $p < .0001$ ). A la suite de cette analyse, nous avons réalisé pour chaque groupe des comparaisons simples sur les taux de fixations des régions CEC vs. MM. Les analyses montrent que la différence des taux de fixation recueillis sur les régions des CEC vs. MM est significative dans le groupe EDT [ $F(1, 11) = 8.2, p = .015$ ] et AT [ $F(1, 10) = 6.6, p = .03$ ] alors qu'elle ne l'est pas dans le groupe TSA. Les sujets typiques ont accordé significativement plus d'attention à la région des composantes émotionnelles centrales du robot qu'à la région des mouvements mécaniques, alors que les sujets TSA ont accordé autant d'attention aux deux régions (cf. figure 30).



**Figure 30 :** Taux de fixation des trois groupes concernant les 2 régions d'intérêt des du stimulus émotionnel robotique : composantes émotionnelles centrales (CEC) vs. mouvement mécanique (MM). \*  $p < .05$ , \*\*  $< .01$ .

#### ✓ Analyses non paramétriques

Nous présentons ci-dessous sous forme de tableau récapitulatif, les résultats obtenus aux analyses non paramétriques (cf. table 14 et annexe 2 - C,D pour plus de détails).

Comme dans les analyses paramétriques, le test de Wilcoxon montre que le taux de fixation des trois groupes recueilli sur les régions d'intérêt des composantes émotionnelles centrales du visage émotionnel (CEC) est significativement supérieur aux taux de fixation recueillis sur la région d'intérêt des composantes non émotionnelles (CNE). Tous les sujets ont accordé plus d'attention sur les régions des CEC que CNE du visage humain. De plus, les résultats mettent en évidence dans le groupe TSA, l'absence de différence dans les taux de fixation recueillis sur les régions CEC et MM du stimulus robotique. Contrairement à cela, les analyses montrent que les taux de fixation des groupes typiques diffèrent significativement d'une région à une autre, en faveur d'un fort taux sur les régions CEC du robot.

Par ailleurs, le test de Mann Whitney montre que les taux de fixation des sujets TSA sont significativement différents de ceux du groupe EDT, concernant l'exploration des robots émotionnels (CEC, CNE, MM). Les enfants typiques ont regardé plus longtemps les

régions CEC du visage que les TSA qui ont eux mêmes regardé plus longtemps les régions non émotionnels, c'est à dire celles des mouvements mécaniques du robot. La comparaison avec le groupe AT montre que les taux de fixations du groupe TSA se distinguent de ceux des AT pour les visages émotionnels. Les sujets AT ont regardé plus longtemps des régions CEC des visages que les TSA qui ont eux même regardé plus longtemps des régions CNE. De plus, le taux fixation recueilli sur la région des composantes non émotionnelles du robot est significativement plus élevé chez les TSA que chez les AT.

**Tableau 14** : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison, pour les trois types de stimulus.

Test non paramétrique	Comparaison	TSA	EDT	AT			
Wilcoxon	VE : CEC vs. CNE	Z= 3.1**	Z= 3.1**	Z= 2.8**			
	RE : MM vs. CEC	Z= 1.4	Z= 2.1*	Z= 1.9*			
		VE-CEC	VE-CNE	RE-CEC	RE-CNE	RE-MM	
Mann	TSA vs. EDT	Z= -1.4	Z= 1.4	Z= 2.5**	Z= -2.5**	Z= - 3.1**	
Witney	TSA vs. AT	Z= 2.9**	Z= -2.9**	Z= .9	Z= 2.2*	Z= -1	

*Légende: Wilcoxon test: comparaison intra-groupe et Mann Witney test: comparaison inter-groupe pour OF: Objets fonctionnels, VE: visages émotionnels. \* p< .05, \*\* < .01.*

#### 4. Discussion

A 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 diffèrait pas de celle des sujets typiques.

Par ailleurs, l'utilisation d'un stimulus robotique conçu 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 artéfacts possédant des

propriétés structurales similaires. Contrairement à notre attente, les résultats de cette comparaison ont révélé que l'exploration visuelle des stimuli émotionnels humain 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 humain 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 affectives 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 et Taylor, 2003; Bentin et al., 1996; Pizzagalli et al., 1999; Pourtois & Vuilleumier, 2007). Nous savons également que le cerveau adulte typique répond similairement, au niveau de la P1, aux schémas émotionnels de visages humains et 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) peut 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.





## *PARTIE DISCUSSION GÉNÉRALE*

Le changement d'état est un phénomène observable à travers la modification des propriétés transitoires d'une entité particulière, en rapport avec les événements et les actions qui lui sont appliquées. La saisie visuelle de la dynamique du changement d'état des objets et des visages émotionnels est essentielle dans le traitement des signaux environnementaux nécessaires à l'adaptation (Darwin, 1872). La perception visuelle d'une succession d'états est, dès lors, nécessaire pour comprendre le phénomène perçu. Cependant ces signaux renvoient à différents types d'interaction causale. Ainsi, les changements des objets inanimés requièrent l'intervention d'une cause externe, tandis que les changements des agents animés (i.e. visages) reflètent des états mentaux liés à des intentions ou à des émotions. Qui plus est, la perception des changements peut être influencée pour les objets par les actions intentionnelles qu'ils évoquent. Ainsi la reconnaissance des changements d'état des objets inanimés (objets) et des agents animés (visages) mobilise un traitement complexe et dynamique de leurs aspects perceptuels et représentationnels. Cependant très peu d'études mettent en évidence l'aspect dynamique du traitement car, en majorité, les matériels expérimentaux sont statiques. Or, la prise en compte de la nature des processus dynamiques impliqués dans le traitement des signaux environnementaux (objets et visages) semble être déterminante dans l'étude des interactions physiques et sociales des individus. Ceci vaut en particulier, pour des psychopathologies comme les troubles du spectre autistique, pour lesquelles certains indicateurs suggèrent l'existence d'un fonctionnement atypique du système perceptif visuel, susceptible de modifier la trajectoire neuro-développementale (Dawson, Webb & MacPartland, 2005).

Dans ce contexte de réflexion, notre première démarche a consisté à mettre en place une méthodologie de comparaison valide tenant compte de l'ensemble des propriétés intrinsèques des deux sources de mouvement que sont les visages et les objets. Nous avons donc conçu une base de données de stimuli visuels dynamiques basée sur la technique du morphing et le principe du changement d'état. Cette technique nous a permis de simuler un changement d'état des objets comparable à celui des visages en appliquant les mêmes

paramètres de mouvement sur les deux catégories de stimuli distinctes par nature, tout en gardant intactes leurs propriétés perceptives, ontologiques et fonctionnelles.

En référence aux particularités visuelles dans la population avec TSA, notamment concernant le traitement des aspects temporels et spatiaux des scènes visuelles, cette thèse avait pour objectif d'évaluer chez les personnes TSA de bas niveau cognitif, comparées à des sujets typiques, le rôle de trois facteurs impliqués dans la perception visuelle du changement dynamique d'état : le type de mouvement (biologique et physique), sa dynamique (vitesse) et le type de stimulus assujetti au mouvement. En manipulant ces facteurs sur trois catégories de stimuli visuels : objet fonctionnel, visage émotionnel et robot émotionnel, cette thèse avait comme second objectif d'établir une possible dissociation entre le traitement de ces trois types de stimuli dans notre population avec TSA.

Dans cette perspective, notre démarche a permis d'aborder deux interrogations centrales : « *Comment se distingue la perception d'un changement d'état d'un objet de celle d'un changement d'état d'un visage ? En quoi cela peut-il nous informer sur les particularités perceptives rapportées dans les TSA ?* ».

Pour aborder ces questions, il nous fallait réaliser un dispositif de comparaison contrôlée entre stimuli dynamiques de nature différente. Une fois validé, ce dispositif devait permettre des études comparatives avec des variables indépendantes et dépendantes maîtrisées. Notre choix s'est porté sur les changements d'état, et leur opérationnalisation par le morphing, comme susceptibles de recruter des ressources perceptivo-cognitives profondément liées aux propriétés ontologiques des stimuli.

#### ► ***Validité du dispositif et plan expérimental***

La première étude, conduite avec des enfants entre 4 et 12 ans et un groupe d'adultes a permis en premier lieu de recueillir une indication précieuse sur la nature de l'observation en jeu dans la tâche. En effet de nombreux sujets mimaient le changement

d'état expressif. Ainsi pouvions-nous légitimement considérer notre dispositif expérimental comme écologiquement valide puisque le processus d'appréhension du changement d'état participait d'un couplage perception-action similaire à celui intervenant dans l'observation naturelle.

En deuxième lieu, nos résultats nous ont permis de sélectionner les éléments pertinents pour approcher la problématique des particularités perceptives dans l'autisme. C'est ainsi que nous avons pu établir une vitesse de reconnaissance normative aisée et une vitesse limite, qui nous servirait ultérieurement à voir si les résultats de Gepner et collègues (Gepner, Maistre, Masson, & De Schönen, 1995; Gepner, Deruelle & Grynfeldt, 2001; Tardif, Lainé, Rodriguez & Gepner, 2007) pouvaient être généralisés dans un cadre de présentation dynamique différent du leur.

A côté du facteur de vitesse, le facteur de ressources cognitives est apparu important à prendre en compte à trois niveaux. Tout d'abord les enfants de 12 ans ont manifesté des compétences comparables à celles des adultes, ce qui était une information importante pour nos appariements typiques futurs. Ensuite, la modulation importante des performances des plus jeunes enfants typiques par la variation de la vitesse et de l'ordre de transformation suggèrent que dans certaines conditions expérimentales la tâche de reconnaissance des changements dynamiques d'état pourrait solliciter les fonctions cognitives de haut niveau. Or, l'objectif initial de cette thèse était d'étudier les mécanismes perceptifs de bas niveau. Ces résultats nous ont donc conduit à ne garder dans notre protocole que les conditions optimales de réussite basées sur des mécanismes perceptifs intuitifs de bas niveau (couplage perception-action). Ainsi, nous avons écarté le risque d'introduire un biais expérimental lié au matériel et à la tâche. A la lumière de nos résultats et de l'aménagement du dispositif, il est peu probable que la performance des sujets avec TSA pour le traitement des visages émotionnels (expérience 2, 3) soit liée à un facteur expérimental. Bien que la tâche de reconnaissance de changement dynamique d'état mobilise des ressources perceptivo-cognitives plus complexes qu'une tâche d'appariement d'image statique classiquement utilisée, les résultats issus de nos deux expériences sont en accord avec les données de la

littérature obtenues avec un matériel statique. Le fait d'une bonne performance pour les objets exclut *ipso facto* l'hypothèse d'un biais lié à la tâche. Restait la question du choix d'une population de bas niveau cognitif.

La majorité des études investissant le traitement visuel en situation dynamique dans l'autisme concernent avant tout les personnes de bon niveau cognitif, voire de haut niveau. Or il est bien connu qu'à partir d'un certain niveau de développement le recours à des stratégies cognitives devient courant. De ce fait il devient difficile d'effectuer des mesures isolées sur des mécanismes purement perceptifs. D'ailleurs, Harms et ses collaborateurs (2010) soulignent bien dans leur revue, les biais des facteurs expérimentaux comme l'âge des participants et la méthode d'appariement lors de l'étude de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles.

Dans le cas de cette thèse, nous avons fait appel à deux populations avec TSA : l'une de faible niveau cognitif dont les résultats ont été présentés dans les expériences 2 et 3, et l'autre de haut niveau cognitif (Asperger) dont les résultats n'ont pas été présentés en raison de l'effectif réduit (N= 4) de ce sous-groupe. Toutefois, les résultats des 4 sujets Asperger (âgés de 17-26 ans) nous ont révélé des performances égales voire supérieures à celles des sujets typiques avec une très faible modulation des performances par la vitesse et l'ordre de transformation (cf. tableau 13).

**Tableau 15** : Moyennes des scores de réussite et des temps de bonnes réponse (écart-type) pour les 4 participants Asperger.

		500						4000					
		ABA			BAB			ABA			BAB		
	NEC	OF	ON	VE	OF	ON	VE	OF	ON	VE	OF	ON	VE
R	4	3.2 (0.89)	3 (.76)	3.5 (0.53)	3.5 (.9)	3.5 (1.2)	2.75 (0.5)	4 (0)	4 (0)	4 (0)	3.5 (.5)	4 (0)	4 (0)
TBR	4	2860 (2323)	2421 (527)	3625 (3441)	3240 (1475)	2626 (1646)	2458 (1107)	3441 (2085)	2559 (1550)	3190 (1309)	3503 (1681)	3345 (1425)	3536 (1892)

Ces premiers résultats nous ont interrogé sur l'éventuelle possibilité d'un recours à des stratégies de compensation. En effet, il se pourrait comme le suggèrent Santos et collègues (2008) que les personnes TSA de haut niveau puissent utiliser des stratégies cognitives pour déterminer les informations et décider de les utiliser dans leur jugement (Santos, Rondan, Rosset, Da Fonseca, & Deruelle, 2008).

Cette question des stratégies cognitives nous renvoie à l'influence potentielle, sur les performances, du niveau cognitif des participants ainsi que des appariements utilisés. Habituellement, les appariements sont effectués sur le niveau cognitif (QI verbal ou non verbal). En raison des profils de développement hétérogène des personnes avec TSA dans le domaine verbal, non verbal et social, qui rend impossible de procéder à un appariement sur l'ensemble des critères, nous avons effectué un appariement sur les scores aux Matrices Progressives de Raven, un outil reconnu pour sa haute sensibilité aux aptitudes cognitives générales chez les personnes avec TSA (Soulière et al., 2009). L'appariement sur l'âge chronologique des participants a été effectué approximativement du fait des résultats de l'étude 1 montrant une homogénéité des performances typiques dès l'âge de 12 ans. L'hypothèse était que l'on mettrait en évidence l'apport des ressources perceptivo-cognitives de plus haut niveau chez les typiques appariés sur l'âge chronologique.

Dernière leçon de notre première étude retenue pour les expérimentations suivantes impliquant des participants avec TSA : les enfants typiques de 4-5 ans ne parvenaient pas à appréhender le changement d'état. Nous en avons tiré des enseignements quant à l'apprentissage nécessaire pour faire aborder la tâche par des jeunes avec TSA de bas niveau cognitif. Plusieurs mois ont été consacrés à la production d'un dispositif mobile permettant de se déplacer en IME et de réaliser plusieurs niveaux d'apprentissage avec réponse tactile directe puis équivalence visuelle de la réponse tactile, et sélection consécutive de la population en fonction des résultats des apprentissages préalables.

► ***Déficit spécifique ou général***

Préparées par la première étude normative, les deux études intégrant des participants avec TSA ont été consacrées à tenter de trancher entre l'hypothèse d'un traitement perceptif général ou celle d'un traitement différentiel pour le mouvement expressif d'un visage et pour le mouvement d'un objet. Des résultats expérimentaux retenaient particulièrement notre attention en référence au modèle du dysfonctionnement de l'amygdale.

L'utilisation de nos trois catégories de stimulus (OF, VE, RE) nous a permis de constater sur le plan comportemental l'existence d'une dissociation dans le traitement des signaux émotionnels et celui du mouvement chez nos sujets TSA. La performance intacte pour le changement d'état des objets témoigne que le mouvement et la transformation des objets liée à l'action ont été bien traités contrairement aux transformations des visages émotionnels. Cette asymétrie de performance observée chez les TSA (expérience 2) peut être le reflet d'un déficit spécifique de traitement socio-émotionnel. Comme le suggèrent de nombreux chercheurs (Dalton et al., 2005; Gross, 2004; Hernandez et al., 2009; Joseph & Tanaka, 2003; 2002; Pelphrey et al., 2002; Senju & Johnson, 2010), il se pourrait que des anomalies de fonctionnement cérébral empêchant la capture précoce des signaux émotionnels soient à l'origine de la faible performance des sujets TSA dans le traitement des visages émotionnels. En particulier, le modèle de l'hypoactivation de l'amygdale semble pouvoir apporter une explication plausible à nos résultats qui montrent une absence de différence entre le groupe des TSA et des enfants typiques dans l'exploration visuelle des régions principales d'intérêt des visages émotionnels (yeux et bouche). Le manque d'expertise du cerveau social, résultant de l'hypoactivation précoce de l'amygdale, ne permettrait pas de traiter efficacement les stimuli sociaux comme le regard. Selon le modèle de Senju et Johnson (2009), ces anomalies de l'activation cérébrale en réponse au contact du regard seraient causées par un défaut de modulation rapide entre les aires visuelles sous corticales (le colliculus supérieur, pulvinar, et l'amygdale) et corticales impliquées dans le traitement des stimuli sociaux (GF, STS). Il se pourrait que l'absence de cette modulation puisse entraîner une exploration visuelle basée sur les aspects

configuraux du visage (Deruelle & Rondan, 2004) ou sur la saillance perceptive du mouvement, plutôt que sur la capture directe des signaux émotionnels que le mouvement véhicule. En effet, c'est ce que nous avons observé pour le robot émotionnel. Les sujets avec TSA ont orienté leur regard sur les parties du mouvement mécanique autant que sur les composantes émotionnelles des visages (i.e. Yeux). Pelphrey et ses collaborateurs (Pelphrey et al., 2007) étaient déjà parvenus à mettre en évidence dans une étude en IRMf une telle dissociation de traitement du signal émotionnel et du mouvement. Ces données combinées à nos résultats suggèrent que le codage du mouvement physique est intact dans le cas de TSA, par différence du traitement du signal émotionnel, déficitaire quant à lui.

Cette dissociation de traitement des informations de bas niveau (mouvement et émotion) peut être également discutée au regard du modèle du sur-fonctionnement perceptif (Mottron et al., 2001, 2006). Rappelons que le postulat de base de ce modèle, dit global, défend l'existence d'un traitement perceptif intrinsèquement meilleur dans les TSA favorisant un mode de traitement local plutôt que global. En effet comme le suggèrent les auteurs de ce modèle, l'augmentation des activités cérébrales des aires visuelles et celles qui sont liées à l'expertise lors de la perception de différents types de stimuli (Samson et al., 2011) pourrait expliquer la perception intacte des stimuli statiques et leur discrimination, et la perception diminuée des mouvements complexes comme ceux des expressions faciales qui nécessitent un traitement global. Or, pour le traitement des expressions faciales émotionnelles cette argumentation n'est plausible que si l'on considère l'absence potentielle de la capture automatique du signal émotionnel ou plus précisément l'absence de la modulation des aires visuelles par l'amygdale dans les TSA. Car il est actuellement admis que traitement du signal émotionnel s'opère avant même que le stimulus soit encodé par le cerveau en tant que visage (Bentin, et al., 1996; Pizzagalli, et al., 1999; Pourtois & Pourtois, 2007) et que ce signal est capturé en tant que tel, indépendamment de son support visuel (Chammat, et al., 2010; Dubal, et al., 2010). Un fonctionnement intact de cette capture automatique devrait théoriquement moduler les aires visuelles et favoriser le traitement holistique des expressions faciales et faciliter la reconnaissance.

Au final, nos résultats, confrontés aux différents modèles théoriques des particularités perceptives dans les TSA, nous interrogeons sur le rôle du système magnocellulaire dans le traitement des expressions faciales émotionnelles. Le système de transmission rapide des basses fréquences spatiales à l'amygdale, via le système magnocellulaire, lors de la perception des émotions sur le visage (Vuilleumier et al., 2003; Pourtois & Vuilleumier, 2007), pourrait-il être déficitaire dans les TSA et contraindre le traitement holistique des visages et de son contenu affectif ? L'équipe de Deruelle (Deruelle, Rondan, Gepner, & Tardif, 2004) a rapporté chez les enfants TSA, une meilleure performance dans la reconnaissance des visages présentés avec une fréquence spatiale élevée plutôt qu'une fréquence basse, suggérant l'idée d'un traitement préférentiel local dans les TSA. Cependant, notons que les stimuli employés dans cette étude étaient des visages statiques et neutres et non des expressions faciales émotionnelles dynamiques. Il se pourrait qu'en utilisant un dispositif dynamique (haute et basse fréquence) nous puissions obtenir des résultats convergents, consolidant l'idée d'une dissociation de traitement concernant le signal émotionnel et celui du mouvement.

## *PERSPECTIVES*

Dans le but d'approfondir nos travaux, nous souhaitons prolonger ce travail en investissant le domaine de la neuroimagerie :

Une des premières études que nous souhaiterions conduire en EEG, concerne l'étude de la composante visuelle précoce (P1) impliquée dans le traitement du signal émotionnel lors de la perception des stimuli émotionnels. Nous avons pu voir dans les travaux réalisés par l'équipe de Nadel que le cerveau adulte typique répondait similairement, au niveau de la P1, aux expressions émotionnelles de visages humains et robotiques (Chammat, Foucher, Nadel, & Dubal, 2010; Dubal, Foucher, Jouvent, & Nadel, 2010). Or, dans le cas des TSA on s'attendrait à observer une différence d'activité cérébrale concernant l'apparition de l'onde P1 lors de la perception des visages émotionnels humains vs. robotiques présentés en dynamique. Cela pourrait nous permettre de vérifier, à partir d'indices neurophysiologiques, l'hypothèse d'un dysfonctionnement dans la capture du signal émotionnel dans les TSA.

Deuxièmement, l'utilisation d'une plateforme de tests combinant la technique de l'IRMf et de l'oculométrie, située au Centre de Neuro-Imagerie de Recherche de Paris, est également en perspective. Une telle opportunité nous permettrait d'étudier sur le plan cérébral d'éventuelles modulations atypiques des aires corticales et sous-corticales au cours de la perception des changements dynamiques d'état. En particulier, en utilisant notre dispositif d'étude il est probable que nous retrouvions des résultats allant dans le sens de l'étude de Pelphrey et ses collaborateurs (2007) et confirmant l'idée d'une dissociation de traitement du signal émotionnel et celui du mouvement dans les TSA.

Par ailleurs, l'hypothèse d'un éventuel défaut de la connectivité entre le système magnocellulaire et l'amygdale dans la modulation du cortex visuel, lors de la perception des stimuli socio-émotionnels pourra être approchée à partir d'une nouvelle série de stimuli que nous aimerions développer en manipulant la fréquence spatiale de nos stimuli morphés. Ainsi pourrait-on traiter la question de la modulation de la perception par le mouvement d'une part et par l'émotion d'autre part.

En élargissant nos études sur une population TSA de haut niveau (Asperger) et grâce à la recherche de corrélation entre les différents indices de comportement (performance, stratégies, comportement oculaire) et du fonctionnement cérébral, nous pourrions avoir une meilleure connaissance sur le caractère spécifique des particularités perceptives.

## RÉFÉRENCES

- Adolphs, R. (2003). Is the human amygdala specialized for processing social information? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 985, 326–340.
- Adolphs, R., Baron-Cohen, S., & Tranel, D. (2002). Impaired recognition of social emotions following amygdala damage. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1264–1274.
- Adolphs, R., Sears L., & Piven, J. (2001). Abnormal processing of social information from faces in autism. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 232–240.
- Adolphs, R., Tranel, D., Hamann, S., Young, A. W., Calder, A. J., Phelps, E. A., Anderson, A., Lee, G. P., & Damasio, A. R. (1999). Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37, 1111–1117.
- Allison, T., Puce, A., & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 267-278.
- 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.
- Aspell, J. E., Tanskanen, T., & Hurlbert, A.C. (2005). Neuromagnetic correlates of visual motion coherence. *European Journal of Neuroscience*, 22 (11), 2937–2945.
- Asperger, H. (1944). Die 'Autistischen Psychopathen' im Kindesalter, *Archiv fur Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 117, pp.76-136.
- Atkinson, A. P. (2009). Impaired recognition of emotions from body movements is associated with elevated motion coherence thresholds in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia*, 47, 3023–302.
- 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.
- Bailey, A., Luthert, P., Dean, A., Harding, B., Janota, I., Montgomery, M., Rutter, M., & Lantos, P. (1998). A clinicopathological study of autism. *Brain*, 121 (5), 889-905.

- 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.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the Autistic Child Have a Theory of Mind ? *Cognition*, *21*, 37-46.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Bullmore, E. T., Wheelwright, S., Ashwin, C., & Williams, S. C. (2000). The amygdala theory of autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *24*, 355–364.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., et al. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *11* (6), 1891-1898.
- Barton, M.E. & Komatsu, L.K. (1989). Defining features of natural kinds and artifacts. *Journal of Psycholinguistic Research*, *18*, 433-446.
- Bassili, J.N. (1979). Emotion Recognition: The Role of Facial Movement and the Relative Importance of Upper and Lower Areas of the Face. *Journal of personality and social psychology*, *37*, 2049-2058.
- Batty, M., Meauxa, E., Wittmeyer, 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.
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, *17*, 613–620.
- Bauman ML & Kemper TL. (1994). Histoanatomic observations of the brain in autism. in: Bauman, ML, Kemper, TL (Eds), *The Neurobiology of Autism*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 119-145.
- Bauman ML & Kemper TL. (1996). Observations on the Purkinje cells in the cerebellar vermis in autism. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, *55*, 613.
- Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently: visual processing in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, *10* (6), 258-264.
- Bentin, S., McCarthy, G., Perez, E., Puce, A., & Allison, T. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Cognitive Brain Research*, *8*, 551-565
- Bernier, R., Dawson, G., Webb, S., & Murias, M. (2007). EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder. *Brain Cogn*, *64* (3),

228-237.

- Bertenthal, B.I., Proffitt, D.R., & Cutting, J.E. (1984). Infant sensitivity to figural coherence in biomechanical motions, *Journal of Experimental Child Psychology*, 37, 213-230.
- Bertone, A., Mottron, L., & Faubert, J. (2005). Dissociating pathway- versus complexity-specific accounts of motion perception impairments in autism. *Current Psychology of Cognition*, 23, 75–83.
- Bertone, A., Mottron, L., Jelenic, P., & Faubert, J. (2003). Motion perception in autism : a ‘Complex’ Issue. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 218-225.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components : a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94, 115-147
- 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.
- Bloom, P. (1996). Intention, history and artifact concepts. *Cognition*, 60, 1-29.
- Braverman, M., Fein, D., Lucci, D., & Waterhouse, L. (1989). Affect comprehension in children with pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 19, 301-315.
- Brun, P., Nadel, J., & Mattinger, M.J. (1998). L’hypothèse émotionnelle dans l’autisme. *Psychologie français*, 43 (2), 147-156.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G.R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R.J., Zilles, K., Rizzolatti, G., Freund, H.J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur. J. Neurosci.* 13, 400-4.
- Bullinger, A. (1996). Approche instrumentale de l’autisme infantile. *Les cahiers du CERFEE* (numéro spécial : Autisme et régulation de l’action), 13, 147-164.
- Cabeza, R. (2008). Role of parietal regions in episodic memory retrieval: The dual attentional processes hypothesis. *Neuropsychologia*, 46, 1813–1827.
- Capps, L., Yirmiya, N., & Sigman, M. D. (1992). Understanding of simple and complex emotions in non-retarded children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33, 1169-1182.
- Caron, M. J., Mottron, L., Berthiaume, C., & Dawson, M. (2006). Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism. *Brain*, 129, 1789–1802.

- Castelli, F. (2005). Understanding emotions from standardized facial expressions in autism and normal development. *Autism*, 9, 428-449.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: The long and short of it. *Spatial Vision*, 4, 103-129.
- Celani, G., Battacchi, M. W., & Arcidiacono, L. (1999). The understanding of the emotional meaning of facial expressions in people with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29 (1), 57-66.
- 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
- Centelles, L., Assaiante, C., Nazarian, B., Anton, J.L., & Schmitz, C. (2011). Recruitment of both the mirror and the mentalizing networks when observing social interaction depicted by point-lights: a neuroimaging study. *PlusOne*, 6 (1), e15749
- 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.
- Chaminade, T., Hodgins, J., & Kawato, M. (2007). Anthropomorphism influences perception of computer-animated characters' actions. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2, 206–16.
- Chammat, M., Foucher, A., Nadel, J., & Dubal, S. (2010). Reading sadness beyond human faces. *Brain Research*, 1348, 95-104.
- Chao, L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12, 478-484.
- Chao, L., Martin, A, & Haxby, J. (1999). Are face-responsive regions selective only faces? *NeuroReport*, 10, 2945-2950.
- Chawarska, K., Shic, F. (2009). Looking But Not Seeing: Atypical Visual Scanning and Recognition of Faces in 2 and 4-Year-Old Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39, 1663-1672
- Chubb, C., & Sperling, G. (1988). Drift-balanced random stimuli: A general basis for studying non-Fourier motion perception. *Journal of the Optical Society of America*. 5, 1986-2007.

- Claire et al., (2012). Mutations in the SHANK2 synaptic scaffolding gene in autism spectrum disorder and mental retardation. *Nature Genetics*, 42, 489–491.
- Clark T., Winkielman, P. & McIntosh, D. (2008). Autism and the Extraction of Emotion From Briefly Presented Facial Expressions: Stumbling at the First Step of Empathy, *Emotion*, 8 (6), 803–809.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Shulman, G.L., & Petersen, S.E. (1993). 1 PET study of visuospatial attention. *The Journal of Neuroscience*, 13, 1202–1226.
- Corden, B., Chilvers, R., & Skuse, D. (2008). Avoidance of emotionally arousing stimuli predicts social-perceptual impairment in Aspergers syndrome. *Neuropsychologia*, 46, 137-147.
- Cordier, F. & Tijus, C. (2001). Object properties : A Typology . Cahiers de Psychologie. Cognitive, *Current Psychology of Cognition*, 20 (6) , 445-472.
- Coss, R. G. (1978). Perceptual determinants of gaze aversion by the lesser mouse lemur (*Microcebus murinus*): the role of two facing eyes. *Behaviour*, 64, 248-270
- Craighero, L., Fadiga, L., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. (1999). Action for perception: A motor-visual attentionale effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1673-1692.
- Creem, S.H., & Proffitt, D. R. (1999). Separate memories for visual guidance and explicit awareness. In B. H. Challis & B. M. Velichkovsky (Eds.), *Stratification in cognition and consciousness* (pp. 73-96). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Creem, S.H., & Lee, J. N. (2005). Neural representations of graspable objects: are tools special? *Cognitive brain research*, 22 (3), 457-469.
- Critchley, H. D., Daly, E. M., Bullmore, E. T., Williams, S. C., Van Amelsvoort, T., Robertson, D. M., et al. (2000). The functional neuroanatomy of social behaviour: Changes in cerebral blood flow when people with autistic disorder process facial expressions. *Brain*, 123, 2203–2212.
- Culham, J., He, S., Dukelow, S., & Verstraten, F.A. (2001). Visual motion and the human brain: what has neuroimaging told us? *Acta Psychologica*, 107 (1–3), 69–94.
- Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H. H., et al (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nature Neuroscience*, 8, 519- 526.
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., et

- al. (2006). Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature Neuroscience*, 9, 28–30.
- Darwin, C. (1872). *The expression of emotion in man and animals*. London: Murray.
- Davidson, R.J., Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 11-21.
- Dawson, G., Webb, S., & McPartland, J. (2005). Understanding the nature of face processing impairment in autism: insights from behavioral and electrophysiological studies. *Developmental Neuropsychology*, 27, 403-424.
- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., Grassi, F., & Fazio, F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*, 120 (10), 1763.
- Deruelle, C. (2007). Global and configural visual processing in adults with autism and Asperger syndrome. *Research in developmental disabilities*, 28 (2), 197-206.
- Deruelle, C., & Rondan, C. (2004). A look into configural perceptual abilities in children with autism. *Cognition, Brain, Behaviour, Special Issue: Typical and Atypical Development*, 3-4, 397- 408.
- Deruelle, C., Rondan, C., Gepner, B., & Fagot, J. (2006). Processing of compound visual stimuli by children with autism and Asperger syndrome. *International Journal of Psychology*, 41, (2), 97–106.
- Deruelle, C., Rondan, C., Gepner, B., & Tardif, C. (2004). Spatial frequency and face processing in children with autism and Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 34, 199-210.
- Dimberg, U. (1982). Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology*, 19, 643–647.
- Dimberg, U., & Pettersson, M (2000). Facial reactions to happy and angry facial expressions: Evidence for right hemisphere dominance. *Psychophysiology*, 37, 693–696.
- Dimberg, U., & Thunberg, M. (1998). Rapid facial reactions to emotional facial expressions. *Scandinavian Journal of Psychology*, 39, 39–45.
- 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.
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). Inter-Brain Synchronization during Social Interaction. *Plos one*, 5 (8) e12166.
- Durand et al. (2012), SHANK3 mutations identification in autism lead to modification of

- dendritic spine morphology via an actin-dependent mechanism. *Molecular Psychiatry*, 17 (1)-71-84.
- Eimas P.D., & Guinn P.C. (1994). Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development*, 65, 903-917.
- Ekman, P. (1982). *Emotion and the Human Face (2<sup>nd</sup> edition)*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Ekman, P. (1973). *Darwin and facial expression; a century of research in review*. New York: Academic Press.
- Ekman, P. & Friesen, W.V. (1976). *Pictures of facial affect*. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.
- Ekman, P., Ekman, P., Friesen, W.V., & Hager, J. C. (2002). *Facial action coding system: Investigator's guide (2nd edition)*. Salt Lake City, UT: Research Nexus.
- Elsabbagh, M., Volein, A., Csibra, G., Holmboe, K., Garwood, H., Tucker, L., et al., (2009). Neural correlates of eye gaze processing in the infant broader autism phenotype. *Biol. Psychiatry*, 65, 31-38.
- Epstein, R. & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature* 392, 598–601.
- Farah, M.J., Wilson, K.D., Drain, M., & Tanaka, J.N. (1998). What is "special" about face perception? *Psychological Review*, 105, 482-498.
- Fecteau, S., Mottron, L., Berthiaume, C., & Burack, J. A. (2003). Developmental changes of autistic symptoms. *Autism*, 7, 255–268.
- Filipeck, P.A., Richelme, C., Kennedy, D.N., Rademacher, J., Pitcher, D.A., Zidel, S.Y., & Caviness, V.S. (1992). Morphometric analysis of the brain in developmental language disorders and autism. *Annals of Neurology*, 32, 475.
- Filipek, P.A., Juranek, J., Gargus, J.J., Smith, M., Ramos, E.R., Mays, L.Z., Bocian, M., Masser-Frye, D., Laulhere, T.M., Modahl, C.M., Spence, M.A. (2003). Evidence of mitochondrial dysfunction in autistic patients with 15q inverted duplication. *Annals of Neurology*, 53, 801-804.
- Fombonne, E. (2003). Epidemiological surveys of autism and other pervasive developmental disorders: an update. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 33 (4), 365-82.
- 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.

- Frith, U. (1989). *Autism: explaining the enigma*. Oxford, UK: Basic Blackwell.
- Frith, U. (2004). Emanuel Miller lecture: Confusions and controversies about Asperger syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *45*, 672–686.
- Frith, U., & Frith, C.D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *358*, 459-473.
- Fujita, I., Tanaka, K., Ito, M., & Cheng, K. (1992). Columns of visual features of objects in monkey inferotemporal cortex. *Nature*, *360*, 343-346.
- Gallese, V. (2006). Intentional attunement: A neurophysiological perspective on social cognition and its disruption in autism. *Brain Research*, *1079*, 15–24.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, *119*, 593-609.
- Gangitano, M., Mottaghy, F.M., & Pascual-Leone, A. (2001). Phase specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuro Report*, *12*, 1489-1492.
- Garner, W. R. (1974). *The processing of information and structure*. New York: Wiley.
- Gaussier, P., Boucenna, S., & Nadel, J. (2007). *Emotional interaction as a way to structure learning*. 7th International conference on Epigenetic Robotics, EPIROB07. 193-194.
- Gauthier, I., Klaiman, C., & Schultz, R. (2009). Face composite effects reveal abnormal face processing in Autism spectrum disorders. *Vision Research*, *49*, 470-478.
- Gauthier, I., Klaiman, C., & Schultz, R.T. (2009). Face composite effects reveal abnormal face processing in Autism spectrum disorders. *Vision research*, *49* (4), 470-478.
- Gazzola, V., Rizzolatti, G., Wicker, B., & Keysers, C. (2007). The anthropomorphic brain: the mirror neuron system responds to human and robotic actions. *Neuroimage*, *35*, 1674–84.
- Gepner B., Mestre D., Masson G., de Schonen S. (1995). Postural effects of motion vision in young autistic children. *NeuroReport*, *6*, 1211-1214.
- Gepner, B., Deruelle, C., & Grynfeldt, 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.
- Gobbini, M.I., & Haxby, J.V. (2007). Neural systems for recognition of familiar faces, *Neuropsychologia*, *45*, 32–41

- Grafton, S.T., Arbib, M.A., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (1996). Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography: 2. Observation compared with imagination. *Exp. Brain Res.* 112, 103–111.
- Grandin, T. (1995). Thinking in pictures and other reports from my life with autism. New York: Doubleday.
- Grelotti, D. J., Klin, A. J., Gauthier., I., Skudlarski, P., Cohen, D. J., Gore, J. C., Volkmar, F. R., & Schultz, R. T. (2005). fMRI activation of the fusiform gyrus and amygdala to cartoon characters but not to faces in a boy with autism. *Neuropsychologia*, 43, 373–385.
- Grelotti, D.J., Gauthier, I., & Schultz, R.T. (2002). Social interest and the development of cortical face specialization: what autism teaches us about face processing. *Developmental Psychobiology*. 40, 213-225.
- Grèzes, J. & Decety, J. (2002). Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study. *Neuropsychologia*, 40 (2), 212-222.
- Grèzes, J., Wicker, B., Berthoz, S., & de Gelder, B. (2009). A failure to grasp the affective meaning of action in autism spectrum disorder subjects. *Neuropsychologia*, 47 (8-9), 1816-1825.
- Grill-Spector, K. (2003). The neural basis of object perception. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 159–166.
- 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.
- Gross, T. (2005). Global-Local precedence in the perception of facial age and emotional expression by children with autism and other developmental disabilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35, 773-785.
- Grossman, E.D. & Blake, R. (2002). Brain areas active during visual perception of biological motion. *Neuron*, 35 (6), 1167– 1175.
- Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Manohach, D.S., Naik, P., Snyder, J., Dminick, K., Hoge, R., den Stock, J.V., Tager-Flusberg, H., & de Gelder, B. (2009). Body expressions of emotion do not trigger fear contagion in autism spectrum disorder. *SCAN*, 4, 70-78.
- 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, 1276–1282.

- Hall, G. B. C., Szechtman, H., & Nahmias, C. (2003). Enhanced salience and emotion recognition in autism: a PET study. *American Journal of Psychiatry*, *160* (8), 1439-1441.
- Happé F. (1999). Autism: cognitive deficit or cognitive style? *Trends in Cognitive Sciences*, *3*, 216-222.
- 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.
- 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.
- Haxby, J.V., Hoffman, E.A., Gobbini, M.I., (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 223-233.
- Heberlein, A. S., & Adolphs, R. (2004). Impaired spontaneous anthropomorphizing despite intact perception and social knowledge. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*, 7487–7491.
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, *57*, 243–249.
- 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.
- Hobson R.P, Ouston J & Lee A. (1989). Naming emotion in faces and voice: abilities and disabilities in autism and mental retardation. *British Journal of Developmental Psychology*, *7*, 237-250.
- Hobson, R.P. (1986). The autistic child's appraisal of expressions of emotion. *Journal of Child and Psychol Psychiatry*, *27*, 321-342.
- Hobson, R.P., Ouston, J., & Lee, A. (1988). Emotion recognition in autism: coordinating faces and voices. *Psychological Medicine*, *18*, 911-923.
- 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.
- Hubl, D., Bolte, S., Feineis-Matthews, S., Lanfermann, H., Federspiel, A., Strik, W., et al. (2003). Functional imbalance of visual pathways indicates alternative face processing strategies in autism. *Neurology*, *61*, 1232-37.
- Hutt, C., & Ounsted, C. (1966). The biological significance of gaze aversion with particular reference to the syndrome of infantile autism. *Behavioral Science*, *11*, 346-356.
- Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction, *Nature Reviews Neuroscience*, *7*, 942–951
- Iarocci, G., Burack, J.A., Shore, D. I. Mottron, L., & Enns, J.T. (2006). Global–Local Visual Processing in High Functioning Children with Autism: Structural vs. Implicit Task Biases. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *36*, 117-129.
- Jamain S, Quach H, Betancur C, et al. (2003). Mutations of the X-linked genes encoding neuroligins NLGN3 and NLGN4 are associated with autism. *Nat Genet*, *34* : 27-9.
- 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.
- Johnson, K. E. & Mervis, C. B. (1994). Microgenetic analysis of first steps in children's acquisition of expertise on shorebirds. *Developmental Psychology*, *30*, 418-435.
- 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.
- Joseph, R.M., Ehrman, K., McNally, R., & Keehn, B. (2008). Affective response to eye contact and face recognition ability in children with ASD. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *14*, 947-955.
- Just, M.A., Cherkassky, V.L., Keller, T.A., Kana, R.K., & Minshew, N.J. (2007). Functional and anatomical cortical underconnectivity in autism: Evidence from an FMRI study of an executive function task and corpus callosum morphometry.

*Cerebral Cortex*, 17, 951–961.

- Kamachi, M., Bruce, V., Mukaida, S., Gyoba, J., Yoshikawa, S., & Akamatsu, S. (2001). Dynamic properties influence the perception of facial expressions. *Perception*, 30, 875–887.
- Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact, *Nervous Child*, 2 (3) 217–250.
- Kemper, T.L., Bauman, M. (1998). Neuropathology of infantile autism. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, 57, 645–652.
- Kilts, C.D., Egan, G., Gideon, D.A., Ely, T.D., Hoffman, J.M. (2003) Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions. *Neuroimage*. 18, 156-68.
- Kleinman, J., Marciano, P. L., & Ault, R. L. (2001). Advanced theory of mind in high-functioning adults with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 29–36.
- 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.
- 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.
- Kling, A., & Brothers, L. (1992). *The amygdala and social behaviour*. In: Aggleton J, editor. *Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction*. New York: Wiley.
- Koldewyn, K., Whitney, D., Rivera, S.M. (2011). Neural correlates of coherent and biological motion perception in autism. *Developmental Science*, 14 (5), 1075-1088.
- Kosslyn, S., M., Margolis, J. A., & Barrett, A. M. (1990). Age differences in imagery abilities. *Child development*, 61, 995-1010.
- LaBar, K.S., Crupain, M.J., Voyvodic, J.T., McCarthy, G. (2003) Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain. *Cerebral Cortex*, 13, 1023-33.
- Lahaie, A., Mottron, L., Arguin, M., Berthiaume, C., Jemel, B., & Saumier, D. (2006). Face perception in highfunctioning autistic adults: Evidence for superior

- processing of face parts, not for a configural face processing deficit. *Neuropsychology*, 20, 30-41.
- Le Ny, J-F. (1979). *La sémantique psychologique*. Paris : Puf.
- Leblond et al. (2012). Genetic and functional analyses of SHANK2 mutations suggest a multiple hit model of autism spectrum disorders. *Nature Genetics* 42 (6), 489-491.
- LeDoux, J., (1996). *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Vol., Simon & Schuster, New York.
- Leslie, A. (1995). *A theory of agency*. In D. Sperber, D. Premack, & A. Premack (Eds), *Causal cognition*. Oxford: Clarendon Press.
- Lord, C., Rutter, M. & Le Couteur, A. (1994). Autism diagnostic interview-revised : a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 24, 659-685.
- Macdonald, H., Rutter, M., Howlin, P., Rios, P., Le Conteur, A., Evered, C., & Folstein, S. (1989). Recognition and expression of emotional cues by autistic and normal adults. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 30, 865–877.
- Magnié, M. N., Besson, M., Poncet, M., & Dolisi, C. (2003). The Snodgrass and Vanderwart set revisited: Norms for object manipulability and for pictorial ambiguity of objects, chimeric objects, and nonobjects. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 25, 521-560.
- Maldiney, H. (1968). *L'Esthétique des Rythmes in: Les Rythmes*, Lyon.
- Malt, B.C. & Johnson, E.C. (1992). Do artifact concepts have cores. *Journal of Memory and Language*, 31, 195-217.
- Marmor, G.S. (1975). Development of Kinetic images: When Does the Child First Represent Movement in Mental Images? *Cognitive Psychology*, 7, 548-559.
- Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. New York, W. H. Freeman and Company.
- Martin, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Category- specificity and the brain: The sensory-motor model of semantic representations of objects. In *The Cognitive Neurosciences* (M. S. Gazzaniga, Ed.) pp. 1023–1036. MIT Press, Cambridge, MA.
- Martineau, J., Cochin, S., Magne, R., & Barthelemy, C. (2008). Impaired cortical activation

- in autistic children: is the mirror neuron system involved? *International Journal of Psychophysiology*, 68, 35-40.
- Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C.J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Science*, 6, 255-260.
- McAleer, 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.
- McPartland, J.C., Webb, S.J., Keehn, B., & Dawson, G. (2011). Patterns of visual attention to faces and objects in autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorder*, 41, 148–157.
- Milne, E., Swettenham, J., Hansen, P., Campbell R., Jeffries, H., & Plaisted, K. (2002). High motion coherence thresholds in children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43, 255- 263.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford, UK: Oxford, University Press.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46, 774-785.
- Miyashita, Y. (1993). Inferior temporal cortex: where visual perception meets memory. *Annual Review of Neuroscience*, 16, 245-263.
- 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, 105-14.
- 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.
- Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. In J. A. Burack, T. Charman, N. Yirmiya, & P. R. Zelazo (Eds.), *The development of autism: Perspectives from theory and research*. NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mottron, L., Burack, J., Iarocci, G., Belleville, S., & Enns, J. T. (2003). Locally oriented perception with intact global processing among adolescents with high-

- functioning autism: Evidence from multiple paradigms. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *44*, 904–913.
- Mottron, L., Burack, J.A., Stalder, E.A., & Robaey, P. (1999). Perceptual processing among high-functioning persons with alltism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *40*, 203-211.
- Mottron, L., Mineau, S., Martel, G., Bernier, C., Berthiaume, C., Dawson, M., Lemay, M., Palardy, S., Charman, T., & Faubert, J. (2007). Lateral glances toward moving stimuli among young children with autism: Early regulation of locally oriented perception? *Development and Psychopathology*, *19*, 23-36.
- Murphy, F.C., Nimmo-Smith, I., Lawrence, A.D., (2003). Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis. *Cogn Affect Behav Neurosci.* *3*, 207-33.
- 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, Canet P, et al. (2006) Human Response to an expressive robot. *Epigenetic Robotics*, *06*, 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., & Ramachandran, V.S. (2007). The simulating social mind: The role of simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychological Bulletin*, *133*, 310–327.
- 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. *Cognitive Brain Research*, *24*, 190-198.
- 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*, 2194–03.
- Oberman, L.M., Ramachandran, V.S., & Pineda, J.A. (2005). Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or

- unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis. *Neuropsychologia*, 46, 1558-1565.
- Ohnishi T, Matsuda H, Hashimoto T, Kunihiro T, Nishikawa M, Uema T & Sasaki M. (2000). Abnormal regional cerebral blood flow in childhood autism. *Brain*, 123 (9), 1838-1844.
- Olivier, G., Velay, J.L., Labiale, G., Celse, C., & Faure, S. (2004). Mental rotation and simulation of a reaching and grasping manual movement. *Perceptual & Motor Skill*, 98, 1107-1116.
- Olivier, G., & Juan de Mendoza, J. L. (2000). Motor dimension of visualmental image transformation processes, *Perceptual and Motor Skills*, 90, 1008-1026.
- 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.
- Ozonoff, S., Pennington, B., & Rogers, S. (1990). Are there emotion perception deficits in young autistic children? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 31, 343-361.
- 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 and psychiatry*, 32, 1081-1105
- 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.
- Pavlova, M., Krägeloh-Mann, I., Sokolov, A., & Birbaumer, N. (2001). Recognition of point-light biological motion displays by young children. *Perception*, 30, 925-933.
- Pellicano, E., Gibson, L., Maybery, M., Durkin, K., & Badcock, D.R. (2005). Abnormal global processing along the dorsal visual pathway in autism: a possible mechanism for weak visuospatial coherence? *Neuropsychologia*, 43, 1044-1053.
- 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.A., Morris, J.P., McCarthy, G., & Labar, K.S. (2007). Perception of dynamic changes in facial affect and identity in autism. *Social cognitive and affective neuroscience*, 2, 140-149.
- Pelphrey, K.A., Morris, J.P., Michelich, C.R., Allison, T., & McCarthy, G. (2005). Functional anatomy of biological motion perception in posterior temporal cortex: an fMRI study of eye, mouth and hand movements. *Cerebral Cortex*, 15 (12), 1866–1876.
- Pentland, A. (1986). Perceptual organization and the representation of natural forms. *Artificial Intelligence*, 28, 293-331.
- Petrides, M. (2005). Lateral prefrontal cortex: Architectonic and functional organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 781–795.
- Phan, K.L., Wager, T., Taylor, S.F., Liberzon, I., (2002). Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16, 331-48.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child*. New York: Basic.
- 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, 2691-98.
- Plaisted, K., Swettenham, J., & Rees, L. (1999). Children with autism show local precedence in a divided attention task and global precedence in a selective attention task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40, 733-742.
- Pourtois, G., & Vuilleumier, P. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 45, 174–194.
- Premack, D. (1990). The infant's theory of self-propelled objects. *Cognition*, 36, 1-16.

- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998b). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales. Section 2: The Coloured Progressive Matrices*. Oxford, England: Oxford Psychologists Press/San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Raymond G. (1989). The hippocampus in autism: Golgi analysis. *Acta Neuropathol* 91, 117-119.
- 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.
- Richer, J.M., & Coss, R.G. (1976). Gaze aversion in autistic and normal children. *Acta Psychiatr Scand*, 53, 193-210.
- Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Moss, S. A., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2000). Atypical interference of local detail on global processing in high-functioning autism and Aspergers disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41, 769-778.
- Ritvo, E.R., Freeman. B.J., Scheibel, A.B., Duong, T., Robinson, H., Guthrie, D., & Ritvo, A. (1986). Lower Purkinje cell counts in the cerebella of four autistic subjects: initial findings of the UCLA-NSAC Autopsy Research Report. *American Journal fo Psychiatry* 143, 862-866.
- Rizzolatti, G., & Fabbri-Destro, M. (2008). The mirror system and its role in social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 18, 1-6.
- Rogers, S.J., & Pennington, B.F. (1991). « A theoretical approach to the deficit in infantil autism ». *Development and Psychopathology*, 3, 137- 162.
- Rondan, C. & Deruelle, C. (2007). Global and configural visual processing in adults with autism and Asperger syndrome. *Research in developmental disabilities*, 28 (2), 197-206.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Russell, J., Jarrold, C., & Hood, B. (1999). Two intact executive capacities in children with autism: Implications for the core executive dysfunctions in the disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29, 103–112.
- 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.

- Rutter, M., Bailey, A., Bolton, P., Le Couteur, A. (1994). « Autism and known medical condition : Myth and substance ». *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35, 311-322.
- Salmon, J. P., McMullen, P., & Filliter, J. H. (2010). Norms for two types of manipulability (graspability and functional usage), familiarity, and age of acquisition for 320 photographs of objects. *Behavior research methods*, 42 (1), 82-95.
- Samson, F., Mottron, L., Soulières, I., & Zeffiro, T. (2012). Enhanced visual functioning in autism: an ALE meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 33, 1553-1581.
- Sanders S.J. et al. (2011). Multiple recurrent de novo CNVs, including duplications of the 7q11.23 Williams syndrome region, are strongly associated with autism. *Neuron* 70, 863-85.
- Santos, A., Rondan, C., Rosset, D.B., Da Fonseca, D., & Deruelle, C. (2008). Mr. Grimace or Ms. Smile: Does categorization affect perceptual processing in autism? *Psychological Science*, 19, 70–76.
- 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,
- Sato, W., Kochiyama, T., Yoshikawa, S., Naito, E., Matsumura, M., (2004). Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 20, 81-91.
- Schendan, E. E., & Stern, C. E. (2007) Mental rotation and object categorization share a common network of prefrontal and dorsal and ventral regions of posteriorcortex. *NeuroImage*, 35, 1264-1277.
- Schneider, G.E. (1969). Two visual systems: brain mechanisms for localization and discrimination are dissociate by tectal and cortical lesions. *Science*, 163, 895-902.
- Schopler, E., Reichler, M. D., & Rochen-Renner, B. (1989). *Echelle d'évaluation de l'autisme infantile (C.A.R.S.)*. Adaptation française par B. Rogé. Issy-les-Moulineaux : Editions d'Applications psychotechniques.
- Schultz, R., Gauthier, I., Klin, A., Fulbright, R., Anderson, A., Volkmar, F., Skudlarski, P., Lacadie, C., Cohen, D., & Gore, J. (2000). Abnormal ventral temporal cortical activity during face discrimination among individuals with autism and Asperger syndrome. *Archives of General Psychiatry*, 57, 1-23.

- Schwartz, S.P. (Ed.) (1977). *Naming, Necessity and Natural Kinds*. New-York: Cornell University Press.
- Senju, A., & Johson, M.H. (2009). Review Atypical eye contact in autism: Models, mechanisms and development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *33*, 1204-1214.
- Senju, A., & Johson, M.H. (2010). Is eye contact the key to the social brain? *Behavioral and Brain Sciences*, *33* (06), 458-459.
- Senju, A., Yaguchi, K., Tojo, Y., & Hasegawa, T. (2003). Eye contact does not facilitate detection in children with autism. *Cognition*, *89*, 43-51.
- Shepard & Metzler (1971). Mental rotation of three-dimensionnal objects. *Science*, *171*, 701-703.
- Simon, M., Canet, P., Soussignan, R., Gaussier, P., & Nadel, J. (2007). L'enfant face à des expressions robotiques humaines. *Enfance*, *1*, 59-70.
- Simons, D. J., & Rensink, R. A. (2005). Change blindness: past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, *9* (1), 16-20.
- Smalley, S.L. (1997). Genetic influences in childhood-onset psychiatric disorders : autism and attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Human Genetics*, *60*, 1276-1282
- Smalley, S.L., Asarnow, R.F., & Spence, M.A. (1988). Autism and genetics. A decade of research. *Arch Gen Psychiatry*, *45*, 953-961.
- Snodgrass, J. G. & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of experimental psychology : Human Learning & Memory*, *6* (2), 174-215.
- Speer, L. L., Cook, A. E., McMahon, W. M., & Clark, E. (2007). Face processing in children with autism: effects of stimulus contents and type. *Autism*, *11*, 265-77.
- Soulière, 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.
- Spelke, E. (1988). The origins of physical knowledge. In L. Weiskrantz (Ed), *Thought without language*. Oxford: Oxford Science Publications.
- Spencer, J., O'Brien, J., K., Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. (2000). Motion Processing in autism : Evidence for a dorsal stream deficiency. *Neuroreport*, *11*, 2765-2767.
- Spezio, M. L., Adolphs, R., Hurley, R. S., & Piven, J. (2007). Analysis of face gaze in

- autism using “Bubbles”. *Neuropsychologia*, 45, 144–151.
- Stephan, K. M., Fink, G. R., Passingham, R. E., Silbersweig, D., Ceballos-Baumann, A. O., Firth, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*, 73, 373–386.
- Stolorova M., Keil A. & Moratti S. (2006) Modulation of the C1 Visual Event-related Component by Conditioned Stimuli : Evidence for Sensory Plasticity in Early Affective Perception. *Cerebral Cortex*, 16, 876-887.
- Tanaka, K., Saito, H.A., Fukada, Y., & Moriya, M. (1991). Coding visual images of objects in the infero-temporal cortex of the macaque monkey. *Journal of Physiology*, 66, 170-189.
- Tantam, D., Monaghan, L., Nicholson, H., & Stirling, J. (1989). Autistic children's ability to interpret faces: a research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 30, 623-630.
- 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.
- Theoret, H., Halligan, E., Kobayashi, M., Fregni, F., Tager-Flusberg, H., & Pascual-Leone, A. (2005). Impaired motor facilitation during action observation in individuals with autism spectrum disorder. *Current Biology*, 15, R84–R85.
- Thompson, J.C., Clarke, M., Stewart, T., & Puce, A. (2005). Configural processing of biological motion in human superior temporal sulcus. *Journal of Neuroscience*, 25 (39), 9059– 9066.
- Tinbergen, E.A., & Tinbergen, N. (1972). *Early Childhood Autism: An Ethological Approach*. Parey, Berlin.
- Trautmann S.A., Fehr, T., Hermann M. (2009). Emotions in motion : Dynamic compared to static facial expression of disgust and happiness reveal more widespread emotion- specific activation. *Brain Research*.
- Treisman, A. (1991). Search, similarity and the integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 652-676.

- 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.
- Varela, F.J, Thompson, E., & . Rocsh, E. (1993). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Presse.
- Vingerhoets, G., de Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor imagery in mental rotation: An fMRI study. *Neuroimage*, *17*, 1623–1633.
- Pourtois, G., & Vuilleumier, P. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, *45*, 174–194.
- 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.
- Wandell, B.A., Dumoulin, S.O., Brewer, A.A. (2007). Visual field maps in human cortex. *Neuron* *56*, 366–383.
- Wang, A. T., Dapretto, M., Hariri, A. R., Sigman, M., & Bookheimer, S. Y. (2004). Neural correlates of facial affect processing in children and adolescents with autism spectrum disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, *43* (4), 481-490.
- Warrington, E.K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, *107*, 829-853.
- Wexler, M., Kosslyn, S. M., and Berthoz, A. (1998). Motor processes in mental rotation. *Cognition* *68*, 77–94.
- Williams, D. (1992). *Nobody Nowher*, London: Doubleday.
- Williams, J. H. G., Whiten, A., Suddendorf, T., & Perrett, D. I. (2001). Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *25*, 287–295.
- 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-

- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin*, *127*, 3-21.
- Zilbovicius, M., Boddaert, N., Belin P., Poline, J. B., Remy, P., Mangin, J. F., Thivard, L., Barthelemy, C., & Samson, Y. (2000). Temporal lobe dysfunction in childhood autism: a PET study. Positron emission tomography. *American Journal of Psychiatry* *157*, 1988-1993.
- 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.

## **Productions scientifiques (Articles, Communications orales & affichées)**

### **PUBLICATIONS**

- Han, B., Nadel, J., & Tijus, C. (2010) Visual Perception of dynamical change in emotional faces vs. objects. *Proceedings of the International Conference KANSEI ENGINEERING AND EMOTION RESEARCH*. 2-4 March. Paris. France.
- Han, B., Tijus, C., & Nadel, J. (2010). Perception visuelle du changement d'état de visages émotionnels et d'objets : une étude développementale. *Enfance*, 62, 4, 387-410.
- Nadel, J., & Han, B. (2013). Emotion on board. In Uhlrike Lüdtke (Ed.), *Emotion in language*. amsterdam/Philadelphia: John Benjamins (in press).
- Scarpa, O., François, M., Gobert, L., Bourger, P., Dall'Asta, A., Rabih, M., Taillemite, A., Weissenbach, L., Gregoire, A., Kremer, N., Labarhi, E., Michalski, S., Parmentier, D., Picaut, G., Pierret, B., Plujat, S., Ramillon, E., Han, B., & Nadel, J. (2012). L'imitation au service de l'autisme: une étude pilote. *Enfance*, 4, 389-410.

### **COMMUNICATIONS ORALES**

- Han, B., Tijus, C., & Nadel, J. Perceptual Processing of Motion and Emotion in Low-Functioning Autism. International Meeting For Autism Research, May 2-4, 2013.
- Han, B., Tijus, C., & Nadel, J. Visual processing peculiarities in autism spectrum disorders: are they stimulus-selective? European Conference on Developmental Psychology, in Lausanne, Switzerland 3-7 September 2013.

### **COMMUNICATIONS AFFICHÉES**

- Han, B., Tijus, C., Le Barillier, Ridoux, D., & Nadel, J. Perception visuelle du changement d'état des visages émotionnels et des objets fonctionnels chez les ASD et les enfants Typiques. *11e Université d'automne de l'arapi*, 5-8 octobre 2011, Le Croisic, France.
- Han, B., Tijus, C., & Nadel, J. Visual processing of dynamical changes in objects in intact in Autism Spectrum Disorders. *International Association for Child and Adolescent Psychiatry and Allied Professions*, July 21-25, 2012, Paris, France.
- Han, B., Tijus, C., & Nadel, J. Differential visual processing of dynamical objects and expressive faces in Autism Spectrum Disorders. *International conference on Innovation Research In Autism*, May 30th – June 1st, 2012, Tours, Loire Valley, France.

## Index des abréviations

TSA	.....	Troubles du Spectre Autistique
ADNV	.....	Age de développement non verbal
AMY	.....	Amygdale
ANOVA	.....	Analyse de la variance
AT	.....	Adulte/Adolescent typique
CARS	.....	<i>Childhood Autism Rating Scale</i>
CDC	.....	Centers for Disease Control and Prevention
CEC	.....	Composante émotionnelle centrale
DSM-IV-TR	.....	Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux 4 révisé
EDT	.....	Enfant à développement typique
EEG	.....	Electroencéphalographie
EPF	.....	Enhanced Perceptual Functioning
FACS	.....	Facial action coding system
FG	.....	Girus fusiforme
FOT-DB	.....	Facial expressions and objects Transformation DataBase
FOT-PDB	.....	Facial expressions and objects Transformation photography DataBase
FOT-VMDB	.....	Facial expressions and objects Transformation Video Morphed DataBase
Ips	.....	Image par seconde
IRMf	.....	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
hMNS	.....	Système humain des neurones miroirs
ITG	.....	Girus temporal inferieur
ADI-R	.....	Autism Dignostic Interview Revised
NEC	.....	<i>Nombre d'essais par condition</i>
OF	.....	Objet fonctionnel
ON	.....	Objet naturel
R	.....	Réussite
RCPM	.....	Matrices progressives de Raven version colorée
RE	.....	Robot émotionnel
STS	.....	Supérieur Temporal Sulcus
TBR	.....	Temps de bonne réponse
TED	.....	Troubles Envahissant du Développement
TED- NOS	.....	Troubles Envahissant du Développement Non spécifiés
TEP	.....	Tomographie par émission de positons
TR	.....	Temps de réponse
VE	.....	Visage émotionnels
WCC	.....	Weak Central Coherence

## Index des figures

<b>Figure 1</b> : Cortex visuel primaire et ses différentes couches.....	20
<b>Figure 2</b> : Les aires cérébrales visuelles. ....	20
<b>Figure 3</b> : Régions cérébrales du cerveau social impliquées dans la compréhension d'autrui. ....	23
<b>Figure 4</b> : Régions du cortex qui s'activent lors d'une tâche de rotation mentale d'après la méta-analyse de Zack (2008). ....	24
<b>Figure 5</b> : Modèle du système neuronal distribué de la perception des visages chez l'être humain proposé par Haxby et al. (2000).....	27
<b>Figure 6</b> : Exemples de stimuli visuels employés dans l'étude de Klin et al. (2002) (a) et de Pelphrey et al. (2002) (b) .....	37
<b>Figure 7</b> : Exemples de stimuli visuels employés dans Van Der Geest et al. (2002) (a), dans Sasson et al. (2008) (b), et dans Pierce et al. (2011) (c). ....	38
<b>Figure 8</b> : Moyenne de temps de latence de la composante P1 et N170 pour les trois groupes de l'étude de Batty et al. (2011). ....	39
<b>Figure 9</b> : Résultats de l'étude de Pelphrey et al. (2007). Les aires cérébrales activées lors de la perception des expressions faciales émotionnelles dynamiques chez les personnes typiques (A) et chez les personnes avec TSA de haut niveau cognitif (B). ....	40
<b>Figure 10</b> : Illustrations schématiques de formes cohérentes statiques (a) et du mouvement cohérent de points lumineux (b). ....	43
<b>Figure 11</b> : Présentation schématique des stimuli employés dans l'étude de Berton et al. (2003) représentant les trois types de mouvement de translation, radiaire, et de rotation ayant subi une variation (a) de luminance (premier-ordre) (b) de contraste (second-ordre). ....	44
<b>Figure 12</b> : Exemples de visages émotionnels de la FOT Database. (a) Modèle synthétique d'Artanatomia et les unités d'action. ....	61
<b>Figure 13</b> : Mise en place technique de la séance de photographie pour les expressions faciales émotionnelles (a) et pour les objets (b).....	65
<b>Figure 14</b> : Illustration schématique d'une séquence de vidéo de changement d'état.	67

<b>Figure 15</b> : Exemples de changement d'état d'ordre ABA.....	
<b>Figure 16</b> : Exemples de changement d'état d'ordre BAB.....	67
<b>Figure 17</b> : Exemple de ce que voient les participants sur l'écran.....	72
<b>Figure 18</b> : Courbe des interactions sur les scores de réussite sur la reconnaissance des changements d'états dynamiques selon le type de stimulus, l'âge des participants, des deux ordres de présentation et des deux vitesses (étude 1).....	80
<b>Figure 19</b> : Courbe des interactions sur la moyenne des temps de réponse des participants selon le type de stimulus, l'âge des participants, des deux ordres de présentation et des deux vitesses (étude 1). ....	82
<b>Figure 20</b> : Corrélations entre réussite et temps de réponse des participants et des trois stimuli. ....	83
<b>Figure 21</b> : Consigne visuelle pour le niveau 1 d'exercice du pré-test. ....	90
<b>Figure 22</b> : Consigne visuelle pour le niveau 2 d'exercice du pré-test. ....	91
<b>Figure 23</b> : Exemple de réussite en 1 essai pour le niveau 2 du pré-test. ....	91
<b>Figure 24</b> : Exemple d'échec pour le niveau 2 du pré-test. ....	92
<b>Figure 25</b> : Moyenne des scores de réussite et des temps de bonnes réponses (étude 2) .....	100
<b>Figure 26</b> : Moyenne des scores de réussite et des temps de bonnes réponses (étude 2) .....	104
<b>Figure 27</b> : Régions d'intérêt pour les trois catégories de stimulus : VE, RE, OF.....	113
<b>Figure 28</b> : Moyenne des scores de réussite (a) et des temps de bonne réponse (b) des trois groupes (étude 3). ....	117
<b>Figure 29</b> : Taux de fixation des trois groupes concernant les deux régions d'intérêt (CEC vs. CNE) des visages émotionnels (a) et du robot émotionnel (b).....	122
<b>Figure 30</b> : Taux de fixation des trois groupes concernant les 2 régions d'intérêt des du stimulus émotionnel robotique : composantes émotionnelles Centrales (CEC) vs. mouvement mécaniques (MM). ....	123

## Index des tableaux.

<b>Tableau 1</b> : Information sur les items de la catégorie des objets de la FOT-DB en référence aux trois études normatives.....	63
<b>Tableau 2</b> : Les changements d'état des objets.....	64
<b>Tableau 3</b> : Moyennes des scores de réussite pour les 72 participants répartis en 3 groupes d'âge et confrontés à chacune des 12 conditions expérimentales.....	76
<b>Tableau 4</b> : Participants du groupe clinique. ....	90
<b>Tableau 5</b> : Tableau des taux de réussite des 25 participants TSA concernant les deux niveaux du prétest. ....	93
<b>Tableau 6</b> : Données individuelles. ....	94
<b>Tableau 7</b> : Moyennes des réussites (score maximal = 4) et des temps de bonne réponse des trois groupes pour chacune des 4 conditions expérimentales.....	96
<b>Table 8</b> : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison: <i>TSA vs. EDT vs. AT</i> , dans la condition 4000 ms et 500 ms.....	105
<b>Tableau 9</b> : Données individuelles.....	111
<b>Tableau 10</b> : Moyennes des réussites et des temps de bonne réponse (écart type) pour chacune des 3 catégories de stimulus (Score maximum 4). ....	116
<b>Table 11</b> : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison, pour les trois types de stimulus. ....	118
<b>Tableau 12</b> : Taux de fixation des trois groupes de participants sur les trois catégories de stimuli visuels.....	119
<b>Tableau 13</b> : Taux de fixation des trois groupes de participants sur les deux catégories de ROI (CEC et CNE) des stimuli émotionnels (VE et RE) .....	120
<b>Table 14</b> : Analyses non-paramétriques de la réussite et des TBRs des trois groupes de comparaison, pour les trois types de stimulus.....	124
<b>Tableau 15</b> : Moyennes des scores de réussite et des temps de bonnes réponse (écart-type) pour les 4 participants Asperger. ....	133
<b>Tableau 16 a</b> : Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (étude2).....	171
<b>Tableau 16 b</b> : Wilcoxon Matched Pairs Test (étude2). ....	171
<b>Tableau 16 c</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. EDT) .....	172
<b>Tableau 16 d</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. AT).....	172

<b>Tableau 17a</b> : Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (étude2).....	173
<b>Tableau 17b</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. EDT) (étude2)..	173
<b>Tableau 17c</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. AT) (étude2)....	173
<b>Tableau 18a</b> : Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (étude3).....	174
<b>Tableau 18b</b> : Wilcoxon Matched Pairs Test (étude3).....	174
<b>Tableau 18c</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. EDT) (étude3)..	175
<b>Tableau 18d</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. AT) (étude3)...	175
<b>Tableau 19a</b> : Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance (étude3).....	176
<b>Tableau 19b</b> : Wilcoxon Matched Pairs Test (étude3).....	176
<b>Tableau 19c</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. EDT) (étude3)..	177
<b>Tableau 19d</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. AT) (étude3)...	177
<b>Tableau 20</b> : Analyse de la durée totale des fixations (étude3).	178
<b>Tableau 21</b> : Analyse de la durée des fixations sur les ROIs des objets fonctionnels	178
<b>Tableau 22a</b> : Analyse de la durée des fixation sur les ROIs des stimuli émotionnels (VE & RE) : CEC vs. CNE.....	179
<b>Tableau 22b</b> : Wilcoxon Matched Pairs Test.....	179
<b>Tableau 23a</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. EDT).....	180
<b>Tableau 23b</b> : Mann-Whitney U Test By variable Groupe (TSA vs. AT).....	181
<b>Tableau 24</b> : Wilcoxon Matched Pairs Test (RE : CEC vs. MM).....	182

## **ANNEXES**



