Université de BORDEAUX 2

Année 2013

Thèse n°

Ecole doctorale des sciences Sociétés, Politique, Santé Publique
option Sciences Cognitives
Institut de Neurosciences Cognitives Intégrative d'Aquitaine INCIA
(CNRS UMR 5287)

THÈSE

Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Bordeaux 2

Discipline : Sciences COGNITIVES

La perception des visages dans la population typique et les Troubles du Spectre Autistique (TSA)

Présentée par

Anouck AMESTOY

Soutenue publiquement le 13/12/2013

Sous la Codirection de **Manuel BOUVARD et Jean-René CAZALETS**

Membres du Jury

Mr Roland JOUVENT	PUPH Université Paris VI	Examinateur
Mme Frédérique BONNET-BRILHAULT	PUPH Université de TOURS	Rapporteur
Mr Bernard N'KAOUA	PU Université BORDEAUX 2	Examinateur
Mme Christine ASSAIANTE	DR CNRS UMR 7291 – LNC	Rapporteur
Mr Manuel BOUVARD	PUPH BORDEAUX 2	Directeur de Thèse
Mr Jean-René CAZALETS	DR CNRS UMR 5287-INCIA	Directeur de Thèse

La perception des visages dans la population typique et les Troubles du Spectre Autistique (TSA)

Anouck AMESTOY

Abstract

Autism Spectrum disorders (ASD) are pervasive development disorders characterised by social and communication impairments co-occurring with stereotyped behaviours and restricted interests. One of the possible explanation for difficulties in social interactions and communication observed in people with ASD, is abnormalitiy in face scanning and processing. The role of exposure and experience in face processing have to be highlighted in the issue of atypical development.

We first explored in two experiments, the rôle of exposure in the memory of very familiar faces. Secondly in the present work, we developped an original method to perform off-line analysis using a spatial normalization of faces and spatial statistic analysis to respond to methodological biais and to investigate face scanning and routines in exploration of various type of faces.

Three studies were performed on 4 different groups. First we we investigated in two different studies, the typical and atypical developmental aspect of sensitivity to the orientation of familiar faces, refferring to « the mere exposure » hypothesis, by asking 38 typical adults, 72 typical children from 3 to 12 years old then 14 adults and 13 children with ASD to make a preference choice between standard and mirror images of themselves and of familiar faces, presented side-by-side or successively.

Secondly, we proposed to 26 typical Adults, 14 typical Children, 13 high-functioning adults and 14 high-functionning children with ASD to perform an eye tracking experiment using 3 sets of 20 pictures that included neutral unknown faces, neutral familiar faces, avatar faces, robots faces and animal faces. Spatial analysis using Dirichley tessellation method was used. Only the fixations that were statistically significant ($p<0.05$) were taken into account.

Results of the first 2 experiments suggest the occurrence of a typical developmental process in the perception of familiar face asymmetries which are retained in memory related to expérience, for typical subjects and ASD subjects. Our eye tracking experiment results show differences between the four groups for unfamiliar faces condition, suggesting developmental and pathological effects regarding the scanning strategies (sequences) and fixation time for eyes and mouth. In contrast, our results suggest a clear developmental but light pathological effect in the familiar face condition. Adults of both groups show a face scanning strategy similar to the one used in human face exploration when looking at human-like faces (avatar and robots) but not animal faces. No specific scanning pattern was found when exploring non human faces in both child groups.

Our results show that adults and children use specific sequential scanning strategy for exploring human facial stimuli. This sequential analysis is present only in adults for non human face stimuli. Our results support the hypothesis that both developmental and pathological processes take place for human face scanning and human-like faces but not animals faces. Familiar faces scanning show specificity compared to unfamiliar faces. This should be taken into account to develop new assessment and training methods in the context of atypical developmental disorder.

Keywords : Autism Spectrum Discorder - Face - Développement - Eye Tracking – Avatars - Animals – Familiar - Robots - SpatialStaitistics



Remerciements

Cette page de remerciements est sans doute la plus facile à écrire, avec les excuses de l'innocente d'oublier dès l'avant-propos, des noms, des référents, des visages. Merci donc à tous ceux qui ne me tiendront pas rigueur de ne pas figurer dans la liste qui suit.

Dans un premier temps je souhaite remercier les membres du jury pour le temps passé à évaluer ce manuscrit. Merci au Professeur Bonnet-Brilhault et au Docteur Assaiante d'avoir expertisé ce travail et permis d'élargir et éclairer les enjeux qui peuvent s'y rattacher. Je suis également reconnaissante au Professeur N'Kaoua et au Professeur Jouvent d'avoir accepté de juger ce travail. Leurs compétences multiples sauront, je le sais, enrichir le chemin initié par cette thèse.

Je remercie tous les patients et leurs familles sans qui ce travail n'aurait aucune raison d'être.

Je réserve l'espace de ce paragraphe aux remerciements que j'adresse à mes deux directeurs de Thèse, le Professeur Manuel Bouvard et le Dr Jean-René Cazalets.
Le premier qui, en dehors de tout ce qu'il a apporté à ma clinique et à mon expérience de Psychiatre, a permis et suscité consciemment et inconsciemment, en décalé et en différé, sans vouloir enfoncer le bouchon ou le clou (…) l'envol vers le monde d'en face et fait prendre une autre direction à ma vie.
Le second qui en investissant sans compter son temps et ses compétences dans ce projet, m'a guidée et formée sur ce chemin et permis de faire vivre cette thèse, malgrés l'incertitude.

Je remercie Kattalin Etchegoyhen qui avec ses qualités multiples et polymorphes a accompagné, enrichi, animé et apaisé aussi les mouvements qui ont jalonné ces 5 ans en étant, entre autre, le maillon manquant pour moi, entre le batiment 2A et le CRA, entre la recherche et la clinique.

Je remercie Etienne Guillaud pour son partenariat précieux, ses compétences et son sourir qui ont permis de repousser les limites…

Je remercie l'équipe du CRA, Emma Bestaven et les membres de l'INCIA qui ont toujours répondu présents à mes sollicitations.

Merci et pardon pour ces heures à rédiger cette thèse qui ont été prises à la rue Jules Ferry et à la tribu entière, dendrites et racines comprises.

Liste des abréviations

ASD : Autism Spectrum Disorder

ACA : Agent Communiquant Animé

BVG : Biais Visuel Gauche

COG : Centre Of Gravity

ECA : Embodied Conversational Agent

EEG : Electroencephalographie

FFA : Fusiform face Area

GFL : Gyrus fusiforme Latéral

GOI : Gyrus Occipital Inférieur

LVB : Left Visual Bias

LVF : Left Visual Field

MEG : Magnétencéphalographie

OAE : Other Age Effect

OFA : Occipital Face Area

ORE : Other Race Effect

PE : Potentiel Evoqué

RFT : Random Field Theory

ROI : Regions of Interest

STS : Sillon Temporal Supérieur

TSA : Troubles du Spectre Autistique

Table des matières

INTRODUCTION **1**

Cadre théorique **6**

Chapitre I : Traitement des visages : principes généraux **7**

1- Introduction 7
2- Bases Neuro-anatomiques 8
3- Les modèles cognitifs de reconnaissances et de traitement des visages 13
4- La configuration du visage 16
4-1 L'effet d'inversion des visages *19*
4-2 Les visages composites *20*
4-3 L'avantage du tout sur les parties *22*
4-4 Les visages filtrés *23*
5- Développement humain et traitement des visages 24
5-1 Le développement du cerveau *25*
5-2 Le développement de la reconnaissance des visages *27*
5-2-1 Les nouveaux nés *27*
5-2-2 La course développementale du processus de reconnaissance des visages *28*
Données générales *28*
Le développement du traitement configural *29*
5-2-3 La question de l'inné/ acquis: Nature/Nurture *31*
Le CONSPEC/CONLERN *31*
Les modèles plus intégratifs *31*
5-2-4 Les effets de l'expérience visuelle: un rétrécisseur perceptif? *34*
L'Effet Age *34*
L'Effet Ethnie (Effet Race) *35*
L'Effet Espèce *36*
La plasticité cérébrale comme effet modérateur *37*
5-3- L'apport des facteurs généraux dans le développement de la reconnaissance des visages *38*
6- Le rôle central des yeux 41
7- Régionalisation et latéralisation cérébrale : la question du Biais Visuel Gauche 43
7-1 Latéralisation hémisphérique : rappel *43*
7-2 Les résultats des études comportementales *44*
7-3 Les résultats des études de l'exploration des visages *46*
7-4 Les hypothèses *47*
8- Attention et visages 48
8-1 Généralité *48*
8-2 Les « routines attentionnelles » *51*
8-3 Vitesse de traitement *52*
8-4 Hypothèse d'un traitement sous cortical *53*
9- Décours temporel : le «timing » de la perception des visages 55
10- La question de la Familiarité 57
10- La valence « sociale » des visages *61*
10-1 Introduction *61*
10-2 L'effet espèce sur l'exploration des visages *61*
10-3 L'effet de la virtualisation sur l'exploration des visages: les ACA: Agents de Communications Animés (Avatars et Robots) *63*

Chapitre II: Troubles du Spectre Autistique et perception des visages **65**

1- Généralité sur les Troubles du Spectre Autistique (TSA) 65
2- Anomalies de traitement des visages humains non familiers dans les Troubles du Spectre Autistiques 68
2-1 Indices comportementaux *70*
2-1-1 Le déficit attentionnel spécifique précoce *70*
2-1-2- La reconnaissance des visages *72*

2-1-3 La question du traitement holistique dans les TSA ... *73*
2-2 Indices électroencéphalographiques : anomalies du décours temporel ... *75*
2-2 Les patterns d'exploration ... *76*
2-3 Indices cérébraux: Le cerveau des visages dans l'autisme ... *79*
2-3-1- Le Gyrus Fusiform ... *80*
3- La question du Biais perceptif visuel Gauche ... 83
4- La question de la familiarité dans l'exploration des visages: particularités dans les TSA? ... 83
5- La question de la valence sociale des visages: particularités dans les TSA? ... 84
5-1 L'effet espèce: particularité dans les TSA? ... *84*
5-2 L'effet virtualisation: particularités dans les TSA ... *86*

TRAVAUX EXPERIMENTAUX ... 88

ChapitreI: Le traitement implicite des visages familiers ... 89
1- Contexte de réalisation des études comportementales développementales: ... 89
1-1 L'effet implicite de la simple exposition ou « mere exposure hypothesis » ... *90*
1-3 Contexte de l'expérimentation comportementale sur les visages familiers ... *92*
2- Article 1: Left-right facial orientation of familiar faces: developmental aspects of « the mere exposure hypothesis » (2010). Frontiers in psychology, 1, 39. doi:10.3389/fpsyg.2010.00039 ... 95
2-1 Hypothèses ... *95*
2-2 Matériel et méthodes ... *95*
2-3 Principaux résultats ... *96*
2-4 Conclusions ... *97*
3- Article 2: Etude n 2: Représentation mnésique du soi et de l'hyperfamilier: contribution dans les Troubles du Spectre Autistique. ... 104
3-1 Introduction ... *104*
3-2 Matériel et méthodes ... *106*
3-3 Principaux résultats ... *107*
3-4 Conclusions ... *107*
4 - Discussion générale sur les résultats des 2 expérimentations comportementales ... 108

Chapitre II: Stratégies de balayage des visages: Etude comportementale en suivi du regard (Eye tracking) ... 110

IIA Contexte de réalisation des études en Eye tracking ... 110
1-Eye tracking ... 110
1- Principes de base des Eye tracker ... 112
1-1- Généralités ... *112*
1-2- Principaux indicateurs oculométriques ... *115*
1-3 Les limites de la technique ... *117*
1-3-1- Les limites de la théorie ... *117*
1-3-2 Les limites des protocoles ... *117*
2- Les résultats de l'exploration en Eye tracking des visages ... 118
3- Limites méthodologiques des études de la perception des visages en Eye-tracking ... 121
4- Oculomotricité et autisme ... 124
4-1 Particularités générales ... *124*
4-2 Traitement perceptif visuel atypique ... *124*

IIB: Travaux expérimentaux en Eye Tracking ... 126
1- Objectifs ... 126
2- Materiel & Méthodes ... 130
2-1 Les participants de la recherche ... *130*
2-1-1- Sujets au développement typique: ... *130*
2-1-2- Sujets avec TSA ... *130*
2-2 Procédure ... *133*
2-2-1-L'Eye-tracking ... *134*
2-2-2- Calibration : ... *134*
2-2-3- Stimuli ... *136*

3- Gestion et analyse des données ... 137
3.1. Gestion des données ... 137
3.2. Analyse des données ... 138
3-2-1- La constitution du prototype/avatar des visages ... 138
3-2-2- La méthode a priori ... 139
3-2-3- La méthode a posteriori : Méthodes en statistiques spatiales ... 139
4- Résultats ... 140
4-1- Comparaison de la méthode a priori et la méthode a postériori ... 140
4-2 Caractéristiques globales de l'exploration des images (méthode à priori) ... 142
4-3 Biais perceptif visuel Gauche ... 144
4-4 Stratégie d'exploration des Visages non Familiers ... 145
4-4-1- Dispersion des points de fixation ... 146
4-4-2- Comparaison temps passé par Zones ... 146
4-4-3- Décours temporel de l'exploration ... 147
4-4-4- Comparaison entre groupes: zones visages et la région des yeux (OD+OG) ... 148
4-4-5- Recherche d'un effet du genre chez l'adulte ... 150
4-4-6- Corrélation entre le temps passé sur la zone des Yeux et les compétences sociales ... 150
4-5 Analyse de la valence social des visages et du type de visage ... 152
4-5-1- Analyse des résultats du temps moyen passé par ROI pour chaque condition ... 152
4-5-2 Analyse des décours temporels des ROI ... 155
4-5-3- Comparaison entre types de visages: interaction sujets x conditions ... 157
4-6 RESUME ... 162
4-6-1 Objectif : Evaluer l'effet de la virtualisation. Les avatars et les robots comme intermédiaires entre le visage et l'objet ... 162
4-6-2 Objectif: Evaluer l'effet de l'espèce. Les animaux comme stimulus social non humain. ... 164
4-5-3- Objectif : Evaluer l'effet de familiarité ... 166
5- Discussion générale sur l'expérimentation en Eye tracking ... 167

CONCLUSION et PERSPECTIVES ... 182
REFERENCES ... 189

INTRODUCTION

L'intérêt des scientifiques pour le système de traitement des visages a probablement émergé au cours du siècle dernier. Il a longtemps été rattaché à l'étude des émotions (lecture et expression faciale) ou à la reconnaissance des visages, sous l'influence de Darwin et de son postulat initial : "les expressions faciales des émotions sont universelles" (Darwin, 1872). Cet intérêt n'a fait que croître ces dernières années et s'est progressivement individualisé de l'étude des émotions à proprement parler pour s'étendre à la modélisation des différents traitements cognitifs que le cerveau pouvait appliquer au visage, à la constitution de sa représentation mnésique, en passant par les "routines attentionnelles ou visuelles" que l'on pouvait imaginer lui appliquer, aux fonctions plus basiques de la perception des attributs et la prise d'information initiale.

Il est impressionnant de constater que le nombre de publications scientifiques qui se sont attachées à améliorer la compréhension de ce système a littéralement explosé ces dernières années. Ce domaine d'intérêt a probablement été renforcé par l'aspect spectaculaire des compétences en reconnaissance faciale du cerveau humain (moins de 300 ms suffisent) en comparaison avec d'autres capacités de traitement de l'information, décrites en sciences cognitives. Il ne faudrait effectivement qu'une exposition de 20 ms (Rizzolatti&Buchtel, 1977) et une seule fixation pour être compétent sur le genre, l'état émotionnel ou l'identité d'un visage alors que chaque visage est pourtant composé des mêmes caractéristiques disposées de manière similaire, suggérant que la discrimination repose sur de très fines distinctions visuelles. Cet aspect revêt un caractère hautement significatif lorsque les scientifiques ont tenté de se pencher sur les populations d'individus qui présentaient des difficultés visibles comportementalement dans ce domaine.

Ainsi, les sujets souffrant de prosopagnosie ont fait l'objet d'une attention plus spécifique mais, surtout et avant tout, de par la prévalence de ce trouble et la problématique développementale donc potentiellement "rééducative ou thérapeutique", les enfants et adultes présentant un Trouble du Spectre Autistique.

La littérature scientifique dans ce domaine a connu un essor exponentiel et nombre d'études essaient de mettre en perspective les difficultés d'interactions sociales largement documentées de ce trouble avec des anomalies cognitives sous-jacentes ou perceptives spécifiques au monde social. Le visage est par essence le stimulus « porte d'entrée » à ce monde social.

L'intérêt de décrire et comprendre les anomalies initiales d'entrée dans le monde social, se positionne à l'époque de la rééducation et des interventions précoces, comme un enjeu de taille pour la communauté pédopsychiatrique, aussi intensément que pour la communauté scientifique dans son ensemble quand on envisage la dernière prévalence annoncée du trouble qui le présente comme touchant 1/150 naissances (Fombonne, Quirke, & Hagen, 2009).

Dans ce travail, nous utiliserons l'approche développementale en parallèle de l'approche pathologique dans une perspective croisée pour permettre d'aborder les questions de l'implication de l'expérience et de la maturation développementale du module le plus initial du traitement des visages : celui de la prise d'information perceptive visuelle.

Nous avons fait le choix de ne pas traiter la question des émotions qui bénéficient d'un traitement perceptif spécifique et qui impliquent des réseaux cérébraux plus étendus. Il a été démontré par plusieurs études que les expressions émotionnelles influencent l'attention spatiale en général et donc les parcours exploratoires et la temporalité du traitement cognitif. Une des premières études dans le domaine soulignait cette interférence en montrant que les visages exprimant la colère étaient identifiés plus efficacement et plus rapidement dans une foule de visages exprimant la joie, plutôt que l'inverse (C. H. Hansen & Hansen, 1988). Plusieurs autres études ont montré que les stimuli négatifs ou menaçants attirent l'attention plus que les stimuli neutres (pour revue Rondeau, 2012), et que la perception de stimuli à contenu émotionnel en général influence le traitement cognitif à différents niveaux (perceptif, mémoire, attention), notamment en soulignant que les informations émotionnelles influençaient le déploiement des ressources attentionnelles qui seraient orientées plus rapidement vers la localisation spatiale de stimuli potentiellement menaçants (Fichtenholtz, Hopfinger, Graham, Detwiler, & LaBar, 2007; Pourtois, Grandjean, Sander, & Vuilleumier, 2004). La revue de la littérature n'impliquera pas ce domaine d'étude et le choix de nos stimuli dans la partie expérimentale est en cohérence avec ce cadre donné.

Plus précisément, nous orienterons notre propos autour d'études qui décrivent la trajectoire de développement typique de la fonction de reconnaissance des visages, de la naissance à l'âge adulte (Chapitre I).

Cette revue de la littérature sera introduite par une section qui sera l'occasion pour nous d'aborder la question des termes fréquemment utilisés dans le champ et qui prêtent souvent à confusion, de définir ce qu'est un visage ainsi que les traitements qui peuvent lui être appliqués et d'aborder les méthodes classiques d'étude du développement de cette fonction.

Nous reviendrons sur les questions encore source de débat, du rôle prédominant des yeux comme attribut interne et de celle de la latéralisation hémisphérique.

Les modalités de prise d'informations visuelles seront également abordées sous l'angle de la distribution de l'attention et alimentées par les modèles d'organisation et de déplacement de l'attention qui ont été proposés jusqu'ici afin d'aborder le contexte de la question de l'automatisation du balayage visuel des visages chez l'humain. Nous évoquerons également les résultats des études s'intéressant à la spécificité du visage humain et de sa valence sociale, en interrogeant l'effet de la familiarité, celui de l'espèce et l'effet de la virtualisation, plus particulièrement sur les stratégies d'exploration de ces visages.

Pour finir sur l'état des lieux de la littérature dans le domaine qui nous intéresse nous retracerons les anomalies du traitement perceptif des visages en sélectionnant les indices comportementaux et oculométriques qui se rapportent aux stimuli que nous avions sélectionnés : image statique sans émotion faciale (Chapitre II).

Viendront ensuite les 3 études que nous avons menées sur le sujet. Celles-ci seront introduites par l'intermédiaire des contextes de réalisation respectifs et décrites dans leur totalité (Travaux Expérimentaux).

Les 2 premières études documentent la même procédure d'évaluation de la perception et trace mnésique des asymétries faciales de visages familiers, l'une en population typique d'enfants et d'adultes et la seconde auprès d'enfants et d'adultes avec TSA.

La troisième étude tente de caractériser par l'utilisation de la technique d' Eye tracking, le parcours de fixation de visage neutres statiques en limitant les biais méthodologiques retrouvés dans la littérature, chez 4 groupes de sujets : adultes et enfants au développement typique et avec un Trouble du Spectre Autistique sans déficience intellectuelle associée.

Les résultats de ces études seront critiqués et discutés dans l'idée de proposer de nouvelles pistes de recherche, mais elles seront également mises en perspectives avec les résultats présentés dans la littérature dans le but d'éclairer les spécificités du parcours de balayage visuel perceptif des visages dans la population typique en incluant les aspects développementaux et les liens avec l'expertise, mais également d'appréhender les particularités développementales retrouvées dans la population de sujet avec TSA.

Selon nous, les études s'intéressant à documenter les patterns d'exploration des visages indépendamment des masques émotionnels et en fonction de leur valence sociale permettent d'étudier l'émergence d'une spécificité à un stade initiale du système de reconnaissance. La mise en évidence d'un pattern d'exploration sensible au type de visage chez l'adulte typique, permet de rendre compte à l'échelle initiale du traitement des visages, d'un module spécifique permettant d'expliquer les compétences de reconnaissance particulière des humains entre eux et illustrer l'impact de l'exposition sur ce système. L'absence d'automatisation de la prise d'information issue des visages chez les sujets avec TSA, pourrait quant à elle renseigner sur l'implication de processus précoces dans l'avènement d'anomalies comportementales du social dans cette population et orienter plus spécifiquement les interventions rééducatives.

CADRE THEORIQUE

Chapitre I : Traitement des visages : principes généraux

1- Introduction

Par la fréquence à laquelle on le rencontre dans l'environnement et par son contenu riche en information sociale de premier ordre, le visage humain constitue un stimulus visuel de classe à part. En effet, la durée de fixation nécessaire à l'identification du sexe, de l'état émotionnel ou de l'identité est de l'ordre de la seconde, une exposition de 20 ms suffirait même pour la reconnaissance (p. ex. Rizzolatti & Buchtel, 1977). Cette performance est d'autant plus surprenante que chaque visage est composé des mêmes attributs (yeux, nez, bouche) disposés selon une organisation similaire, créant ainsi un groupe de stimuli d'une homogénéité supérieure à celle retrouvée dans la majorité des catégories d'objets. Pourtant, tout observateur humain se montre capable d'identifier un nombre apparemment infini de visages, alors que seules de fines discriminations visuelles permettent de les identifier. Cette compétence particulière à identifier les visages suggère que le cerveau humain traite ces stimuli de façon spécialisée, en faisant appel à des mécanismes de traitement visuel de hauts niveaux différents de ceux mis en œuvre de façon plus générale en reconnaissance d'objets (V. Bruce & Young, 1986; A. R. Damasio, Damasio, & Van Hoesen, 1982; Farah, 1996; McCarthy, Puce, Gore, & Allison, 1997). Plusieurs recherches fournissent des résultats quant à la compréhension des processus intervenant dans le traitement des visages ; mais le mécanisme dynamique de la prise d'information sous-tendant ce traitement, lui, reste encore obscur.

Notamment, l'étude de l'attention et son déplacement spatial sous la forme des parcours d'explorations visuels sont parmis les axes d'études les plus intéressants à la compréhension des anomalies de traitement de ces stimuli sociaux. L'attention et l'automatisation d'un décours temporel et spatial de nos « points de fixation » sur les visages sont les premiers garants de la capture efficace et rapide de l'information qui sous-tend les processus cognitifs de traitement de cette information et permettent l'élaboration de l'identité, du sexe, des émotions, indispensables aux relations humaines.

2- Bases Neuro-anatomiques

Chez l'homme, l'existence d'un système cérébral spécifiquement dédié à la perception des visages a été formalisée à partir de deux types de données (Ollat, 2002). Les premières sont les observations de patients cérébrolésés qui présentent une incapacité à identifier les visages familiers sur la seule base des indices visuels (une "prosopagnosie") alors qu'ils n'ont pas ou peu de troubles de la reconnaissance visuelle d'autres objets. Les examens anatomiques ont associé ce trouble à des lésions du cortex occipito-temporal ventral, le plus souvent bilatérales, mais parfois uniquement droites. Les secondes sont les résultats des enregistrements unitaires de l'activité neuronale réalisés chez le singe. On a ainsi identifié dans le sillon temporal supérieur (STS) et dans le gyrus temporal inférieur des neurones qui sont sélectivement activés lorsque l'animal voit le visage d'autres singes (Perrett et al., 1982).

Aujourd'hui l'existence d'un tel système a été bien démontrée par les études de neuroimagerie fonctionnelle menées chez l'homme sain et par d'autres études électrophysiologiques menées chez le singe, revues et discutées par J.V. Haxby et coll (2002).

Ces études ont abouti à plusieurs conclusions :

- Le système de perception des visages est un **système distribué**, comportant des **régions cérébrales visuelles et non visuelles** ;
- Les **régions visuelles**, toujours impliquées, assurent deux types de perception : celle des caractéristiques fondamentales du visage, constantes quels que soient les mouvements de la face ; et celles des modifications des aspects du visage dues aux mouvements faciaux ;
- Les **régions non visuelles** principalement situées au niveau du **cortex fronto-temporal inférieur** sont recrutées de façon **spécifique** pour donner une signification à l'analyse visuelle : identifier, reconnaître l'autre ; évaluer son état émotionnel, la cible de son attention, ses intentions, améliorer la compréhension de son discours. Ce système neuronal est initialement centré sur l'activité du **cortex temporal médial et inférieur** (Nelson, 2001). Les études d'imagerie en résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) menées chez les volontaires sains ont identifié **trois régions du cortex visuel non primaire** (extra-strié) qui sont activées bilatéralement lors de la perception des visages,(Kawasaki et al., 2012; Norbury et al., 2013; Ollat, 2002; Rossion et al., 2003).

1- le gyrus fusiforme latéral (GFL), situé à la face ventrale du cerveau, où il occupe la partie externe du cortex temporal (fusiform face area (FFA) et tout particulièrement au niveau de l'hemisphère droit (G. Dawson, Webb, & McPartland, 2005).

2- la partie postérieure du sillon temporal supérieur (STS), situé à la face externe du cerveau.

3- le gyrus occipital inférieur (GOI), situé entre les deux régions précédentes, ce qui suggère qu'il leur transmet leurs influx visuels appellé aussi OFA (Occipital Face Area)

- Les régions cérébrales impliquées peuvent concerner séparément, **des réseaux corticaux et sous-corticaux** (cf résultats d'études en neuropsychologie d'adultes héminégligents ou prosopagnosiques ; pour exemple :(Garrido, Duchaine, & Nakayama, 2011; M. H. Johnson, 2005).

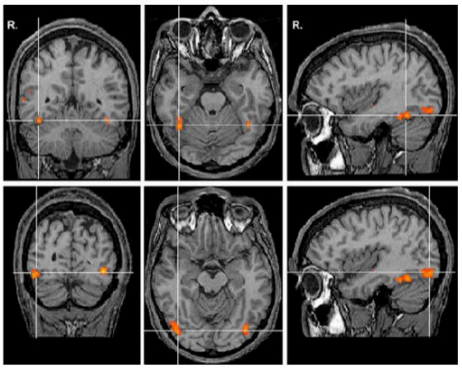
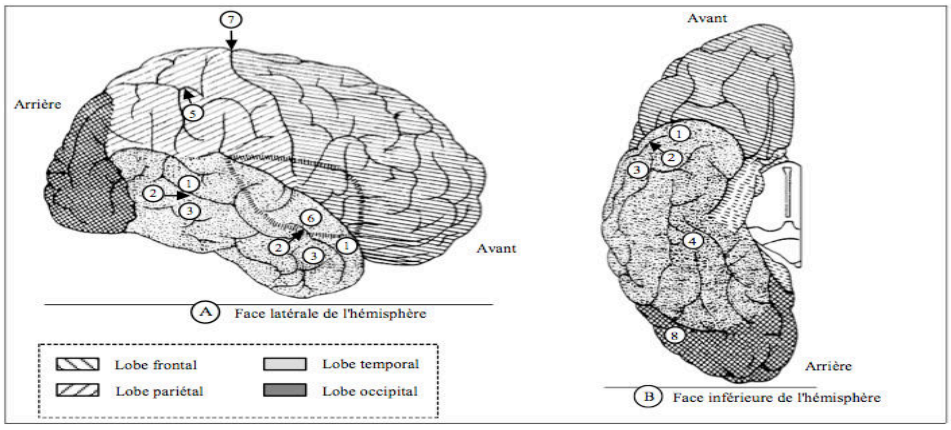


Figure 1 : Extraite de Schultz et Rossion (2006). Aires fonctionnelles qui répondent de manière spécifique aux visages. Vues coronales, transversales et sagittales de MGF (ligne du dessus) et de IOG (ligne du dessous).



1 : gyrus temporal supérieur ; 2 : sillon temporal supérieur ; 3 : gyrus temporal moyen ; 4 : gyrus fusiforme latéral ; 5 : sillon intrapariétal ; 6 : scissure de Sylvius ; 7 : scissure de Rolando ; 8 : gyrus occipital inférieur

Figure 1. Les régions corticales du système visuel de perception des visages.

Figure 2: Les régions cérébrales visuelles de la perception des visages (extrait OLLAT, (2002))

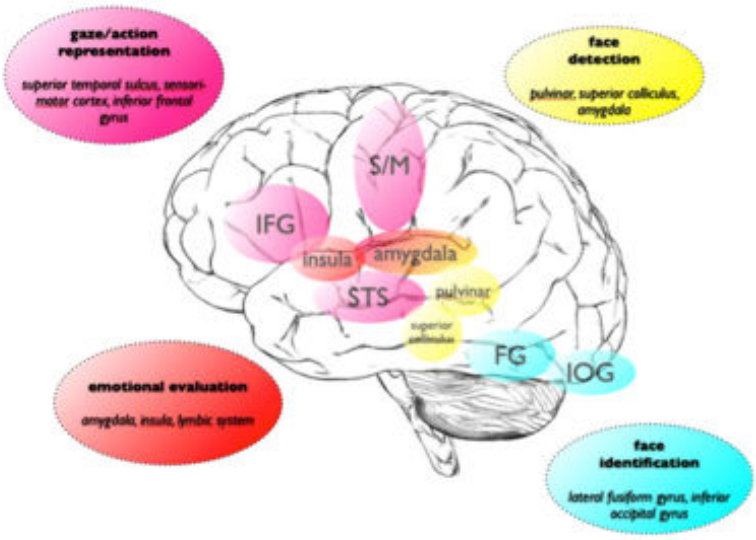


Figure 3: Extrait G. Campatelli, 2013 : The face network

Pour certains auteurs ces régions cérébrales et tout particulièrement le GFL, sont hautement *spécialisées* et n'interviennent *que* dans la perception des visages (Kanwisher et al., 1997; Kawasaki et al., 2012), mais d'autres résultats ont montré qu'elles étaient également activées, encore qu'à un moindre degré, par la vue d'objets appartenant à d'autres catégories (maisons, objets, animaux...) (Chao, Haxby, & Martin, 1999; Ishai et al., 1999). Une première hypothèse est qu'elles contiennent bien des neurones qui répondent exclusivement aux visages, comme cela a été montré chez le singe, mais aussi des neurones qui répondent aux attributs d'autres objets. Selon une seconde hypothèse, formulée par Gauthier et coll. (1999a; 2000) ces régions sont en fait globalement *spécialisées dans la compétence, « l'expertise* visuelle » et non pas simplement dans la reconnaissance des visages.

En d'autres termes, elles seraient activées par n'importe quel objet dès lors que celui-ci est perçu comme un élément singulier d'une catégorie et non pas comme un simple représentant de cette catégorie. Ainsi elles seraient plus activées par la vue des visages que par la vue de tout autre objet parce que l'homme a développé une grande compétence dans la perception des visages. L'étude de Gauthier (1999b) où les sujets ont appris à comparer des figurines chimériques (des "greebles") selon leurs caractéristiques globales (famille) et selon leurs caractéristiques particulières au sein d'une même famille est souvent citée pour étayer cette hypothèse, car elle a montré pour la première fois que l'apprentissage s'est accompagné d'une augmentation du GFL et du GOI par la vue des greebles à comparer (Gauthier et al., 1999b).

Une autre étude a été menée dans une population particulière constituée de sujets experts soit en oiseaux, soit en voitures. Quatre enregistrements ont été réalisés : pendant la présentation de séries de photos d'objets familiers (parapluie…), de visages, de couples d'oiseaux et de couples de voitures. Dans ces derniers cas, les sujets devaient déterminer si les deux oiseaux appartenaient à la même espèce et si les deux voitures étaient d'une même marque. La vue des oiseaux et des voitures a globalement activé de façon plus importante le GFL et le GOI que la vue des objets familiers. Surtout, il est apparu un "effet expertise" : l'activation de ces deux régions était plus importante chez les sujets experts pour la catégorie (oiseaux ou voitures) que chez les sujets non experts. Néanmoins c'est la vue des visages qui a eu les effets activateurs les plus puissants (Gauthier et al., 2000).

Pourtant, plusieurs types de données incitent à penser que le GFL et le STS ont des fonctions différentes, le premier étant essentiellement impliqué dans la reconnaissance de l'identité des visages, et le second intervenant surtout dans l'analyse des modifications de l'aspect des visages (Ollat, 2002):

- Des patients prosopagnosiques, incapables d'identifier les visages peuvent néanmoins y reconnaître les changements d'expression ou de direction du regard (M. H. Johnson, 2005). Ces résultats suggèrent d'ailleurs que l'identification des visages peut être traitée par des structures sous-corticales et par un réseau impliquant le colliculus supérieur, le pulvinar et l'amydale (Norbury et al., 2013)
- Chez le singe, les études électrophysiologiques ont identifié deux principales classes de neurones activés lors de la vue de visages. Pour les uns, les réponses ne dépendent que de l'identité des visages ; ils sont essentiellement situés dans le gyrus temporal inférieur. Pour les autres, les réponses dépendent au contraire uniquement des aspects variables des visages (mouvements faciaux, direction du regard, expression) ; ils sont principalement situés dans le STS,
- Enfin chez l'homme sain, la neuroimagerie fonctionnelle a montré que le STS est activé par la perception de mouvements des yeux et de la bouche et lors de la perception des visages statiques. Le STS était plus activé lorsque les sujets focalisent leur attention sur la direction du regard que lorsqu'ils la focalisent sur l'identité des visages.

Inversement, le GFL et le GOI sont plus activés lorsque les sujets focalisent leur attention sur l'identité des visages que lorsqu'ils la focalisent sur la direction du regard.

Par ailleurs, les études en PET-Scan et en IRMf ont montré que la vue de visages familiers, qu'il s'agisse de proches ou de personnalités connues, active le pôle temporal et la partie antérieure du gyrus temporal moyen (Gorno-Tempini et al., 1998; Leveroni et al., 2000).

Deux autres observations suggèrent que ces régions temporales antérieures fournissent une information quant à la biographie de l'individu qui est vu. Ces mêmes régions sont également activées par la vue des noms de personnages célèbres ou de scènes familières.

La sélectivité du GFL (FFA) paraît indépendante de certaines caractéristiques de bas niveau (Allison, Puce, Spencer, & McCarthy, 1999; 1997; Kanwisher, Tong, & Nakayama, 1998), et est plus activée par les visages entiers que par les mêmes images morcelées et réarrangées (« scrambled face »).

En 2006, dans une revue consacrée aux visages et au gyrus fusiforme, Kanwisher et Yovel offrent une synthèse des travaux comportementaux et neurophysioloques affirmant non seulement le rôle clé du GFL mais aussi sa sensibilité voire sélectivité. Ils y affirment que l'activation du FFA est l'activation cérébrale la plus robuste en réponse aux visages comparée à celle des 2 autres régions visages (OFA et STS) (Kanwisher & Yovel, 2006)

Pour conclure**,** si l'existence même de ces neurones sélectifs aux visages n'a en soi rien de spécial (des réponses sélectives existant également pour d'autres catégories d'objets (Kreiman, Fried, & Koch, 2005; Quiroga, Reddy, Kreiman, Koch, & Fried, 2005), c'est la proportion de ces neurones qui peut sembler impressionnante (Logothetis & Sheinberg, 1996; J. W. Tanaka, Tanaka, Farah, & Farah, 1993), ainsi que leur organisation spatiale : chez le singe, dans certaines régions du cortex, tous les neurones enregistrés se révèlent sélectifs aux visages (Tsao, Freiwald, Knutsen, Mandeville, & Tootell, 2003); chez l'homme, nous l'avons vu plus haut, l'IRM fonctionnelle et le PET Scan ont révèlé **des régions entières qui s'activent spécifiquement à la vue d'un visage.**

S'il semble maintenant clair que la représentation neuronale des visages se distingue structurellement de celle des autres objets par de nombreux facteurs, la raison première de cette organisation reste débattue.

S'agit-il d'une structuration **innée**, et donc inévitable sauf dans des cas pathologiques (Farah, 1996; Garrido et al., 2011) ou plutôt du résultat d'une **exposition répétée** à cette catégorie d'objets, c'est-à-dire d'une « expertise » pour les visages (Diamond & Carey, 1986a; Gauthier et al., 1999b; Tarr & Gauthier, 2000).

Sans prendre part à ce débat sur les causes de l'architecture neuronale sous-tendant la représentation des visages, il est raisonnable de penser que cette architecture pourrait avoir pour conséquence un traitement plus efficace, nécessitant donc moins de ressources attentionnelles. Par exemple, Reddy et Kanwisher ont montré récemment que l'organisation du cortex occipito-temporal en « modules » sélectifs rend la représentation des visages plus résistante à la compétition induite par la présence simultanée d'un autre objet, mais aussi plus résistante au retrait des ressources attentionnelles (Reddy, Kanwisher, & VanRullen, 2009).

À côté ou en parallèle de ce réseau cérébral multifocal du cortex temporo-frontal inférieur qui est individualisé comme le noyau neuronal de la perception et du traitement des visages, un réseau plus large lui est actuellement accolé pour rendre compte des connexions plus complexes et du traitement cognitif plus complexe engagé.

On y retrouve des structures impliquées dans le traitement émotionnel, telles que l'amygdale, le système limbique, l'insula et le cortex temporal antérieur (Benuzzi et al., 2007).

3- Les modèles cognitifs de reconnaissance et de traitement des visages

Pour résumer cette littérature, plusieurs modélisations ont tenté de mettre en parallèle les processus ou modules cognitifs de traitement des visages et leur substratum neuro-anatomique.

Le premier modèle de reconnaissance des visages élaboré par V. Bruce et A. Young, en 1986 distinguait au moins *sept étapes d'encodage* dont les 2 premières correspondent à un traitement perceptif initial des visages inconnus ou familiers (d'après V. Bruce & Young, 1986, figure 4). À l'issue de ces 7 étapes, il devenait alors possible de comparer cette configuration faciale unique à une *représentation prototypique* des visages humains stockée en mémoire, et de catégoriser ou non le stimulus perçu dans la classe 'visage' avant qu'il ne fasse l'objet de traitements ultérieurs.

H. Ellis, en 1990 a adopté une position théorique radicalement différente (H. D. Ellis & Lewis, 2001)(Figure 5). Selon lui, la reconnaissance d'un visage résulte d'un *ensemble sériel de processus de classification de plus en plus précis.* Il commence par la classification du stimulus visuel en visage ou non-visage et s'achève par la discrimination d'un visage spécifique différent de tous les autres visages en mémoire. Cette dernière étape n'est atteinte qu'après des étapes de classification intermédiaire (classification du genre, de l'âge, de l'origine ethnique, etc). La reconnaissance nécessite donc ici la catégorisation préalable du genre. Par contre, l'expression est extraite par un processus indépendant. La modélisation de H. Ellis permet cependant de supposer que l'expression peut exercer une influence contextuelle sur la reconnaissance.

Tout récemment, Haxby et al. (2000) ont proposé un nouveau modèle qui prend en compte les données d'imagerie cérébrale (Figure 5) et qui, selon eux, est fortement inspiré du modèle de Bruce et Young (1986).

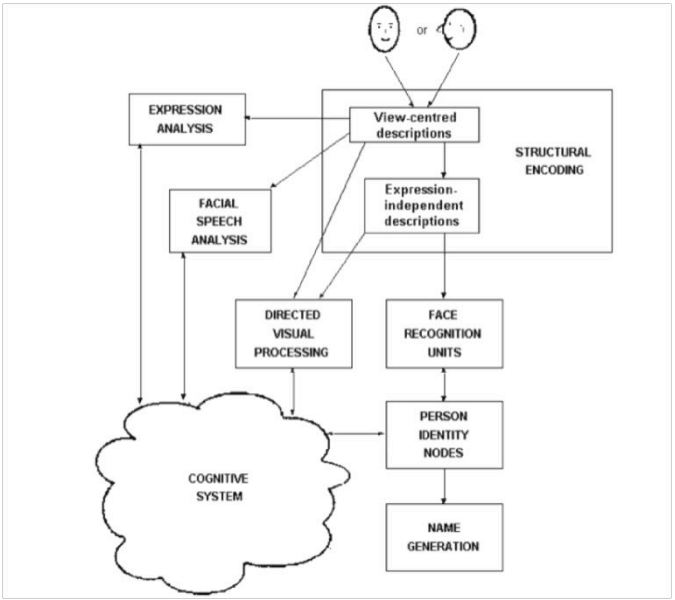
Ce modèle présente une particularité qui correspond à une conception nouvelle dans le domaine de la reconnaissance du visage : les processus de haut niveau ont des projections descendantes jusqu'aux niveaux les plus précoces. De plus, ces derniers ont des connexions réciproques : ils peuvent donc s'influencer mutuellement. Aucun des autres modèles que nous avons présentés ne permet de telles projections. Ces connexions descendantes permettent des interactions dans le traitement des différentes informations faciales.

Ainsi, par exemple, la familiarité peut rétroagir sur le traitement précoce de la structure du visage ce qui peut alors se répercuter sur tous les autres processus qui en utilisent le produit, Ce modèle peut néanmoins être rendu compatible avec le modèle de Young (cf : Figure 7, d'après Calder & Young, 2005)

Le modèle cognitif de Young a donc donné suite à celui de Haxby et al (2002) qui s'est progressivement enrichi des études sur l'expertise afin de rendre compte non seulement des données d'imagerie mais du débat sur l'expertise et la spécificité neuronale (Figure 7)

Le consensus serait donc à présent que **la reconnaissance de l'identité d'un individu se fait suivant une séquence stéréotypée, de processus différentiés avec successivement le rappel de son caractère familier, puis le rappel de la connaissance biographique que nous en avons, et en dernier lieu le rappel de son nom.**

Ces processus ou étape mettent en jeux des zones particulères liées à la spécificité et/ou à l'expertise affirmée de ce stimulus visage, définissant « **le cerveau des visages** ».



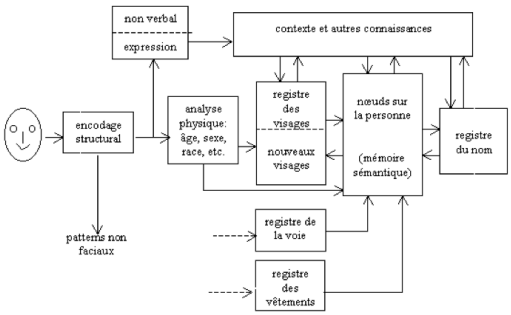


Figure 4: Modèle de reconnaissance des visages élaboré par V. Bruce et A. Young, en 1986

Figure 5: Modèle de reconnaissance des visages, H, Ellis, 1986 (pour revue :(McKone, Crookes, & Kanwisher, 2009)

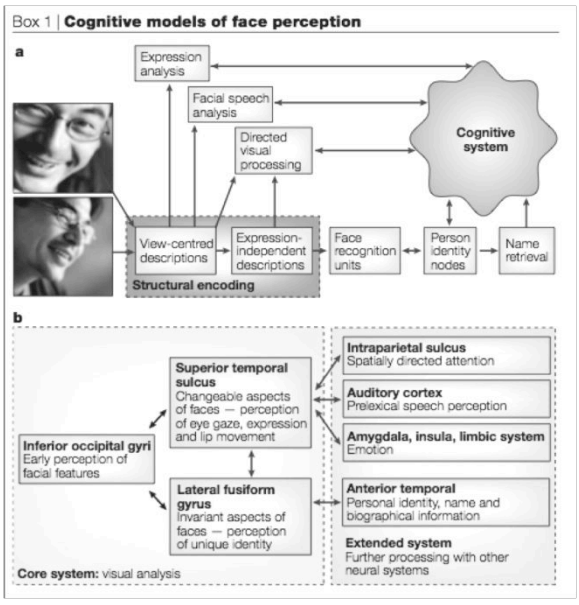


Figure 6: d'aprés Andrew,(2005). Le modèle de Bruce and Young compatible avec le système distribué de perception des visages proposé par Haxby and colleagues (2002).

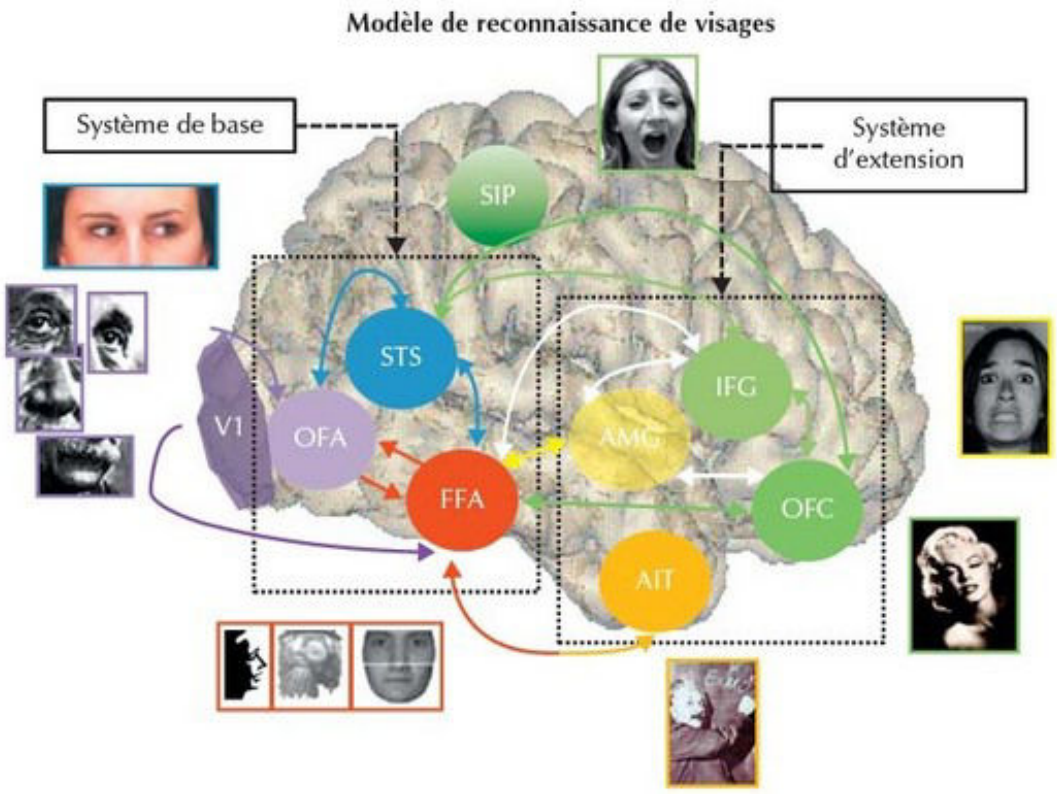


Figure 7: Modèle de reconnaissance des visages extrait Olivier Martinaud, (2012).

4- La configuration du visage

Un stimulus visage est caractérisé par des variations de luminance dans 3 canaux de couleur (Rouge, Bleu, Vert) en référence à un espace donné. Plus largement, il est défini par un ensemble d'informations visuelles de bas niveau (surface, forme, contraste, contenu fréquentiel) qui lui sont propres et qui en font un stimulus tridimensionnel à la fois complexe et unique. Ces variations caractérisent tout autant les traits faciaux du visage et les relations qu'ils entretiennent que les éléments saillants du visage comme le contour du visage ou les cheveux. Ces variations de luminance obéissent à une **organisation** sans laquelle le stimulus facial n'existe pas. Cette organisation vient donc du **regroupement des attributs faciaux**, c'est-à-dire des parties distinctes et indépendantes d'un visage, pouvant être nommées et reconnues (yeux, nez, bouche, etc.). Bien que les mêmes attributs se retrouvent dans chaque visage, les caractéristiques de ces parties constituantes peuvent parfois à elles seules suffire à la reconnaissance du visage: par exemple la forme du nez, la couleur des yeux, le style de coiffure.

On parle alors de reconnaissance par attributs, effectuée par traitement analytique du visage.

Cependant, les études en reconnaissance de visages ont rapidement démontré que le traitement analytique semble accompagné d'un autre type de traitement, potentiellement plus efficace: ce deuxième type de traitement reposerait sur **l'information sous-jacente aux simples attributs faciaux, soit l'information, configurale ou de deuxième ordre**, dont l'importance relative varie selon les auteurs (Diamond & Carey, 1986b; Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1995; 1998) plus récemment (Peterson & Rhodes, 2003)pour une revue de la littérature.

De prime abord, la définition de ce qui constitue l'information configurale n'est pas nette et, mis à part le fait qu'elle repose sur les relations spatiales entre les différents attributs, plusieurs définitions peuvent être utilisées. L'information configurale peut comprendre une très petite étendue du visage (p. ex., entre deux attributs adjacents) ou s'étendre sur une étendue beaucoup plus grande, englobant des attributs séparés par de larges distances (Bartlett, Searcy, & Abdi, 2003).

Selon certains, l'information configurale repose sur la position et les **relations spatiales entre les attributs au sein du visage** (G. Rhodes, Tan, Brake, & Taylor, 1989; Schwaninger & Hofer, 2003), sur **l'utilisation conjonctive des attributs** (Schyns, Bonnar, & Gosselin, 2002) ou encore sur **les relations spatiales des attributs en comparaison avec un arrangement prototypique**: ses traits sont en effet organisés de manière symétrique autour d'un axe vertical, avec une paire d'yeux au-dessus d'un nez et d'une bouche (Carey, 1994; Diamond & Carey, 1986b).

Dans ce dernier cas, deux types de relations spatiales seraient à dissocier, soit les relations spatiales de premier ordre **entre les différents attributs faciaux (disposition relative des caractéristiques du visage les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire les yeux au-dessus du nez, et le nez au-dessus de la bouche) et** les relations spatiales de deuxième ordre**, définissant la grandeur relative de ces relations spatiales par rapport à un prototype sous-jacent : les distances relatives, les distances métriques qui séparent les traits faciaux (ex : distance entre les 2 yeux ou entre le nez et la bouche)** (Diamond & Carey, 1986a; Leder & Bruce, 2000)**.**
Les adultes peuvent détecter les variations de ces distances aussi petites qu'une minute d'angle visuel, c'est-à-dire une valeur proche de la limite de l'acuité visuelle (Haig, 1984)**.**

Au total et d'un point de vue opératoire et pratique, les relations de premier ordre définiraient les stimuli comme appartenant à la classe « visages », alors que les relations de deuxième ordre caractériseraient les différents individus, permettant ainsi la reconnaissance d'un visage spécifique.

La définition du terme configural a longtemps été controversée (Pascalis, et al., 2005a et b). Daphne Maurer et ses collaborateurs ont récemment proposé une définition qui permet de les réunir (Maurer, Grand, & Mondloch, 2002). Au niveau basique, on l'a vu, le traitement configural consisterait à catégoriser le stimulus en tant que visage – « il y a deux yeux au-dessus d'un nez ». Diamond et Carey appellent ce type de traitement un traitement « de premier ordre ». Le traitement configural consiste également à lier les traits faciaux entre eux. Cette opération est quelque fois appelée « traitement holistique ». Enfin, nous l'avons vu, le terme configural est aussi utilisé pour définir le traitement « de deuxième ordre » de Diamond et Carey (1986a), c'est-à-dire l'analyse des distances entre les principaux éléments constitutifs du visage (yeux, bouche, ligne des cheveux, etc.).

Maurer et al, (2002) proposent donc un modele de traitement des visages en 3 étapes où le traitement holistique est considéré comme une des étapes du traitement configural, associé à un traitement configural de 1er ordre et de 2ème ordre.
Les 3 traitements opèreraient un ordre logique avec la détection du visage sur la base des relations de premier ordre puis le traitement holistique et enfin la détection des relations de 2ème ordre tout cela dans l'objectif d'identification. La mise en place de ce processus 3 étapes serait pour lui uniquement dédié à la perception des visages.

Selon d'autres auteurs, l'information configurale vient du traitement holistique du visage, où, tel un gabarit, celui-ci est représenté en tant que tout indivisible, et non pas en termes de la somme des attributs (J. W. Tanaka et al., 1993; par exemple J. W. Tanaka, Kiefer, & Bukach, 2004).
Les études menées par ces auteurs démontrent une difficulté accrue à reconnaître les attributs faciaux à l'extérieur du contexte du visage, ce qui n'est pas le cas pour les composantes d'autres objets.
Cependant, peu importe la définition qu'on lui donne, il semble que l'information configurale ne tienne que pour les visages en position de visualisation « canonique »: toute dérogation à la norme, telle l'inversion du visage, compromet l'extraction de ce type d'information.

Ceci a amené à conclure que **le traitement holistique des visages est directement lié à l'observateur**. Il pourrait être défini **comme le processus qui permet l'intégration simultanée des multiples traits du visage en une représentation perceptive unique** (Rossion & Boremanse, 2008). Il est indispensable à la reconnaissance d'un visage et lui est automatiquement appliqué afin d'associer de manière rapide et efficace les informations visuelles de bas (couleur, texture, ...) et de plus haut (traits internes et externes ainsi que leurs distances relatives) niveau qui le composent.

Comme nous le verrons, l'existence du traitement holistique des visages a principalement été mise en évidence au travers de paradigmes comme l'avantage du tout sur les parties (« Whole Part Advantage » ; J. W. Tanaka et al., 1993), l'effet de composite (« Composite Face Effect » ; A. W. Young, Hellawell, & Hay, 1987) et l'effet d'inversion des visages (« Face Inversion Effect » ; Yin, 1969) ou les visages filtrés (Costen, Parker, & Craw, 1994).

4-1 L'effet d'inversion des visages

Pour tout stimulus à orientation unique verticale (i.e. ayant un haut et un bas), une inversion du stimulus, c'est-à-dire un pivotement de 180 degrés, rend la tâche d'identification plus difficile. Cette constatation a été obtenue pour un ensemble de stimuli, tels des maisons, des avions, etc., en plus des visages.

Or, comparativement aux autres stimuli, la reconnaissance des visages démontre spécifiquement une difficulté accrue dans la condition inversée, accompagnée d'une facilitation supérieure dans la condition à l'endroit: ce coût disproportionné de l'inversion pour les visages est maintenant connu sous le nom d'«effet d'inversion des visages » (EIV) (Valentine & Bruce, 1988 pour une revue de la literature; Yin, 1969).

Par exemple, si on inverse les yeux et la bouche d'un visage à l'endroit, on perçoit sans problème que l'image résultante prend une allure grotesque; cependant, si on tourne ce visage modifié à l'envers, son apparence anormale n'est plus évidente (Figure 1). Il s'agit de « l'effet Tatcher ».



Figure 8: L'Effet Tatcher

L'effet d'inversion n'est pas retrouvé dans les tâches d'appariement de visages non familiers (Bruyer & Velge, 1981; Valentine & Bruce, 1988) ce qui indique que les visages doivent être stockés en mémoire pour qu'un effet d'inversion puisse être retrouvé. Ceci explique l'absence d'effet d'inversion sur les visages non familiers (Loftus, Oberg, & Dillon, 2004; Megreya & Burton, 2006). Cet effet a donc été expliqué par un modèle de traitement perceptif des visages qui passe par du Configural/Hollistique. Ce traitement configural n'est plus permis en position inversée, ce qui ralentit le processus de reconnaissance et de traitement perceptif en général (Bruyer, Galvez, & Prairial, 1993; Collishaw & Hole, 2002; Valentine & Bruce, 1988)

4-2 Les visages composites

Le processus de traitement holistique des visages est également très bien illustré par l'illusion des visages composites: dans cette expérience, on associe des moitiés supérieures et inférieures de visages différents. Quand les moitiés de visages supérieures sont toutes identiques, mais associées à des moitiés inférieures différentes, les parties supérieures sont perçues comme étant différentes (voir la figure 9 : de Heering, Rossion, Turati, & Simion, 2008)

Dans l'expérience initiale, Young et collaborateurs (1987) ont créé des stimuli composites en assemblant la partie supérieure d'un visage familier à la partie inférieure d'un autre visage familier. Dans la moitié des cas, celles-ci étaient alignées l'une par rapport à l'autre, dans l'autre, elles étaient décalées l'une par rapport à l'autre.

Quand on leur demandait d'identifier les parties supérieures des visages composites, les participants les dénommaient plus lentement dans la condition d'alignement que de décalage.

Un léger ralentissement des temps de réaction était également observé quand il s'agissait de dénommer les parties inférieures des visages. Depuis lors, le paradigme a été étendu aux visages non familiers et est généralement mesuré tant au niveau de l'exactitude des réponses des sujets qu'au niveau de leurs temps de réaction (Goffaux & Rossion, 2006; Hole, 1994; Hole, George, & Dunsmore, 1999; Le Grand, Mondloch, Maurer, & Brent, 2003; C. Michel, Rossion, Han, Chung, & Caldara, 2006; Rossion & Boremanse, 2008; Singer & Sheinberg, 2006). Ce paradigme a été adapté aux enfants (Carey, 1994; de Heering, Houthuys, & Rossion, 2007; Mondloch, Maurer, & Ahola, 2006b) et à différentes techniques d'investigation (de Heering et al., 2008; Schiltz & Rossion, 2006).

L'ensemble de ces études se base sur le principe que les participants jugent, à tort, les parties supérieures présentées à l'endroit comme légèrement différentes quand elles sont alignées avec les parties inférieures de visages différents, plutôt que décalées. Dans la première étude composite menée avec des enfants en utilisant des visages qui leur étaient familiers. Carey et Diamond (1994) concluaient à la présence d'un effet de composite à partir de 6 ans qui n'évoluait pas jusqu'à l'âge de 10 ans. Mondloch et al (2006a) ont répliqué ce résultat avec des enfants de 6 ans confrontés, cette fois, à des visages non familiers.

Cette illusion des visages composites se produit même quand les participants adultes ne prêtent pas attention aux parties inférieures des visages (Heering et al ; 2008). L'illusion de composite n'est donc pas due à un biais d'attention pour la partie basse et les participants ne regardent pas plus la partie basse des visages dans la condition d'alignement que dans la condition de décalage. Par ailleurs, nous avons constaté que leurs mouvements oculaires se situent au-dessus du nez, entre les 2 yeux, tant dans les conditions d'alignement que de décalage. L'absence de différence entre ces 2 conditions indique que le traitement holistique des visages peut avoir lieu sans intervention de mouvements des yeux.

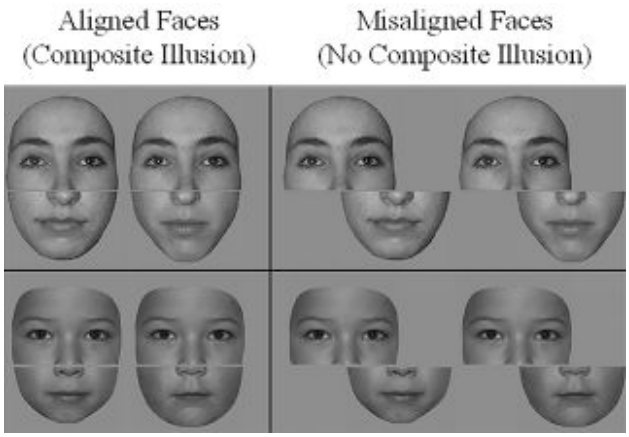


Figure 9: Rossion, 2008

Le traitement holistique est sûrement ancien sur le plan phylogénétique puisqu'on le retrouve chez d'autres espèces animales comme le singe dont les cellules répondent davantage à un visage présenté entièrement qu'à un visage dont un trait a été masqué ou à des traits isolés (C. Bruce, Desimone, & Gross, 1981; C. G. Gross & Sergent, 1992). Il suit une trajectoire développementale singulière en apparaissant très tôt au cours du développement de l'enfant et en évoluant encore probablement jusqu'à l'âge adulte.

4-3 L'avantage du tout sur les parties

Selon l'hypothèse holistique, les visages à l'endroit sont stockés en mémoire comme des touts dont les composantes sont moins explicitement représentées que la totalité du visage. Le paradigme de la "supériorité du tout sur les parties" en témoigne. Dans leur étude originale menée sur des adultes, Tanaka et Farah (1993) ont supposé que, si la reconnaissance d'un visage se construit sur la base de ses composantes, celles-ci devraient être mieux reconnues présentées de manière isolée, qu'à l'intérieur de leur configuration initiale. À l'inverse, si elles sont intégrées dans des unités perceptives, elles devraient être mieux reconnues dans le contexte du visage.

Pour tester ces hypothèses inverses, les auteurs ont entraîné des participants adultes à reconnaître des visages à l'endroit qui différaient les uns des autres par le nez, les yeux ou la bouche. Ils devaient ensuite retrouver le visage vu précédemment quand seul un trait était présenté ou quand l'ensemble du visage était disponible. Leurs résultats ont clairement indiqué que les parties de visages étaient plus difficiles à identifier quand elles étaient présentées seules, que quand elles étaient intégrées à l'ensemble du visage. Aucun avantage du contexte n'a été démontré quand les visages étaient à l'envers.

Leder et Carbon (2005) ont proposé une variante de ce paradigme dans laquelle ils ont demandé à des sujets d'encoder des traits faciaux isolés et non des visages entiers comme l'avait fait Tanaka et coll (1993) pour ensuite les reconnaître dans le contexte du visage ou de manière isolée. Les sujets adultes étaient plus performants dans la condition d'isolement, ce qui indique que la présence de l'ensemble du visage peut être désavantageuse pour la perception de ses parties constitutives.

Dans la même idée, Rhodes et al (1993) ont montré qu'un changement sur un élément isolé est difficilement détecté lorsqu'il est présenté au sein d'un visage démontrant ainsi que les éléments du visage ne sont pas traités de manière indépendante (analytique), les informations sur les éléments de la configuration étant réunies au sein d'un "gestalt" (Farah et al., 1998; Goffaux & Rossion, 2006; Pellicano & Rhodes, 2003; Pellicano, Rhodes, & Peters, 2006; J. W. Tanaka et al., 2004).

4-4 Les Visages filtrés

L'étude du rôle des fréquences spatiales visuelles part du postulat psychophysique qui considère que les basses fréquences spatiales reflètent les aspects globaux d'une image alors que les hautes fréquences spatiales privilégient le traitement perceptif des parties, des détails des stimulis visuels (Figure10). Ainsi , dans le cas de l'utilisation d'un filtre passe-bas, les informations fines portées par les traits faciaux sont effacées, L'effet obtenu est l'inverse de l'effet d'inversion : le participant est obligé de mettre en œuvre un traitement configural des visages en empêchant le traitement analytique (Collin et al., 2006; Costen et al., 1994; Goffaux et al., 2005)

Cette manipulation n'affecte pas la reconnaissance de l'identité du visage flouté (Hayes, 1988) suggérant de nouveau l'implication du traitement configural et non du traitement analytique dans l'identification, Par contre les participants échouent de manière importante lorsque les visages sont présentés floutés et inversés (Collishaw & Hole, 2000).

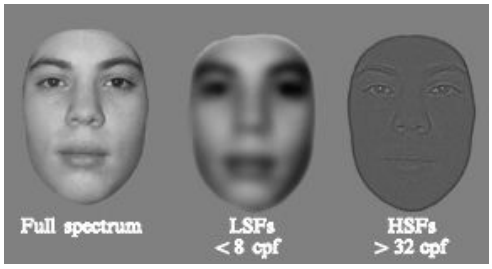


Figure 10 : extrait de Goffayx et al, 2005.

5- Développement humain et traitement des visages

La théorie actuellement consensuelle serait que la reconnaissance des visages est présente à la naissance mais qu'elle se spécialiserait avec le développement suivant le modèle de la fonction adaptative inné qui s'affirme avec l'expérience.

La thèse évolutionniste, qui veut que ce soit une fonction adaptative sélectionnée au cours de l'évolution, est appuyée par trois arguments:

1- Cette fonction est présente chez les primates humains et non-humains:

Les études comportementales de Campbell et Pascalis (1997) montrent que la reconnaissance d'objets est aussi bien réussie chez l'homme que chez le singe, que la reconnaissance de visages humains est mieux réussie chez l'homme que chez le singe et qu'inversement, les visages de singe sont mieux reconnus par le singe que par l'homme. La reconnaissance des visages a donc une **origine phylogénétique**.

2- Elle est présente très précocement chez l'enfant:

Des études développementales montrent que l'expérience des visages n'est pas nécessaire pour développer cette capacité (Pascalis & de Schonen, 1994).

- Avant 2 mois, il y a différence entre visage de la mère et d'un étranger.

- Vers 4 mois, il y a meilleure reconnaissance à l'endroit qu'à l'envers (de Heering et al., 2007)

- Entre 3 et 7 mois, la discrimination mère-étranger est plus robuste (de Heering, de Liedekerke, Deboni, & Rossion, 2010)

3- Elle est prise en charge par des tissus neuronaux spécifiques:

Des études neurologiques chez des bébés cérébro-lésés montrent l'absence de plasticité ou de réorganisation possible chez eux malgré une expérience des visages. L'aire lésée n'est donc pas relayée: il y aurait donc bien implication de tissus neuronaux *spécifiques*.

La reconnaissance des visages existe donc de façon innée et connaît un développement ontogénétique qui commence tôt après la naissance et s'affine tout au long de l'enfance. La question sous jacente devient pourquoi cette capacité si importante présente si peu de plasticité malgré l'expertise acquise.

5-1 Le développement du cerveau

Par l'intermédiaire du calcul de l'épaisseur de la substance grise en millimètres (mm), des recherches ont mis en évidence que la taille du cerveau augmente à raison de 0.4 à 1.5 mm par an de 5 à 11 ans (pour revue voir de Heering, 2009). Entre ces 2 moments, le gain en quantité de substance grise s'observe surtout au niveau des régions frontales et pariéto-occipitales par rapport aux autres régions corticales.

Chugani et al (1987) en TEP et Giedd et al (1996) en IRMf ont également suggéré que le cortex visuel, occipital, subissait des changements structurels même à l'âge adulte. Les régions impliquées dans la reconnaissance des visages subissent donc probablement encore des changements dans l'enfance, tant au niveau de la substance blanche que de la substance grise (Sowell et al., 2004).

À ce jour, il existe très peu d'études menées en neuroimagerie (TEP; IRMf) avec des enfants pour les raisons éthiques et pratiques. Deux patterns distincts ont néanmoins été dégagés de ces études, appuyant plutôt l'idée que quelque chose de spécifique à la reconnaissance des visages se met en place au cours du développement, même si, dans ce cadre, l'attention se porte plus sur les régions fonctionnellement actives lors de tâches impliquant des visages indépendamment de la nature des traitements qui leur sont appliqués.

D'après de Heering (2009), chronologiquement, la première recherche menée en IRMf avec des enfants a fait état d'un **réseau *largement distribué* qui se rétrécît et se spécialise avec le temps**.Stiles et coll (Stiles, Moses, Passarotti, Dick, & Buxton, 2003) ont été les premiers à scanner des enfants en IRM en les soumettant simultanément à des tâches impliquant des visages. Ils ont montré que, tout comme les adultes, les enfants de 10-12 ans activent davantage la FFA en réponse aux visages ordinaires qu'aux visages dont les traits sont mélangés. Leur réseau est néanmoins plus distribué que celui des adultes.

Trois ans plus tard, le même groupe (Passarotti, Smith, DeLano, & Huang, 2007) rapporte des profils d'activation similaires à l'étude précédente en réponse aux visages à l'endroit, chez des adultes (20-30 ans), des adolescents (13-17 ans) et des enfants (8-11 ans), surtout au niveau de l'hémisphère droit (HD).

À l'inverse, les activations associées aux visages à l'envers semblent décroitre avec l'âge, surtout dans le gyrus fusiforme latéral droit, mais seulement chez les adultes et les adolescents alors que les enfants montrent plus d'activation pour les visages à l'envers que pour les visages à l'endroit dans la même région.

Dans la même lignée, certains auteurs ont ensuite supposé **l'existence d'un saut pendant l'enfance**, avec une période clé du développement entre la 8ème et la 10 ème année de vie de l'enfant, qui marquerait le passage de « l'absence » d'activation spécifique de ces aires corticales pour les visages à « l'apparition » de réponse corticales spécifiques à cette catégorie visuelle. Au terme de cette période, certaines régions commenceraient à répondre de manière spécifique aux visages (Aylward et al., 2005; Gathers, Bhatt, Corbly, Farley, & Joseph, 2004; Scherf, Behrmann, Humphreys, & Luna, 2007).

Les études plus récentes révèlent que les enfants comme les adultes, disposent **d'aires corticales qui répondent préférentiellement aux visages mais que celles-ci s'élargissent au cours du temps, en termes d'étendue et par conséquent de neurones répondants de manière spécifique aux visages** (Golarai et al., 2007).

Cette particularité rappelle les études comportementales qui indiquent que certains types de traitement appliqués aux visages ne se développent que lentement (voir par exemple (Butler & Harvey, 2008; Carey, Diamond, & Woods, 1980; Mondloch, Dobson, Parsons, & Maurer, 2004; Mondloch, Geldart, Maurer, & Grand, 2003; Mondloch, Le Grand, & Maurer, 2002).

Les études présentées ci-dessus ont fait appel à différentes tâches et à différents critères pour définir les aires fonctionnellement impliquées dans la reconnaissance des visages, et n'ont, le plus souvent, pas tenu compte dans l'analyse des signaux, de la maturation anatomique du cerveau alors que le gyrus fusiforme pourrait être plus petit chez les enfants que chez les adultes (sauf dans l'étude deTzourio-Mazoyer et al (Tzourio-Mazoyer et al., 2002).

Elles n'ont pas permis de déterminer non plus si les changements développementaux observés sont spécifiques aux visages ou causés par des différences non spécifiques liées à l'âge.

En résumé, l'ensemble des études présentées ci-dessus indique que l'organisation basique des circuits neuronaux qui sous-tendent la reconnaissance des visages est à minima, **partiellement présente à l'âge de 2 mois et se développe de la petite enfance à l'adolescence**.

Seulement, à ce stade, les résultats recueillis sont **contradictoires** puisque l'on a d'un côté des auteurs (Aylward et al., 2005; Scherf et al., 2007; Stiles et al., 2003) qui prônent un **rétrécissement progressif** du réseau spécifiquement impliqué dans la reconnaissance des visages avec l'âge, et de l'autre des chercheurs (voir Golarai et al., 2007) qui considèrent que ces aires **s'étendent** avec l'âge et que, par conséquent, le nombre de neurones qui répondent de manière sélective aux visages augmente significativement avec le temps.

5-2 Le développement de la reconnaissance des visages

5-2-1 Les nouveaux nés

Les capacités des nouveau-nés en reconnaissance des visages sont testées depuis les années 60 (Fantz, 1963; STECHLER, 1964) et jusqu'à ce jour par le biais des **paradigmes de préférence et d'habituation visuelle**.

De manière générale, on a pu observer que ces capacités sont présentes très tôt au cours du développement de l'enfant puisque les nouveau-nés suivent davantage des visages en mouvement dont les traits sont à leur place que des visages en mouvement aux traits mélangés (M. H. Johnson, Dziurawiec, Ellis, & Morton, 1991) voir Figure 11), et ce déjà **après 2 heures de vie** (Maurer, Stager, & Mondloch, 1999). Ils préfèrent également orienter leur regard et regardent plus longuement le schéma d'un visage qu'un pattern qui n'y ressemble pas (Maurer, 1983; Simion, Valenza, Umiltà, & Dalla Barba, 1998) ainsi qu'un visage réel dont la configuration est normale plutôt qu'anormale (Valenza, Simion, Cassia, & Umiltà, 1996) et dont les yeux les regardent plutôt qu'ils ne les évitent (Farroni, Csibra, Simion, & Johnson, 2002).

Il est également intéressant de constater que les nouveau- nés ne présentent pas de préférence visuelle pour un visage de 3⁄4 qui les regarde directement par rapport à un visage de 3⁄4 qui regarde ailleurs (Farroni, Menon, & Johnson, 2006). Ils ne sont donc pas sensibles à la direction du regard mais bien à un pattern particulier dont le visage et les yeux apparaissent de face.



Figure 11: Configurations schématiques qui ressemblent (« facelike stimulus », à gauche) ou pas (« non facelike stimulus », à droite) à un visage (Morton & Johnson, 1991). Le nouveau-né préfère regarder la configuration de gauche .

À côté de ces capacités de détection précoce, les nouveau-nés témoignent aussi de **capacités de reconnaissance** puisqu'ils marquent, en effet, une préférence pour le visage de la mère quand celle-ci est présentée à côté du visage d'une étrangère (Bushnell, 1982; 1989; Pascalis, 1995).

La reconnaissance du visage de la mère est d'ailleurs encore possible après un délai de 15 minutes ce qui suggère que la mémoire de ce visage est relativement stable. Par ailleurs, la robustesse de la représentation du visage familier semble liée à la quantité d'expérience accumulée avec ce visage puisque le degré de préférence marqué par le nouveau-né en dépend (Bushnell, 2001).

5-2-2 La course développementale du processus de reconnaissance des visages :

Données générales

Les données issues de la littérature sont encore à ce jour non consensuelles. De nombreuses études ont montré que les performances des enfants en reconnaissance de visages à l'endroit s'améliorent avec l'âge (voir par exemple Brace et al., 2001; De Sonneville et al., 2002; Mondloch et al., 2002; Pascalis, de Haan, & Nelson, 2002; Pellicano & Rhodes, 2003).

Depuis les années soixante, d'autres chercheurs se sont intéressés de manière plus directe à l'évolution de ces performances. Carey et Diamond (1977) ont avancé que les scores des enfants de 6, 8 et 10 ans augmentent régulièrement quand il s'agit de reconnaître des visages à l'endroit (respectivement 69%, 81% et 89%). Blaney et Winograd (1978) se sont ralliés à cette conclusion en rapportant des taux de 58%, 62% et 72% pour des enfants de 6, 8 et 10 ans.

Pourtant, l'âge exact auquel les performances des enfants avoisinent celles des adultes n'est, à ce jour, pas encore déterminé: 10 ans (Carey, 1994),11 ans (Feinman & Entwisle, 1976) ou 16 ans (Carey et al., 1980).

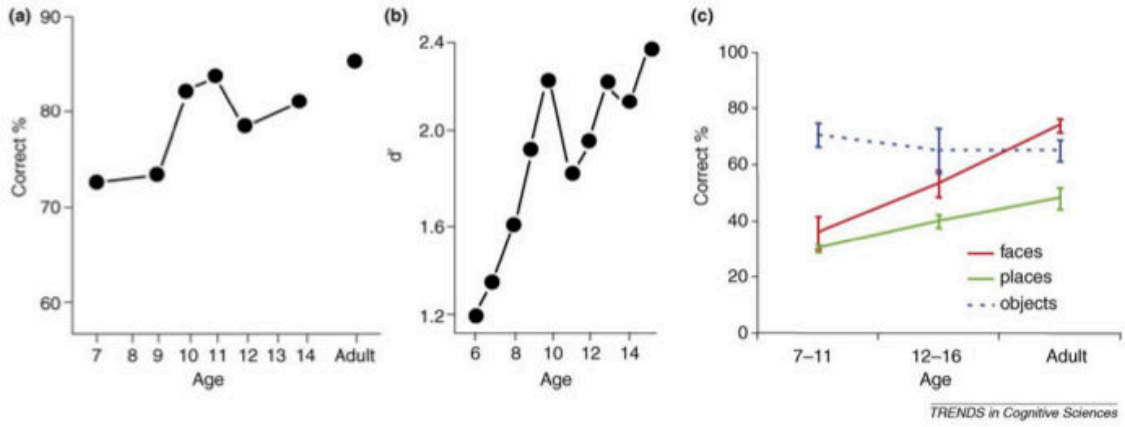


Figure 12: Extraite de Grill-Spector, Golorai et Gabrieli (2008). Carey (1994) ; a) et Flin (1985) ; b) rapportent une augmentation des performances avec l'âge en reconnaissance de visages à l'endroit ainsi qu'une chute des performances à la puberté. Golorai et collaborateurs (2007) démontrent que les capacités de reconnaissance augmentent pour les visages (rouge) et les lieux (vert) mais pas pour les objets (bleu).

Le développement du traitement configural

L'idée partagée serait donc que l'expertise adulte ne serait réellement définitivement atteinte qu'à l'**adolescence** (voir par exemple Carey, 1994; Carey et al., 1980). Si cette observation semble faire globalement l'unanimité, la question tourne plutôt aujourd'hui autour de la **nature des mécanismes de traitement qui pourraient expliquer le fait que les enfants sont effectivement moins bons pour reconnaître les visages que les adultes.**

Pour certains, la réponse tient dans le fait que les jeunes enfants utilisent des **traitements différents** de ceux appliqués par les enfants plus âgés ou les adultes (Diamond & Carey, 1977). Dans cette optique, les meilleures aptitudes des adultes pour reconnaître les visages s'expliquent par leurs capacités soudaines à recourir à un mécanisme de traitement spécifique aux visages que nous avons décrit plus haut: le fameux traitement holistique ou configural. Pour eux, celui-ci serait donc absent de la boite à outil des enfants avant l'adolescence et les enfants traiteraient les visages de manière purement analytique comme les objets.

De manière plus modérée, des auteurs comme Mondloch, Le Grand et Maurer (2002) évoquent eux, la possibilité que ce traitement spécifique aux visages se mette en place **plus lentement** au cours du développement de l'enfant **que le traitement de l'information locale** (traitement analytique). À l'inverse, d'autres chercheurs refusent d'expliquer les performances plus faibles des enfants en reconnaissance des visages par un facteur spécifique aux visages et insistent sur **l'influence potentiellement négative de facteurs généraux comme l'attention, la mémoire** (voir par exemple (McKone & Boyer, 2006; Pascalis, Scott, et al., 2005b; Pellicano et al., 2006).

Tanaka et collaborateurs (1997) ont adapté leur paradigme témoignant de l'avantage du tout sur les parties à des enfants de 6, 8 et 10 ans. Ils ont trouvé, sur la base des taux de réponses correctes, que même les enfants de 6 ans faisaient preuve de traitement holistique puisqu'ils reconnaissaient mieux les traits faciaux intégrés dans le contexte du visage que présentés de manière isolée. Cette influence positive du contexte du visage ne s'amplifiait pas entre 6 et 10 ans. Afin de compléter cette étude, Pellicano et Rhodes (2003) ont testé des enfants de 4 et 5 ans. Elles se sont aperçues que, dès cet âge, ils présentaient un avantage du tout sur les parties, et donc des habiletés holistiques précoces.

Tout comme dans l'étude de Tanaka et collaborateurs (1997), l'effet n'a été mesuré que sur la base de pourcentages de réponses correctes. Il n'évoluait pas non plus de 4 à 5 ans. Ces observations ont été confirmées plus tard par (Pellicano et al., 2006) avec des enfants du même âge, à l'aide du paradigme de Tanaka et Sengco (1997).

Dans la première étude composite menée avec des enfants en utilisant des visages qui leur étaient familiers, Carey et Diamond (1994) concluaient en la présence d'un effet de composite à partir de 6 ans qui n'évoluait pas jusqu'à l'âge de 10 ans. Mondloch et collaborateurs (2006b) ont répliqué ce résultat avec des enfants de 6 ans confrontés, cette fois, à des visages non familiers.

De Heering (2007) a étendu ces observations aux enfants de 4 et 5 ans en adaptant le paradigme de base. Les visages leur étaient présentés de manière simultanée et sans limite de temps, de sorte qu'aucune composante mnésique n'était impliquée dans la tâche. Leurs parties supérieures avaient aussi été colorées afin de rendre les plus jeunes enfants plus sensibles aux instructions.

Cette étude a également permis d'observer que les capacités de traitement holistique, quand elles sont évaluées avec des visages non familiers au travers de l'effet de composite, restent stables de 4 à 6 ans.

Ses résultats impliquent enfin que les performances plus faibles des enfants en reconnaissance des visages doivent plutôt être comprises au travers de l'implication de facteurs généraux puisque les enfants de 4, 5 et 6 ans témoignent d'un effet de composite de la même envergure.

Les enfants de 3-4 ans seraient donc d'après ces derniers travaux tout à fait capables de traiter les visages de manière holistique, que ce traitement soit évalué au travers de l'effet d'inversion, de l'avantage du tout sur les parties ou de l'illusion de composite. Ceci n'exclut bien sûre en rien que le traitement holistique émerge déjà autour de la naissance ou au cours de la petite enfance (Turati, Valenza, Leo, & Simion, 2005) même sous une forme atténuée.

5-2-3 La question de l'Inné/ acquis: Nature/Nurture

Le CONSPEC/CONLERN

Les plus grands défenseurs de la thèse de l'innéité sont Johnson et Morton (1991), Morton et Johnson (1991) et Johnson (Farroni et al., 2002; M. H. Johnson, 2005). Ces auteurs ont développé un modèle attribuant aux nouveau-nés un mécanisme attentionnel à la fois inné, CONSPEC (conspecific recognition of our own spécifs) et spécifiquement dédié à la détection de la visagéité. Celui-ci fonctionnerait sous le contrôle de structures sous-corticales opérant en basses fréquences spatiales: le follicule supérieur et le pulvinar (B. Atkinson, 1984). A l'âge de 2 mois, après avoir acquis suffisamment d'expérience avec les visages, ce mécanisme cèderait sa place à un mécanisme cortical plus adulte, CONLERN (a system that acquires and retins specific information about the visual characteristics of conspecifics), capable d'apprendre et de différencier les visages au niveau individuel.

Les modèles plus intégratifs

Le modèle de de Schöner et Mathivet (1989), adapté aux nourrissons, est moins strict que le CONSPEC/CONLERN, même s'il confère aussi aux visages une dimension très spéciale dès la naissance.

Il s'inscrit dans la perspective cognitiviste des neurosciences qui considère que les structures cognitives sont spécifiques mais qu'elles émergent graduellement de l'interaction entre des contraintes innées et la structure du stimulus fourni par l'environnement de l'espèce (Morton & Johnson, 1991; Pascalis, 1995; Plunkett, Karmiloff-Smith, Bates, Elman, & Johnson, 1997; voir aussi Sangrigoli & De Schonen, 2004a).

Selon ces auteurs, la mise en place du système de reconnaissance des visages est donc **possible à la naissance car les nouveau-nés disposent d'un mécanisme attentionnel général à la recherche de certaines caractéristiques visuelles dont les visages disposent**. Ce mécanisme attentionnel est soumis à une double influence: des auteurs comme Nelson (2001) et Turati (Turati et al., 2005) pensent que le système de reconnaissance des visages se construit sous l'influence de l'environnement et de contraintes innées mais **générales**. Ces contraintes sont multiples et peuvent être comprises au moyen de l'hypothèse sensorielle et de l'hypothèse structurale. Selon **l'hypothèse sensorielle**, les visages sont préférés par les nouveau-nés non parce qu'il s'agit de visages au sens strict mais parce que leurs propriétés psychophysiques conviennent à l'état de maturation du système visuel à la naissance.

En d'autres termes, un visage ne serait pas préféré à tout autre stimulus suffisamment visible à plusieurs dimensions (Banks & Ginsburg, 1985). A elle seule, l'hypothèse sensorielle ne permet pas d'expliquer l'ensemble des préférences témoignées par les nouveau-nés puisque ceux-ci préfèrent les patterns qui ressemblent à des visages même quand ceux-ci sont comparés à des stimuli de visibilité égale (M. H. Johnson et al., 1991) ou plus grande (Valenza et al., 1996)**. C'est donc conjointement aux contraintes imposées par l'hypothèse structurale que ces préférences doivent être comprises.** Selon cette hypothèse, sont mis en avant les facteurs liés à la préférence pour la symétrie et à la notion de visage moyen ou de structure des inputs visuels. Ainsi, Schöner et collaborateurs (Sangrigoli & De Schonen, 2004b) proposent eux l'idée d'un mécanisme unique de reconnaissance actif dès la naissance et sensible à certaines **propriétés visuelles générales**, telles:

- un plus grand nombre d'éléments dans la **partie supérieure du champ** par rapport au champ inférieur (effet d'asymétrie haut/bas)

- une **relation congruente entre les éléments et la forme du contour** (effet de congruence)

-…Il y en aurait d'autres et toutes sont loin d'être connues. A l'heure actuelle les propriétés visuelles qui ont été découvertes sont caractéristiques des visages auxquels les nouveau-nés sont le plus souvent exposés, que ce soit de manière directe ou en combinaison avec d'autres stimulations (voix, manipulations, nourriture)

Ainsi, même si elles sont générales, ces propriétés visuelles contraindraient les nouveau-nés à s'orienter de manière spécifique vers la catégorie des visages puisque ceux sont les seuls stimuli qui les rassemblent tous, et qui apparaissant à une distance raisonnable.

Par ailleurs, dans la ligne de Johnson(2005), De Heering (2009) rappelle que les nouveau-nés subissent, indépendamment des contraintes sensorielles inhérentes aux stimuli visages, l'influence innée d'un mécanisme attentionnel qui biaise continuellement l'input fourni à la voie visuelle ventrale en faveur des visages. Ce mécanisme s'appuierait sur des **bases phylogénétiques** ; il aurait été sélectionné au cours de l'évolution des espèces même si l'on ne peut pas exclure la possibilité qu'une seule heure d'expérience visuelle soit suffisante pour déterminer les préférences marquées par les nouveau-nés.

L'exposition fréquente et continue à cette catégorie visuelle amorcerait la trajectoire développementale de la fonction de reconnaissance des visages et provoquerait une spécialisation structurelle et fonctionnelle progressive des circuits corticaux.

Les outils cognitifs s'affinent à des rythmes différents avec le temps selon que le développement ait été normal (Mondloch et al., 2002) ou anormal (voir Mondloch et al., 2003).

En résumé les représentations faciales seraient donc innées et grossièrement définies pour permettre d'appréhender les visages quels que soient leur espèce, leur race et leur genre. Les outils de traitement, qu'il s'agisse du traitement local ou du traitement de l'ensemble du visage, le seraient probablement également en ce sens qu'ils sont utilisables aussi bien pour traiter des visages que des objets aux alentours de la naissance mais à un niveau d'immaturité par rapport au mécanisme adulte .

5-2-4 Les effets de l'expérience visuelle: Un rétrécisseur perceptif?

L'exposition prolongée d'un individu, et par conséquent de son système de reconnaissance, à certaines catégories de visages engendre une spécialisation progressive de ses habiletés perceptives (Nelson, 2001). Ainsi, les représentations s'affinent petit à petit en fonction des visages présents dans l'environnement : des visages d'une orientation donnée (à l'endroit, le plus souvent), d'une espèce donnée (humaine, le plus souvent), d'une race donnée (asiatique en Asie), d'un âge donné (davantage de visages adultes et/ou d'enfants) et d'un genre donné (davantage de visages masculins et/ou féminins) (Kelly, Liu, et al., 2007a; Pascalis & Kelly, 2009).

Les recherches se sont principalement axées sur 3 effets pour illustrer l'impact de l'expérience visuelle sur le système de reconnaissance des visages dans l'enfance et à l'âge adulte. Il s'agit de l'effet d'âge (« Other-age effect », OAE) et de l'effet de race (« Other-race effect », ORE) et de l'effet espèce des visages.

L'Effet Age

L'effet d'âge est l'un des témoins de l'influence continue de l'expérience visuelle sur le système de reconnaissance des visages.

Il est probablement moins documenté que l'effet de race parce qu'il est difficile de trouver des individus dépourvus d'expérience avec des visages d'enfants, d'autant plus qu'ils ont eux-mêmes été enfants et ont donc été en contact avec cette catégorie de visages. On trouve cependant des individus dont l'expérience avec les visages d'enfants est quotidienne : les institutrices, par exemple. Il a été montré qu'elles traitent aussi bien les visages d'enfants que les visages d'adultes, contrairement aux adultes qui ne sont jamais en contact avec cette première catégorie de visages (Kuefner, Macchi Cassia, Picozzi, & Bricolo, 2008).

Toujours à propos de l'effet d'âge, il apparaît que les adultes estiment l'âge de visages adultes photographiés avec une marge d'erreur de 2 à 4 ans (voir par exemple Burt & Perrett, 1995; George & Hole, 1995).

Dans une revue récente (2012) Rhodes avance que l'on se base principalement sur des traits globaux comme la forme du crâne, des traits internes du visage comme les yeux, la texture et la couleur de la peau ainsi que des informations de distance entre les traits du visage pour estimer correctement l'âge de personnes photographiées.

D'un autre côté, elle insiste sur l'importance de l'âge de l'observateur. En effet, les adultes plus âgés reconnaissent mieux les visages d'adultes plus âgés que ceux d'enfants (Anastasi & Rhodes, 2005) ou ceux d'adultes plus jeunes (Bäckman, 1991). Les jeunes adultes, eux, reconnaissent mieux les visages de jeunes adultes que les visages d'adultes plus âgés (Bäckman, 1991).

De même, les enfants de 5 à 8 ans reconnaissent mieux les visages d'enfants de cet âge que les visages de jeunes adultes et d'adultes plus âgés (Anastasi & Rhodes, 2005). Ce dernier résultat n'a pas toujours été répliqué puisqu'il a aussi été montré que des enfants de 8 ans reconnaissaient aussi bien des visages d'enfants que des visages adultes (Mondloch et al., 2006b).

La contradiction s'étend plus loin encore quand on s'aperçoit qu'un effet d'âge est observé chez de jeunes adultes mais pas chez des adultes plus âgés (Bartlett & Leslie, 1986; Fulton & Bartlett, 1991; Wright & Stroud, 2002) et, à l'inverse, chez des adultes plus âgés mais pas chez des adultes plus jeunes (Anastasi & Rhodes, 2005) (Lamont, Stewart-Williams, & Podd, 2005; Perfect & Harris, 2003).

L'Effet Ethnie (Effet Race)

De la même manière, il est communément admis que les individus sont meilleurs pour discriminer et reconnaître des visages de leur race que des visages d'une autre race. Ce phénomène est connu dans la littérature comme l'effet de race des visages.

Sa robustesse et sa fiabilité ont été démontrées en comparant les performances de reconnaissance d'observateurs élevés dans des environnements de visages différents (pour revue Meissner & Brigham, 2001). Il a été attribué **au manque d'expérience visuelle** pour traiter les visages d'une race différente de la sienne par rapport aux visages de sa propre race (Le, Farkas, Ngim, Levin, & Forrest, 2002). Il n'existe cependant pas de consensus sur la manière dont l'expérience différentielle avec les visages de sa propre ou d'une autre race sous-tend l'effet en question (pour revue Meissner & Brigham, 2001).

Certains auteurs ont émis l'idée que le système perceptif était incapable de généraliser l'expertise acquise pour traiter les visages de sa propre race aux visages d'une autre race (voir par exemple G. Rhodes et al., 1989) ce qui mènerait à des représentations différentes dans l'un et l'autre cas.

Dans la même ligne, des études récentes ont établi un lien entre cette différence de représentation et le fait que les traits des visages d'une autre race sont moins fortement intégrés au sein d'une représentation globale, holistique, que les traits des visages de sa propre race (C. Michel et al., 2006; J. W. Tanaka et al., 2004).

D'autres auteurs ont préféré une explication sociocognitive du phénomène: les performances plus faibles des individus avec les visages d'une autre race seraient dues à l'attention portée à la catégorie (la race) aux dépens de ses exemplaires (les individus) (D. T. Levin & Beale, 2000).

Peu d'études se sont intéressées à l'effet de race au cours du développement (Meissner & Brigham, 2001). L'effet de race a été noté chez des adolescents de 13 à 16 ans (P. M. Walker & Hewstone, 2006) des adolescents de 9 à 20 ans (Corenblum & Meissner, 2006), des participants de 6 à 20 ans des enfants de 3 à 5 ans (Sangrigoli & De Schonen, 2004b), des nourrissons de 6 à 9 mois (Kelly, Quinn, P. C., et al., 2007b) et des nourrissons de 3 mois (Sangrigoli & De Schonen, 2004a). D'autres auteurs comme Feynman et Entwhistle (1976) ont renforcé l'idée d'un effet de race qui émergerait pendant l'enfance en testant des enfants caucasiens et non caucasiens. C'est également le cas de Goodman et collaborateurs (2007) qui ne rapportent toutefois pas d'effet de race chez des enfants de 5 et 7 ans mais bien chez des enfants plus âgés

L'Effet Espèce

Les études sur les primates sont également des apports intéressants sur la compréhension des phénomènes de base (Gliga & Gliga, 2003). Les bébés de neuf mois se comportent en effet comme des adultes et discriminent mieux deux visages humains que deux visages de singes (M. de Haan, Johnson, Maurer, & Perrett, 2001).

Au contraire, les bébés de six mois ne montrent pas d'effet d'espèce, car ils sont très bons pour distinguer les singes et ont les mêmes performances pour les deux espèces. Les différences de physionomie entre ethnies humaines sont beaucoup plus subtiles : variations de la forme de certains éléments du visage (forme des yeux, du nez) ou de la pigmentation.

L'étude de Suita (2008) permet de poser ainsi une question importante: celle du nombre d'exemplaires de visages nécessaire pour manifester une préférence pour les visages par rapport aux objets.

Dans cette étude qui teste la préférence après des tâches d'habituation, aux visages chez des bébés singes séparés plusieurs heures après la naissance de leur mère et « habitués » à des visages soit humains soit de singe, il montre que la préférence pour les visages (humains ou de singes) par rapport aux objets semble exister en dehors de toute expérience avec cette première catégorie, même s'il n'est pas improbable que les bébés singes aient été confrontés à un exemplaire de visage de singe, au moins, celui de leur mère, puisqu'ils en auraient été séparés plusieurs heures après la naissance. Selon les résultats décrits dans cette étude, on pourrait imaginer qu'un exemplaire de visage de singe soit suffisant pour orienter une préférence à l'égard des visages par rapport aux objets (catégories grossières) mais pas pour induire une préférence pour un visage de singe par rapport à un visage humain (catégories plus fines). Suita (2008) interprète cette préférence comme la preuve que l'expérience visuelle précoce et spécifique avec la catégorie des visages n'est pas nécessaire pour que le système de reconnaissance des visages se construise normalement.

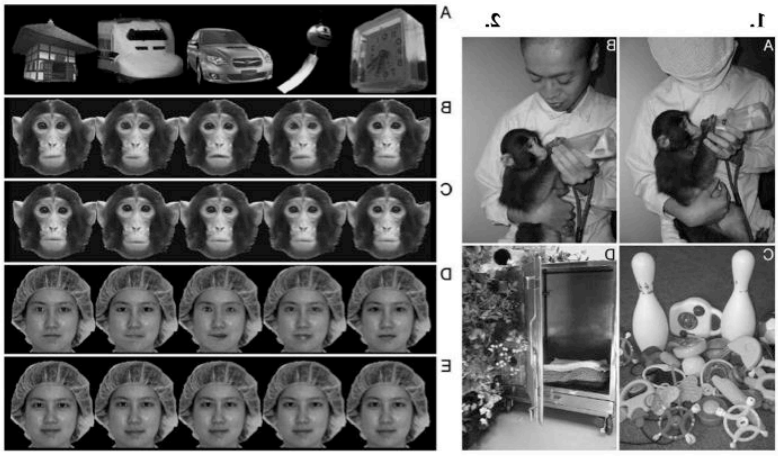


Figure 13: Extraite de Suita (2008). 1. Bébé singe élevé sans contact avec des visages (A) ou dans un environnement de visages (B). Jouets (C) et fleurs (D) décorant les cages des singes. 2. Objets (A), visages de singes modifiés au niveau des traits (yeux et bouche) (B) ou des distances relatives entre ces traits (yeux et bouche) (C), visages humains modifiés au niveau des traits (yeux et bouche) (D) ou des distances relatives entre ces traits (yeux et bouche) (E).

La plasticité cérébrale comme effet modérateur

Néanmoins, le rétrécissement de la fenêtre perceptuelle n'empêche pas le système de reconnaissance des visages de rester plastique, même à l'âge adulte.

La plasticité est définie comme la possibilité dont dispose un organisme à s'adapter à un environnement donné, et cet environnement est interne et externe à l'individu. Ce phénomène englobe donc tout autant l'adaptabilité du cerveau aux contraintes imposées par sa propre maturation qu'à celles que lui impose l'environnement extérieur.

En effet des résultats montrent qu'il est possible, par exemple, de développer un effet perceptif typique des visages pour une catégorie d'objets appris à l'âge adulte. C'est le cas des experts canins présentés par Diamond et Carey (1986a), qui montrent un effet d'inversion aussi bien pour les visages humains que pour les visages de chiens chez l'adulte. Cette plasticité est aussi présente chez l'enfant. Les résultats d'une étude impliquant l'évaluation des compétences des enfants asiatiques adoptés, âgés de 6 à 14 ans, et ceux d'enfants caucasiens du même âge soumis à une tâche de reconnaissance de visages asiatiques et caucasiens, montrent que les enfants sont capables de s'adapter à l'environnement de visages dont ils faisaient l'expérience au quotidien puisque même les enfants adoptés reconnaissaient mieux les visages caucasiens que les visages asiatiques (pour revues de Heering, 2009; Meissner & Brigham, 2001).

D'autres études ont permis de mettre en évidence que ce rétrécissement perceptif lié à l'augmentation de l'expertise dans le champ de la perception faciale est sensible au maintien de l'hétérogénéité dans l'environnement (Heron-Delaney et al., 2011).

Pour conclure, de la même manière que le fait de maintenir des stimulations auditives variées (bilinguisme) procure une plasticité à l'apprentissage de nouvelles langues, le maintien de l'expérience variée des visages d'origine raciale diverse favorise la reconnaissance multiraciale, tout cela en interaction avec les processus de maturation et de plasticité cérébrale permettant l'adaptation maximale à un environnement donné.

5-3- L'apport des facteurs généraux dans le développement de la reconnaissance des visages

Comme nous l'avons vu certains auteurs font prévaloir l'idée que les enfants utilisent des mécanismes différents des adultes pour reconnaître les visages (Brace et al., 2001; Mondloch et al., 2006b; Schwarzer, 2000) ou qu'ils les utilisent différemment des adultes (Carey, 1994; Carey et al., 1980; Mondloch et al., 2002; 2003; 2004).

Néanmoins, il semble réducteur de limiter l'analyse des résultats de tâches de reconnaissance à l'immaturité d'un processus spécifique dédié au traitement des visages sans intégrer l'idée **d'une implication de la maturation générale des processus cognitifs de l'enfant.** L'apport des facteurs généraux telles que l'attention ou la mémoire et le développement progressif des capacités cognitives dans l'ensemble devraient implicitement participer à l'évolution des compétences de reconnaissance des visages chez l'enfant.

L'attention et la mémoire sont des fonctions nécessairement liées par leur nature et fortement impliquées dans tout processus d'apprentissage. Toutes deux se développent petit à petit depuis le plus jeune âge et traversent différentes étapes avant de parvenir à leur maturation. De même, Brace et collaborateurs (2001) observent de très bonnes performances chez de tous jeunes enfants testés dans une tâche n'impliquant pas la mémoire. Les participants de 5 et 6 ans plafonnent en effet à 93% de réponses correctes alors que les enfants de 2 et 4 ans obtiennent déjà un score de 73%.

Ces exemples indiquent que, **même si la mémoire n'est pas le seul facteur qui permet de rendre compte de l'augmentation des performances en reconnaissance de visages avec l'âge, puisque même en la contrôlant les scores des enfants n'atteignent pas ceux des adultes, elle joue néanmoins un rôle important**.

Les difficultés des enfants à filtrer efficacement l'information non pertinente (Miller, Haynes, & Weiss, 1985) est aussi manifeste dans les tâches de reconnaissance des visages qui impliquent des accessoires (ex : lunettes, barbe, chapeau). Leur présence interfère en effet, dans une mesure plus ou moins grande selon l'âge de l'enfant, avec le traitement de l'identité du visage. Le fait que les enfants parviennent moins facilement à maintenir leur attention que les adultes est un autre facteur qui agit directement sur leurs performances dans les tâches qui évaluent leurs capacités à reconnaître les visages.

Pour certains auteurs (Flin, 1985; Pedelty, Levine, & Shevell, 1985), l'évolution des habiletés à reconnaître les visages à l'endroit sont attribuables à des facteurs généraux puisque les enfants utilisent les mêmes traitements que les adultes pour reconnaître les visages, et dans la même mesure. Même s'ils ne spécifient pas toujours le type de traitement dont il s'agit, les défenseurs de cette perspective utilisent comme argument de prédilection l'observation que les fonctions de reconnaissance de visages à l'endroit et à l'envers suivent des trajectoires développementales similaires.

Ils suggèrent par conséquent que rien n'est spécifique aux visages à l'endroit (Flin, 1985). Pour Pedelty et coll (1985), les enfants et les adultes utilisent des informations comparables dans les tâches de jugement de visages même si les jeunes enfants appréhendent moins de traits de manière simultanée que les adultes.

Il est vrai qu'un certain nombre de données montrent une absence de modification des effets de l'expérience, comme l'effet d'inversion des visages ou l'avantage du tout sur les parties, entre 3 et 8 ans, ce qui pourrait suggérer que seuls des facteurs généraux (mémoire, attention, par exemple) entrent en compte dans le développement des compétences liées aux visages.

Pellicano et Rhodes (2006; 2003), par exemple, ont confronté des enfants de 4 à 6 ans à des visages à l'endroit et à l'envers et ont observé qu'ils marquaient un avantage du tout sur les parties ainsi qu'un effet d'inversion qui n'évoluaient pas avec l'âge. De même, Gidchrist et McKeon (2003) ont suggéré que les enfants de 7 ans et les adultes montrent un effet d'inversion comparable quand les visages sont manipulés au niveau des traits (par ex : l'épaisseur des sourcils) et au niveau de leurs distances relatives (par ex : la distance entre les yeux).

McKeon et Boyer (2006) ont étendu ces résultats aux enfants de 4 ans. Étier et Taylor (2004a) ont également constaté que les capacités de reconnaissance des visages à l'endroit et à l'envers suivent la même trajectoire développementale de 8 ans à l'âge adulte, tout en étant constamment influencées et à des degrés croissants par la mémoire de travail.

Enfin, Pascalis et collaborateurs (pour revue Pascalis, Pascalis, et al., 2005a) ont suggéré que les performances d'enfants de 5 et 8 ans n'évoluaient pas différemment pour les visages de leur propre espèce (humaine) ou d'autres espèces (moutons, singes), ce qui indique selon eux qu'aucun facteur spécifique à la reconnaissance des visages humains n'est impliqué dans la faiblesse des performances des enfants par rapport aux adultes.

Le mécanisme de traitement des visages permettrait la constitution progressive de représentations de visages, à la fois grossières et souples puisque extrêmement **sensibles à la qualité et à la quantité d'expérience visuelle disponible.**

Pour conclure, la littérature sur le sujet rend compte de la **complexité de processus neurodéveloppementaux aboutissant à la compétence qui nous permet de traiter perceptivement et cognitivement et reconnaître les visages.** Les arguments sont importants pour considérer actuellement que cette compétence **émerge tôt au cours du développement et évolue jusque tard dans l'enfance**.

D'après les récents travaux dans le domaine, **l'expérience visuelle, combinée à certaines règles de maturation du système nerveux, apparaît donc capable de moduler les réponses ainsi que l'organisation fonctionnelle du cortex visuel à certaines périodes critiques du développement. La génétique et l'environnement interagissant pour entrainer des changements développementaux en accord avec le processus ''experience-expectant'', qui fait référence comme pour les aires cérébrales dédiées au langage, à l'effet puissant de l'exposition environnementale à certaines périodes clés du développement**.

Étant donné que les catégories de visages auxquelles les nourrissons et les enfants sont exposés restent le plus souvent identiques au fil des années**, l'environnement agirait non seulement comme potentialisateur mais aussi en réalité comme un filtre qui entraine la spécialisation progressive des représentations faciales et de leurs outils de traitement.**

6- Le rôle central des yeux

Les yeux tout comme le visage sont caractérisés par une grande variabilité interindividuelle: leur couleur, forme, distance inter-orbitaire, interpupillaire sont autant d'indices variables permettant de définir un individu. Les yeux constituent un élément clef dans la reconnaissance de l'identité faciale. Lorsque les yeux sont masqués, les performances de détection de visage et de reconnaissance de l'identité sont fortement perturbées, ce qui n'est pas le cas lorsque la bouche, le nez ou encore la ligne front-cheveux sont masques (M. B. Lewis & Edmonds, 2003). La reconnaissance des visages familiers est affectée de manière significative lorsque les sourcils, éléments faciaux adjacents aux yeux sont occultés du visage (Sadr, Jarudi, & Sinha, 2003).

Les yeux sont utilisés pour discriminer le genre (Schyns et al., 2002; Vinette, Gosselin, & Schyns, 2004a) et sont primordiaux à l'identification quand le visage est flouté par un bruit de fond (Sekuler, Gaspar, Gold, & Bennett, 2004).

Il a pu également être décrit que les patients prosopagnosiques qui échouent après des traumas cérébraux à reconnaître les visages familiers, passaient moins de temps sur cette zone (Caldara et al., 2005; Orban de Xivry, Ramon, Lefevre, & Rossion, 2008).

La région des yeux a donc **un rôle central dans le traitement perceptif et la reconnaissance des visages** (G. Davies, Ellis, & Shepherd, 1977; Fraser, Craig, & Parker, 1990; Haig, 1985; J. W. Tanaka et al., 1993; Walker-Smith, Gale, & Findlay, 1977). On sait par ailleurs que la région des yeux influence les processus sociaux et communicatifs impliqués dans la théorie de l'esprit (Baron-Cohen, Jolliffe, Mortimore, & Robertson, 1997b)**, les yeux constituent donc une source d'information essentielle sur l'état interne d'autrui**.

Cette particularité pourrait selon certains auteurs être liée à la morphologie unique de l'œil des primates (Kobayashi & Kohshima, 1997; 2001) car à la diférence des autres espèces, la pupille humaine se détache de la sclère et renseigne sur la **direction du regard et sur les intentions d'autrui**.

Le contact oculaire direct est mieux détecté qu'un regard déviant et permet de capturer l'attention visuo- spatiale notamment parce qu'un contact oculaire direct permettrait un traitement plus approfondi des visages (Hood, Macrae, & Davies, 2003; Senju & Csibra, 2008; Senju & Hasegawa, 2005; Vuilleumier, 2005) et augmenterait l'intensité de la valence émotionnelle d'une expression faciale (Sato, Yoshikawa, Kochiyama, & Matsumura, 2004). La perception d'un regard direct peut même s'avérer stimulante dans la mesure où l'activation du système de récompense dopaminergique est mise en jeu (Aharon et al., 2001; Kampe, Frith, Dolan, & Frith, 2001).

Sur la base de plusieurs données de neuro-imagerie, Senj & Jonhson (2009) ont par ailleurs théorisé sur le rôle primordial de cette région et proposé un modèle de la perception du contact oculaire: **le « Fast-Track modulateur model »** qui impliquerait une voie sous-corticale avec des connexions corticales qui modulerait l'activation du cerveau social impliqué dans les mécanismes émotionnels, l'attribution de l'intention, la perception de la direction du regard, l'identité, etc.…

Un adulte normal accorde plus d'attention et donc de temps à cette région lors de la perception d'un visage (Mertens, Siegmund, & Grusser, 1993; Walker-Smith et al., 1977). Cette attention s'exprime très **précocement** au cours de la vie, les nouveaux nés manifestent une préférence visuelle pour les visages avec les yeux ouverts (M. H. Johnson et al., 1991) et le regard direct (Farroni, Massaccesi, Menon, & Johnson, 2007). Les enfants tout comme les adultes préfèrent regarder les yeux plutôt que les autres caractéristiques du visage et sont particulièrement sensibles à la direction du regard (Baron-Cohen, Baldwin, & Crowson, 1997a; Macrae & Lewis, 2002; Vecera & Johnson, 1995).

En résumé, la direction du regard et la zone des yeux dans son ensemble constituent donc des éléments sociaux essentiels participant à la compréhension des intentions de l'autre et donc à l'élaboration de la théorie de l'esprit (Baron-Cohen, Leslie, & Frith, 1985). **Elle joue donc un rôle fondamental dans le traitement des visages et de l'expression faciale et constitue une cible attentionnelle privilégiée lors de l'exploration d'un visage**.

7- Régionalisation et latéralisation cérébrale : la question du Biais Visuel Gauche

7-1 Latéralisation hémisphérique : rappel

Le cerveau humain est **régionalisé**, c'est à dire que les différents stimuli quotidiens sont traités dans des structures cérébrales spécialisées dans ce type de traitement (ex : cortex occipital traite les signaux visuels). Mais il est également **latéralisé**: certaines grandes fonctions sont traitées spécifiquement par l'hémisphère droit *(ex: la musique)* et d'autres par l'hémisphère gauche *(ex: le langage).* On parle également de **controlatéralité**, lorsque les informations de même nature sont traitées de façon différente par les 2 hémisphères (par ex: le système cérébral moteur gérant la partie droite du corps est situé dans l'hémisphère gauche).

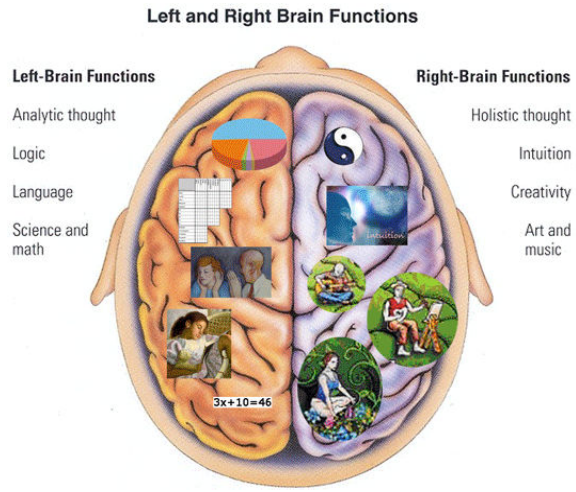


Figure 14 : Les fonctions hémisphériques ; Photo Courtesy of Brain 4 Electrons

Dans un premier temps, les différences hémisphériques ont été présentées comme dépendantes du stimulus : l'hémisphère gauche est dit spécialisé dans le traitement des stimulus verbaux, tandis que l'hémisphère droit est davantage apte à traiter le matériel visuospatial.

Dans un second temps cette interprétation hémisphérique a été remise en cause avec l'idée que **cette asymétrie pourrait résulter d'un mode différentiel de traitement de l'information quelle que soit la nature des stimulus** : le cortex gauche pratiquerait un traitement analytique et séquentiel et le droit procéderait plutôt à une appréhension globaliste des événements.

Nous avons vu plus haut que le traitement des visages avait lieu impliquait une zone particulière du cerveau droit: Le FFA.

7-2 Les résultats des études comportementales

De nombreuses études comportementales ont mis en évidence un biais perceptif pour les informations contenues dans le champs visuel gauche lors de l'exploration des visages, donc une tendance à prendre en compte de manière préférentielle l'information située dans **l'hémichamp Droit du visage inspecté** (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, Jones, & Harvey, 2005b; Gilbert & Bakan, 1973; Guo et al., 2012). La dénomination Hémichamp Visuel Gauche par convention correspond à la position de l'observateur (cf, Figure 15).

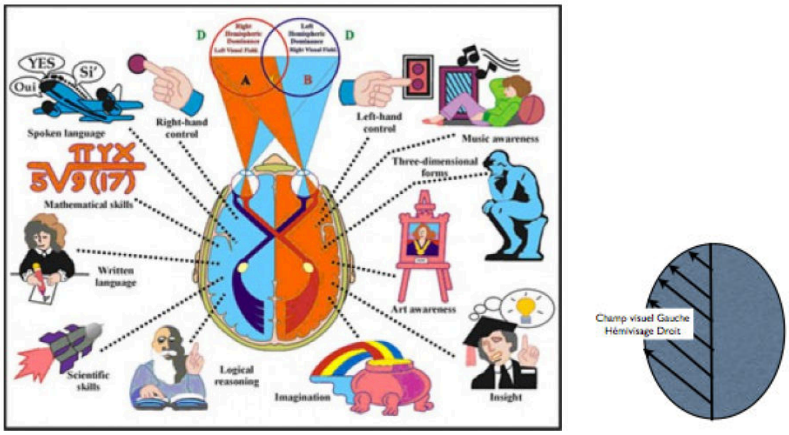


Figure 15: Convention d'écriture: Hémivisage droit: Biais visuel (hémisphérique) Gauche. http://pamela99.hubpages.com/hub/Right-Brain-VS-Left-Brain-Functions

Les premiers résultats comportementaux qui ont permis de rendre compte de ce biais visuel Gauche reposent sur le corpus d'études basées sur les **images chimériques** qui sont des visages recomposés, parfaitement symétriques, construits à partir du modèle initial du visage séléctionné recomposé par adjonction **d'une hémiface et de son image en miroir**). La première étude utilisant les visages chimériques (Wolff, 1933) a proposé ces stimuli lors d'une tâche de jugement de personnalité et a démontré pour la première fois que les **adultes s'appuyaient préférentiellement sur la partie droite du visage regardé**: information correspondant à celle traitée dans le champ visuel Gauche de l'observateur. La question était à l'époque de savoir si l'asymétrie des visages et les informations issues de l'hémiface Droite étaient à elles seules responsables du biais.

Gilbert et Bakan (1973) un peu plus tard vont présenter des photos de visages ou leur image en miroir: si l'asymétrie est uniquement perceptive, on s'attendra à une prévalence du champ gauche quelle que soit l'orientation du stimulus, tandis que l'inversion en miroir devrait renverser cette prévalence unilatérale s'il existe une asymétrie expressive chez le personnage photographié. On présente un visage normal ou en miroir (modèle) et deux chimères constituées de la partie droite et de son miroir pour l'une et de la partie gauche et de son miroir pour la seconde. Le sujet doit désigner la chimère qui ressemble le plus au modèle. Les résultats indiquent une préférence pour la chimère construite avec l'hémivisage droit du modèle, que ce dernier soit « normal » ou en miroir (exp. 1 et 2); ces faits sont retrouvés auprès de sujets israéliens dont les habitudes oculomotrices de lecture sont inversées par rapport aux occidentaux. Par contre ces observations ne semblent pas généralisables aux sujets gauchers.

Lawson (1978) reprend ce paradigme expérimental chez des sujets droitiers et gauchers, écrivant ou non de manière inversée. Les résultats confirment d'abord la préférence pour la chimère construite depuis l'hémiface droite pour les droitiers et l'absence de différence pour les gauchers. En outre, l'auteur ne note pas d'effet de la manière d'écrire.

De nombreux protocoles basés sur les visages chimériques utilisés depuis dans le cadre de tâche de discrimination faciale, des émotions (Phillips & David, 1997), de la familiarité (Mertens et al., 1993), du genre (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, Jones, & Harvey, 2005b) et de l'attractivité ont depuis largement établi que les adultes en général ont un parti pris pour traiter l'information faciale dans le champ visuel gauche (VF) plutôt que dans le champ visuel droit en particulier concernant le traitement de certains indices tels que l'âge, le genre ou l'attractivité mais aussi la familiarité et les emotions. Ce Biais Visuel Gauche: "BVG" disparait lors de la présentation des visages inversés et lors de l'exploration de visages non humains (singes) (Guo, Meints, Hall, Hall, & Mills, 2008).

Enfin, 3 études plus récentes se sont interrogées sur le développement de ce Biais Visuel Gauche (Guo et al., 2008; S. Liu et al., 2011; Wheeler, 2010). Les résultats ont retrouvé une préférence précoce et une supériorité du temps moyen passé dans le champ Visuel Gauche chez des nourrissons âgés de 11 mois, mais pas avant. Ces études retrouvent un BVG à partir de l'âge de 11 mois chez les enfants au développement typique.

7-3 Les résultats des études de l'exploration des visages

Grâce aux études en **eyetracking** ou par l'intermédiaire de la **technique des bubbles**, qui ont enrichi les protocoles chimériques comportementaux, nous savons actuellement que ce biais visuel perceptif Gauche est accompagné d'un **biais exploratoire visuel Gauche** (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; Mertens et al., 1993; Phillips & David, 1997; Schyns et al., 2002; VINETTE, GOSSELIN, & Schyns, 2004b). **L'hémiface Droite des visages explorés est donc plus souvent et plus longtemps explorée que l'hémiface Gauche d'autant plus si l'on considère les toutes premières fixations** et ce indépendamment de l'angle de vue chez l'adulte sain (Bindemann (2009).

De manière encore plus spécifique ce biais concerne la première fixation si le visage est présenté en vision centrale et la seconde si celui ci est en vision périphérique (Ashwin, van Belle, van Belle, Wheelwright, & Baron-Cohen, 2010; Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; Mertens et al., 1993; Phillips et al., 1997). Leonards and Scott-Samuel (2005) avaient conclu que cette préférence pour les éléments du champ visuel gauche **était indépendante de la dominance occulaire et de la latéralité**, malgré les premiers résultats évoqués plus haut dans ce chapitre. Des données récentes ont retrouvé des différences corrélées à la dominance oculaire mais les résultats sont à confirmer par d'autres expérimentations (Hernandez et al., 2009).

Par ailleurs **ce biais perceptif et/ou attentionnel ne serait pas spécifique aux visages humains et aux humains eux-mêmes.** Guo et al retrouvaient en (2009) 2010 ce même bais pour le côté droit des visages d'animaux (singes, chiens et chats) regardés lors d'une tâche d'exploration par des adultes sains et lors d'une tâche similaire proposée à des singes rhésus et des chiens, qui ne possèdent par contre eux ce bais visuel que lors de l'exploration des visages humains. Dans son étude la plus récente (2012), le même auteur interroge l'origine de ce biais en mesurant l'exploration de visages humains lors de différentes tâches (exploration libre, tâches de reconnaissances, tâche de reconnaissance d'émotions) chez des adultes typiques, afin de mesurer les liens entre l'exploration et la nature de la tâche. Ses résultats montrent que **le biais visuel est indépendant de la tâche, il pourrait donc être un pattern automatique de fixation des visages chez l'adulte typique.**

7-4 Les hypothèses

Même si certains auteurs ont mis en avant un biais visuo-attentionnel général pour la gauche (Nicholls & Roberts, 2002; G. Rhodes, 1986; Vaid & Singh, 1989) et l'implication du biais culturel « gauche/droite » dans le cadre de l'apprentissage de la lecture (Gilbert & Bakan, 1973; Vaid & Singh, 1989) comme potentielles explications de ce biais, la majorité des résultats les plus récents l'ont interprété comme un **avantage donné à l'hémisphère droite pour le traitement des informations faciales**, suggérant par ailleurs qu'il est conduit par les exigences du traitement configural des visages (Brady et al., 2005; Burt, Burt, Perrett, & Perrett, 1997) (cf, Figure 15).

La relation directe entre la spécialisation hémisphèrique Droite dans le traitement des visages et le biais visuel Gauche a été établie à l'origine par De renzi et al en 1994 lorsqu'il met en évidence que les déficits en reconnaissance des visages chez des cérébrolésés de l'hémisphère droit ne sont pas avantagés par la présentation des visages dans le champ visuel Gauche. Yovel et al (2008) ont confirmé ce lien plus récemment en combinant une étude IRM et Eye tracker. Leurs résultats montrent que le biais visuel Gauche (mesuré par le nombre de fixation sur l'hémiface gauche et l'hémiface droite) est corrélé au degré d'asymétrie d'activité entre l'hémisphère Droit et Gauche à l'IRM, chez l'adulte sain.

Ils ont aussi montré que le degré d'asymétrie hémisphérique individuel est stable dans le temps. Cette spécialisation visuelle et/ou hémisphérique apparaît tôt dans le développement puisque ce biais visuel Gauche lors de l'exploration des visages a été retrouvé chez des nourrissons au développement typique dès 6-12 mois (Guo et al, 2009 ; Liu et al, 2011 ; Wheeler, 2010). Guo et al, 2009 rend compte de la **spécificité de cette hémi-préférence au traitement des visages** et à l'aspect configural de ce traitement en montrant la disparition de ce biais perceptif lors de l'exploration des visages inversés, des objets chimériques constitués de la même manière que les visages chimériques et les paysages (Guo et al, 2009 ; Leonards and Scott-Samuel 2005).

D'autres études sur les liens entre portage des nouveaux nés et biais perceptif ont par ailleurs pu rendre compte du potentiel impact de l'expérience/ Nurture dans les remaniements de la spécialisation hémisphérique dans le cerveau en développement (Pour revue: Donod & Vauclair, 2005). En effet plusieurs études ont démontré une préférence en faveur du côté gauche du corps pour porter un nourrisson dans les bras. Les différentes hypothèses avancées pour rendre compte de ce biais se résument probablement en la combinaison d'une pluralité de facteurs comme notamment la latéralité manuelle et l'effet calmant des battements cardiaques du porteur. Néanmoins, cette revue explore plus particulièrement les relations entre ce biais et l'asymétrie du jugement perceptif visuel des visages et notamment des émotions. En effet: lors du portage à gauche le contrôle cérébral des émotions par l'hémisphère droit présente un double avantage. Il permettrait au porteur (la mère, par exemple) de mieux contrôler les émotions du nourrisson, et à ce dernier, de percevoir le côté le plus expressif du visage du porteur (le côté gauche).

En dehors de cette causalité adaptative, l'hypothèse d'un entrainement privilégié de cette partie droite du cerveau directement et spécifiquement stimulée dans la situation de portage à gauche s'interroge également.

8- Attention et visages

8-1 Généralité

La capacité à identifier les visages suggère que le cerveau humain traite ces stimuli de façon spécialisée, en faisant appel à des mécanismes de traitement visuel de haut niveaux différents de ceux mis en œuvre de façon plus générale en reconnaissance d'objets (V. Bruce, Burton, & Craw, 1992; A. R. Damasio et al., 1982; Farah, 1996).

Plusieurs recherches fournissent des indications quant aux processus intervenant dans le traitement des visages; mais le mécanisme dynamique de la prise d'information sous-tendant ce traitement, lui, reste encore obscur.

Le rôle de l'attention, responsable de la capture d'information, ainsi que les modulations attentionnelles déjà connues en reconnaissance de visages, suggèrent une hypothèse de stratégie attentionnelle. Les visages constituent en effet un indice biologique et social primordial de l'environnement humain, il capture donc notre attention au détriment des autres éléments de ce même environnement (Bindemann, Burton, Hooge, Jenkins, & de Haan, 2005).

La totalité de l'information disponible dans une scène visuelle ne peut être encodée intégralement pour fins d'analyses ultérieures. **On réfère au mécanisme perceptuel par lequel ces fragments sont sélectionnés le nom « d'attention visuelle »**. Cette attention se déploie sur la scène visuelle, sélectionne les aspects importants de la scène et améliore le traitement ultérieur des régions sélectionnées (Corbetta & Shulman, 2002; Kastner & Ungerleider, 2000). L'attention se déploie sur la scène visuelle, soit tel un faisceau (Posner, Snyder, & Davidson, 1980), une lentille grossissante (Eriksen & Yeh, 1985) ou un gradient (LaBerge & Brown, 1989). Le déplacement de l'attention peut s'effectuer par de rapides mouvements saccadiques de l'œil (déplacement exogène) ou par des déplacements endogènes qui impliquent seulement un déplacement du foyer de traitement de l'information, sans mouvement oculaire (Eriksen & Yeh, 1985; Posner et al., 1980).

D'un point de vue théorique, il a été stipulé que l'attention exerce un contrôle volontaire sur les systèmes davantage automatisés du cerveau, afin de remplir trois fonctions principales : l'orientation vers les événements sensoriels, la détection des signaux lors du traitement conscient et le maintien de l'état d'alerte (Posner et al., 1980; Vinette et al., 2004b). De façon plus pratique, les effets de l'attention s'observent par un temps de réaction plus court, une activité électrique crânienne accrue et un seuil de détection moindre au site d'attention.

Lu & Dosher (1998) proposent trois mécanismes pour rendre compte de ces effets, soit 1) l'amplification du signal, où l'attention amplifie la force du signal, 2) l'exclusion des distracteurs, où l'attention resserre le filtre qui traite le stimulus de façon à exclure les distracteurs par mode différentiel et 3) la réduction du bruit interne, où l'attention diminue le bruit interne associé au traitement cognitif. L'effet de l'attention est très précoce sur le fonctionnement cognitif.

Dés la naissance, évalués expérimentalement à l'âge de 5 jours, les visages sont responsables d'un intérêt précoce et privilégié (Pascalis et al., 2002).

Depuis de nombreuses études confirment l'adressage privilégié et l'attention portée aux visages et cela dès les premières semaines de vie, illustrant l'origine innée du processus (Goren, Sarty, & Wu, 1975; Turati et al., 2005). Les Nouveaux-nés âgés de 9 minutes montrent déjà une orientation préférentielle du regard et de l'attention vers des visages schématiques en 2 D, plutôt que vers des formes faciales sans traits internes ou des stimuli caractéristiques du visage mais agencés différemment, nous avons évoqué dans le chapitre 4 l'hypothèse du "détecteur de visage" ou "Conspec" (connaissance spécifique), qui permettrait à l'enfant de s'orienter naturellement vers les visages en bougeant la tête et les yeux afin de les maintenir dans l'axe canonique de la vision. Avec l'âge cet intérêt précoce pour le visage semble être renforcé, comme le démontre les résultats importants des tâches d'exploration de stimuli doubles, qui ont rapportés chez les enfants d'âge scolaire et les adultes, une attention préférentielle portée sur les visages plutôt que sur d'autres catégories de stimuli tels que: les objets, les animaux ou encore des visages schématiques ou inverses (Hershler & Hochstein, 2005; Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Kuehn & Jolicoeur, 1994; Langton, Law, Burton, & Schweinberger, 2008; C. E. Wilson, Brock, & Palermo, 2010).

8-2 Les « routines attentionnelles »

Un paradoxe survient lors de la mise en application de l'attention, telle qu'on vient de la définir. Si, dans son rôle de premier intervenant, elle cible l'information pertinente dans la scène, par quel procédé la pertinence de chaque élément dans cette scène est-elle préalablement évaluée?

La seule issue demeure que ce mécanisme d'attention soit guidé par des connaissances autres que celles strictement contenues dans le stimulus. Dans cet ordre d'idée Ullman (1984) suggère que l'on perçoit les stimuli visuels par l'entremise de **routines visuelles, séquences d'opérations prédéfinies servant à maximiser le traitement de l'information disponible**.

D'après ce dernier, la mise en œuvre de ces routines se fait en deux étapes.

- création de représentations primaires de l'environnement visuel
- mise en route de routines correspondantes à ces représentations.

Ces routines visuelles se composent de **séquences d'opérations de base**, tel le déplacement du point d'attention, l'indexation, le traçage de frontières, etc.

L'attention se déplace alors selon une **structure spatiale définie par la routine, incluant plusieurs emplacements spécifiques, afin d'abstraire des propriétés et des relations non explicitement définies dans les représentations initiales.** De cette façon, le déploiement de l'attention ne requiert que l'information visuelle suffisante pour déterminer quelle routine appliquer et ne relève donc pas de la voie ascendante (perceptuelle), puisque indépendant de l'information du stimulus, ni uniquement de la voie descendante (cognitive), puisque indépendant des connaissances spécifiques à l'objet. Chaque routine vise un but particulier, pour lequel elle a été spécifiquement créée : certaines routines universelles permettent l'accès à des catégories générales, alors que d'autres plus spécifiques servent à l'identification d'objets particuliers. **L'identification d'un visage pourrait relever d'une telle routine, d'autant plus que le déploiement de l'attention en plusieurs points permet d'extraire les relations entre les informations, ce qui offre un support au traitement configural** (Vinette, 2003)**.**

Dans la même veine qu'Ullman (1984), Cavanna et coll (2001) proposent l'utilisation de routines attentionnelles, mais à un niveau de traitement plus élevé.

Cette fois-ci, **les routines suggérées modulent l'attention afin de détecter et d'animer les mouvements typiques qui caractérisent des objets familiers durant une action stéréotypée**, comme le vol d'un papillon ou le rebond d'un objet tombé sur le sol. Chaque mouvement familier est perçu plus efficacement grâce à un regroupement spécifique de routines attentionnelles, appelé « sprite ». Une fois créées, ces « sprites » facilitent la reconnaissance en réduisant le nombre de percepts possibles, en **prédisant l'information d'intérêt à venir et en facilitant ainsi la poursuite du mouvement par l'attention**. Ces routines attentionnelles se construisent suite à **l'exposition répétée** au mouvement, ce qui renvoie à la notion d'expertise déjà présente en reconnaissance des visages, où l'exploitation de l'information configurale nécessite l'exposition répétée aux visages.

Selon Vinette (2004b), il existerait donc une routine visuelle attentionnelle que l'auteur a exploré pendant les 282 premières millisecondes d'exposition à un visage grâce à la méthode des bulles. Dans le cadre restreint de son étude chez 10 adultes typiques, l'auteur rapporte que pour les premières 47 ms suivant le début du stimulus, aucun foyer précis d'attention n'est défini. Puis, de 47 ms à 94 ms, le traitement de l'information à la position de l'œil gauche prédominerait. Finalement, de 94 ms à la fin du temps de présentation du stimulus (282 ms), l'information de l'œil droit est traitée conjointement à celle de l'œil gauche, sans pour autant supplanter cette dernière.

8-3 Vitesse de traitement

Les visages se distinguent aussi des autres objets dans le domaine **temporel**: de nombreuses études montrent une réponse comportementale ou neuronale raccourcie pour les visages.

L'avantage temporel rapporté dans certaines expériences peut aller jusqu'à diviser par 2 ou 3 le temps de traitement alors que d'autres études trouvent un raccourcissement significatif mais plus modeste voire inexistant (pour revue Vanrullen, 2008). Notons d'abord qu'une diminution du temps total de traitement de l'ordre de 10 % a 30 % est tout à fait compatible avec les observations mentionnées dans la section précédente: si la catégorie visage est représentée par une population neuronale beaucoup plus large que pour d'autres catégories, on doit s'attendre à un « effet de redondance », et à ce qu'elle soit détectée ou perçue significativement plus rapidement.

Que dire, par contre, des cas où le visage semble être traité et reconnu en un temps bien inférieur à 80-100 ms, c'est-à-dire avant même que ne s'activent les aires du cortex temporal ? Certaines études en potentiels évoqués rapportent une activité électrique sélective à un visage familier, ou au genre du visage, dès ~50 ms après la présentation du stimulus (Mouchetant-Rostaing, Giard, Bentin, Aguera, & Pernier, 2000).

Plus récemment, Crouzet et ses collaborateurs (2007) ont montré que lorsqu'un visage et une autre image sont présentés de part et d'autre du point de fixation, une saccade oculaire peut être déclenchée en direction du visage en moins de 100 ms. Cette réaction motrice implique que la décision perceptuelle doit avoir été prise avant 80 ms post-stimulus.

Ces saccades précoces en direction du visage sont générées même lorsque les instructions spécifient que la cible du regard doit être l'autre image, en d'autres termes, **l'attraction du regard par les visages est automatique ou « pré-attentionnel »**. Cet effet est appelé l'effet « POP-OUT » des visages. De part cet effet, la recherche d'un stimulus non visage au sein d'un ensemble de stimuli prends plus de temps lorsqu'un visage est contenu dans le panel (Hershler & Hochstein, 2005; Langton et al., 2008).

Une étude récente de Hershler (2010) a pu montrer que cet effet « pop-out » pourrait être à mettre en relation avec une détection périphérique extrêmement efficace pour les visages et que cette détection périphérique est d'autant plus performante que le stimulus est excentrique.

Dans une autre étude Kuehn et Jolicoeur (1994) ont montré que cet effet était aboli lorsque les distracteurs pouvaient être interprétés comme des visages, suggérant que l'attention particulière accordée aux visages serait basée sur une perception globale d'une forme en tant que visage.

D'autres travaux ont permis de montrer que l'encodage de certaines informations telle que l'identité faciale semble ne pas nécessiter que le processus soit conscient (Palermo & Rhodes, 2007; Stone et valentine, 2004).

8-4 Hypothèse d'un traitement sous cortical

L'hypothèse d'un traitement sélectif des visages en seulement 50-80 ms corrobore certaines théories qui proposent que les visages aient un accès direct et privilégié à certaines structures sous-corticales (en particulier, l'amygdale) qui les traiteraient en priorité: une sorte de « raccourci » de la reconnaissance.

Ces théories ne sont en général pas limitées aux visages, mais s'appliquent aux catégories d'objets qui peuvent revêtir un caractère émotionnel lié à la peur, par exemple les araignées et les serpents, en particulier chez les personnes sujettes à des phobies (Ohman & Soares, 1994). En effet, certains stimuli « inconscients » c'est à dire présentés de façon subliminale et suivis par un masque, peuvent être associés à une réponse comportementale. Ainsi, un visage en colère peut être associé à une réponse par conditionnement même s'il n'est pas perçu (Esteves, Parra, Dimberg, & Ohman, 1994).

De plus, une analyse de connectivité fonctionnelle a révélé une co-activation accrue des aires sous-corticales (follicules supérieur, pulvinar, amygdale) lors de la présentation inconsciente de visages associés par conditionnement à un sentiment de peur (J. S. Morris, Ohman, & Dolan, 1999); ceci a poussé ces auteurs à proposer l'existence d'une voie entièrement sous-corticale dédiée au traitement des stimuli émotionnels visuels (LeDoux, 2000).

Des réponses comportementales sélectives ont été démontrées pour des stimuli visuels inconscients arbitraires (mots, lettres, chiffres, scènes naturelles), sans connotation aversive (Dehaene & Naccache, 2001; VanRullen & Koch, 2003) et d'autres auteurs rapportent d'ailleurs une activation de l'amygdale lors de la présentation inconsciente de visages émotionnels, mais celle-ci est accompagnée d'activations importantes de la voie ventrale du cortex visuel (Vuilleumier, 2005) (Vuilleumier, Armony, Driver, & Dolan, 2001; Vuilleumier, Henson, Driver, & Dolan, 2002).

Accepter l'idée d'un «raccourci» sous-cortical de la reconnaissance des visages semble donc imprudent. Bien sûr, cela n'empêche pas que les visages à caractère émotionnel, une fois traités et reconnus en tant que tels par les structures corticales du lobe temporal, puissent avoir un accès privilégié aux réseaux de l'amygdale, impliqués dans la gestion des situations dangereuses et/ou effrayantes. La réactivité cérébrale étant plus certainement dans ce cas reliée à la réactivité au stimulus émotionnel plutôt qu' à un traitement spécifique plus rapide des visages.

9- Décours temporel : le «timing» de la perception des visages

Contrairement à l'imagerie cérébrale, l'EEG fournit une mesure plus directe de la temporalité de l'activité cérébrale et donne des arguments supplémentaires à l'hypothèse d'une spécificité et ségrégation fonctionnelle du traitement des visages. L'étude des Potentiels Evoqués (PE) au travers de leur latence, leur amplitude et la topographie de leurs composantes reflète à la fois la rapidité de traitement de l'information (latence) mais également la quantité de ressources neuronales engagée par le processus (déviation de l'amplitude par rapport à la ligne de base).

Ainsi, les visages engendrent un pattern électrique cérébral particulier. Les Potentiels évoqués par un stimulus visuel et notamment par les visages sont à présents bien documentés, triphasiques, constitués d'une première onde positive apparaissant une centaine de millisecondes après la stimulation: P1, suivie d'une déflection négative à 170 ms N 170, celle ci elle-même suivie d'un pic positif autour de 200 ms: P2. Les résultats des études en MEG et en EEG s'accordent à présent sur le fait que 170 ms après leur présentation, les visages évoquent une réponse cérébrale qui semble spécifique.

La N170 est enregistrée au niveau temporal postérieur entre 140 et 190 ms après la présentation du visage (Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996). Le générateur associé serait positionné au niveau du STS voir même au niveau du gyrus fusiforme (Allison et al., 1999; Hoshiyama, Kakigi, Watanabe, & Miki, 2003). Cette onde est considérée comme spécifique des visages (Bentin et al., 1996; J. Liu, Higuchi, Marantz, & Kanwisher, 2000; Rousselet, Macé, & Fabre-Thorpe, 2004). Elle répond de manière préférentielle à la perception des visages ou de tout stimulus pouvant être perçu comme un visage comparé à d'autres catégories d'objets. Cette composante est également sensible aux visages dans le sens où toute manipulation du stimulus facial affecte ses caractéristiques. Ainsi, elle est également sensible aux éléments faciaux présentés isolément et principalement les yeux (Bentin et al., 1996), à l'endroit de fixation de l'attention sur les visages (elle est plus ample lorsque l'attention se fixe au centre et sur la partie haute des visages (McPartland, Cheung, Perszyk, & Mayes, 2010), elle est modulée par la direction du regard (Itier & Batty, 2009), la familiarité et la répétition (Caharel, Courtay, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2005; Itier & Taylor, 2004b; Webb et al., 2010) mais subit aussi un effet de l'attention (Aranda, Madrid, Tudela, & Ruz, 2010) et de la tâche cognitive à réaliser (M. J. Taylor, Batty, & Itier, 2004).

Elle a été associée au traitement configural/holistique de la perception, à l'expertise et plus récemment à un processus de catégorisation précoce du stimulus en tant que visage versus non-visage (Bentin et al., 2007). Malgré quelques débats sur la spécificité de cette N170 (Thierry, Martin, Downing, & Pegna, 2007). Elle demeure le marqueur le plus puissant pour explorer la temporalité de la perception des visages.

Les deux autres composantes visuelles primaires: P1 et P2 sont mesurées en zone occipitales et seraient générées par les zones visuelles striées et extra striées.

La P1 est considérée comme le reflet des premières étapes du traitement (détection visuelle). Elle a été reconnue comme sensible au stimulus visage et notamment à l'inversion (Itier & Taylor, 2002), aux émotions (Laufs et al., 2003) mais est surtout rattaché à l'effort cognitif et à l'attention (Hileman, Henderson, Mundy, Newell, & Jaime, 2011; M. J. Taylor et al., 2004; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Cette caractéristique fait d'elle une mesure plus sensible que la N170 du traitement perceptif des visages chez l'enfant. La P2 est sensible quand à elle à la familiarité suggérant ainsi une deuxième étape de traitement visuel plus approfondie (Latinus & Taylor, 2006). Elle reflèterait une réactivation des aires visuelles primaires suite à un feed back (Kotsoni, Csibra, Mareschal, & Johnson, 2007).

Au total, les données comportementales et électrophysiologiques s'accordent sur le fait que la détection des visages dans l'environnement visuel est donc un processus rapide et efficace, avec une catégorisation du stimulus comme étant bien un visage autour des 100ms, donc bien plus tôt que les 200ms nécessaires à la catégoraisation des objets, des mots ou des animaux. Les traitements de plus haut niveau qu'ils impliquent requièrent 70ms de plus (N170) (Crouzet, Kirchner, & Thorpe, 2010; Pegna, Khateb, Michel, & Landis, 2004; Rousselet, Macé, & Fabre-Thorpe, 2003; M. J. Taylor et al., 2004).

D'un point de vue développemental, les études comportementales montrent classiquement une diminution des temps de réactions et donc une augmentation de la vitesse de traitement de l'information avec l'âge. Associés à ses changement comportementaux, il a été rapporté des modifications des composantes visuelles précoces: P1 et N170 chez les enfants entre 5 et 16 ans : les amplitudes s'amenuisent, les latences se raccourcissent et la topographie des composantes sur le scalp se modifie ceci relié de façon intime aux caractéristiques attentionnelles et coût cognitif des tâches impliquées (M. J. Taylor et al., 2004).

Ils reflètent aussi bien des modifications cérébrales structurales (synaptogenèse) que fonctionnelles (expertise).

Certains auteurs suggèrent que la P1 puisse correspondre à la mesure la plus sensible des processus cognitifs faciaux pendant l'enfance, où le cerveau subit une réorganisation structurale afin de diminuer l'effort cognitif impliqué dans le traitement des visages. LA N170 quant à elle serait un indice fiable des processus faciaux à l'âge adulte lorsque l'expertise pour les visages s'est développée (Hileman et al., 2011).

Au total, il existe des arguments électro physiologiques importants en faveur de la spécificité, de la rapidité et de la maturation développementale d'un traitement des visages, sous tendu par une spécificité structurale neuronale dédiée. La maturation cérébrale mise en jeux au cours du développement optimiserait donc l'efficacité des circuits neuronaux impliqués dans la perception des visages. Le recrutement neuronal nécessaire à la perception des visages devient donc moins important avec l'âge et le traitement est plus rapide. Les modifications caractéristiques de la N170, illustreraient soit la transformation du traitement et l'avènement du traitement configural, soit l'avènement de l'expertise.

10- La question de la Familiarité

Les visages familiers sont reconnus plus rapidement et plus efficacement que les visages non familiers et cela indépendamment du contexte (point de vue, éclairage) des images et des émotions ((V. Bruce, 1982; V. Bruce et al., 1992; H. D. Ellis, Shepherd, & Davies, 1979; Klatzky & Forrest, 1984; T. Roberts & Bruce, 1989). Les visages familiers et non familiers peuvent tous deux être identifiés ou catégorisés, en fonction de leur familiarité: il existe donc pour cela plusieurs niveau de familiarité et niveau de complexité du processus de traitement qui pourrait donc varier selon ce degré de familiarité (Stacey et al., 2010).

En effet, lors de tâches d'appariement de visages non familiers ou des tâches d'identification de visages familiers, les stratégies de traitement des visages différent notamment parce que l'identification de visages familiers est influencé par les **processus mnésiques et les compétences en mémoire des visages** (Althoff & Cohen, 1999; Barton, Radcliffe, Cherkasova et al, 2006; Sæther et al., 2009) mais également par l'exposition au stimuli. Une illustration en est l'effet d'espèce ou l'effet d'âge.

Les études évaluant les compétences en reconnaissance en fonction de l'origine ethnique des visages ont montré que les adultes testés sont plus rapides à reconnaître les visages de leur propre race que des visages d'ethnies différentes (D. T. Levin & Beale, 2000; Meissner & Brigham, 2001) ainsi que celles concernant des visages du même âge (Anastasi & Rhodes, 2005; Memon, Bartlett, Rose, & Gray, 2003) illustrent bien la place de l'expérience/ exposition dans le traitement de la familiarité.

Les visages familiers semblent être identifiés principalement par traitement holistique (A. W. Young et al., 1987), même si le traitement analytique semble également engagé (Cabeza & Kato, 2000; Maloney & Dal Martello, 2006), ce qui semble être vrai seulement si la tâche demandée est suffisamment complexe pour les visages non familiers (Le Grand, Mondloch, Maurer, & Brent, 2004; Megreya & Burton, 2006). Le jugement de familiarité des visages serait basé sur une exploration du visage comme un tout (traitement holistique) et non selon les détail locaux (traitement analytique) et la position préférentielle celle se trouvant en inféro-orbital qui permet d'avoir une vue d'ensemble des attributs des visages.

Ces hypothèses proviennent des résultats des études princeps (Bonner & Burton, 2004; H. D. Ellis et al., 1979; A. W. Young, Hay, McWeeny, Flude, & Ellis, 1985) dont les résultats suggéraient que les attributs internes des visages étaient primordiaux pour le traitement des visages familiers, alors que pour le traitement des visages non familiers le jugement d'appariement et de reconnaissances se basait sur les attributs externes (le type de coiffure ou la forme de la tête étaient les critères dominants en mémoire des visages non familiers. En ce qui concerne les visages familiers, il semble donc avoir un consensus pour considérer que l'ensemble des attributs internes (yeux, nez, bouche, sourcils) et plus particulièrement les yeux (Schyns et al., 2002) participent au diagnostic d'identification (par exemple Hendeson, Falk, Minut, & Dyer, 2001).

L'hypothèse que lors d'études de comparaison de pattern d'exploration, la proportion de temps passé sur les attributs internes serait supérieur pour des visages familiers versus des visages non familiers a été tout simplement formulée, mais les résultats sont pour certains l'opposé ou pour d'autres non différenciés.

En effet, plusieurs résultats en Eye tracking concluent en des **patterns de fixations différents entre l'exploration des visages familiers et non familiers, suggérant un effet familiarité sur les patterns de prise d'information lors de l'exploration des visages chez l'adulte** (Althoff & Cohen, 1999; Barton et al., 2006; Heisz & Shore, 2008) avec une **préférence donnée aux yeux** lors de l'exploration de visages connus, et cela dans les **toutes premières fixations** (Heisz & Shore, 2008) mais pas forcément sur le temps total passé sur les attributs internes (Althoff & Cohen, 1999). **Les auteurs concluaient que la familiarité des visages influençait donc plus le pattern « automatique » d'exploration** des visages que l'exploration dans l'objectif de reconnaissance.

Ils évoquaient également le **caractère « idiosyncrasique »** de l'exploration des visages non familiers, avec une distribution de l'attention sur l'ensemble du visage alors que le pattern automatique semblait plus spécifiquement se dessiner dans le cas de l'exploration des visages familiers. Stacey et al (2005) retrouvaient des résultats similaires mais seulement dans des tâches d'appariement et non lors de tâches de jugement de familiarité.

Heinz & Shore (2008) étudie l'effet pré-test et donc les modifications des patterns d'exploration plus le visage présenté devient familier à l'individu. Il retrouve les mêmes particularités: les fixations se concentrent sur la zone des yeux sans balayage du visage.

Barton et al (2006) évalue les scan path de 8 adultes dans des tâches mettant en parallèle l'expertise et l'expérience en utilisant l'inversion et les visages familiers et retrouvent des différences de patterns, principalement concernant la zone des yeux. Orban de Ivry (2008) a proposé un exemple d'exploration de visage familier chez une seule adulte typique: le point de fixation préférentielle se situant sous les yeux au dessus du nez et plutôt sous l'œil droit: au niveau du Centre Oculaire de Gravité (COG) ou point de fixation infra-orbital gauche de l'individu regardé comme pour les visages non familiers, mais son étude ne concerne qu'un seul adulte.

A l'opposé, Hsiao and Cottrell (2008), Stacey et al (2005), Van Belle et al (2010) et Kita et al (Kita et al., 2010) ne retrouvent pas d'effet familiarité sur les patterns de fixations. Van Belle et al (2010) confirme la place primordiale de la première fixation sur la zone infra-orbitale Gauche, retrouvée lors de l'exploration des visages non familiers, mais cela ne différencie pas les visages familiers et non familiers.

Les résultats différent donc dans leurs conclusions. Les confusions en terme qualification de la familiarité pourraient expliquer les résultats contradictoires. Certaines études (Althoff & Cohen, 1999; Barton et al., 2006; Blais, Jack, Scheepers, Fiset, & Caldara, 2008; Stacey, P. C. & Walker, 2005; van Belle et al., 2010) parlent de familiarité en faisant référence à la familiarité personnelle des visages connus et vu des 100 aines de fois, en situations statique et dynamiques ainsi que selon plusieurs angles de vues, dans la « vraie» vie.

Cette familiarité qui concentre la connaissance d'un visage vu et revu dans de multiples aspects (angles de vue, changements des attributs externes, dynamiques ou statiques, en, intégration multimodales…) et l'investissement socio-émotionnel sur ce visage et qui pourrait renvoyer plus préférentiellement à la notion d'expérience, doit être différencié de la « familiarité apprise » relative aux visages étudiés dans d'autres expérimentations qui rendent familier des visages inconnus par l'apprentissage et la répétition (Carbon & Leder, 2005; Heisz & Shore, 2008; J. M. Henderson, Williams, & Falk, 2005; Tong & Nakayama, 1999). On pourrait parler alors de la familiarité « expérimentale » avec des visages répétés et « appris » par les participants en situation statique ou dynamique avec le même angle de vue ce qui renvoie alors à la notion d'expertise ou d'effet pré-test. D'ailleurs, Heinz & Shore (2008) ont montré que les patterns se différenciaient seulement après 4 expositions aux mêmes photographies de visages (sur des jours consécutifs).

En ce qui concerne « le soi »: le propre visage du participant, celui-ci a pu être choisi comme référence du «familier pré-expérimental» notamment car certains résultats sont en faveur d'un traitement plus rapide de ce stimulus versus les autres visages familiers, dans des tâches de recherches visuelles (Tong & Nakayama, 1999) et d'un plus fort effet de spécialisation hémisphérique (Keenan et al., 2003), avec une réponse élective de la FFA (Face Fusiform Area) (Kircher et al., 2000).

Aucun cas d'auto-prosopagnosie n'a été individualisée à ce jour, même si certains sujet avec Alzheimer ou prosopagnosie sévère, ne parviennent plus à se reconnaître dans le miroir (Bologna & Camp, 1997). L'étude de la reconnaissance faciale de son propre visage a souvent été assimilé à l'étude de la familiarité (Kircher et al., 2000) et nous n'avons pas retrouvé d'étude en eye tracking sur ce visage particulier qui soit dissocié de visages dits "hyper familiers".

10- La valence « sociale » des visages

10-1 Introduction

Les adultes mais également les enfants distinguent plus facilement des individus appartenant à leur environnement ethnique (Meissner & Brigham, 2001).

Les nourrissons de 9 mois sont meilleurs pour individualiser deux humains que pour distinguer deux animaux de la même espèce entre eux, même quand ils appartiennent à une espèce proche comme les primates (Pascalis et al., 2002). L'expérience, nous l'avons développé plus haut, influe avec un certain type de stimulus sur la façon dont nous analysons et représentons les visages, demeure encore mal documentée à quel point l'automatisme ou les spécificités du traitement des visages humain peut s'étendre aux autres espèces, ou aux autres visages humanoides.

Cette question peut avoir tout son sens à une époque où le social et les modalités inter social incluent dans le quotidien des partenaires de plus en plus originaux qui interpelle nos représentations de l'interrelation mais ouvre également le champ des interventions d'accompagnement au social et à l'interrelation. En effet, même si l'exploration des visages humains est a ce jour intensément documentée, les travaux comparant certaines caractéristiques de l'exploration visuelle de visages humains à celle des visages sociaux mais non humains tels que les visages d'animaux, d'avatars ou de robots sont peu fréquents.

10-2 L'Effet espèce sur l'exploration des visages

Les travaux sur les visages des autres espèces s'intéressent principalement aux visages de chiens, prototype de l'animal domestiqué occupant une place sociale de prédilection pour l'espèce humaine et une niche anthropologique proche de la niche humaine et aux visages de singe, qui se rapproche le plus d'un point de vue phylogénique aux visages humains.

Depuis 20 ans, un nombre important d'étude avec des chiens a souligné leurs capacités de lecture des signes rudimentaires de communications sociales précoces (painting, direction du regard) (Miklósi, Pongrácz, Lakatos, & Topál, 2005; Soproni, Miklósi, & Topál, 2002; Soproni, Miklósi, Topál, & Csányi, 2001; Virányi, Topál, Gácsi, Miklósi, & Csányi, 2004) mais également leur sensibilité à la familiarité des visages humains et certains masques faciaux émotionnels (Racca et al., 2012; Virányi et al., 2004) et ont fait d'eux des potentiels partenaires à étudier.

Trois études seulement à notre connaissance se sont penchés sur l'exploration de visages d'animaux en oculométrie, chez des nourrissons (Guo et al., 2008), des enfants de 4 ans (Racca et al., 2012) et des adultes (Kano & Tomonaga, 2010).

Racca (2012) a évalué des enfants de 4 ans et des chiens lors d'une tâche d'exploration libre de visages de chiens, de singe et de visages humains avec différentes émotions faciales, dans une condition directe et inversée. Leur objectif était d'évaluer la persistance du biais perceptif visuel gauche (LVB) pour les visages des autres espèces et évaluer son existence pour les chiens. Ils n'ont pas procédé à l'évaluation des patterns d'exploration, et ont retrouvé dans toutes les situations un biais d'exploration visuel pour l'hémiface droite principalement dans les premières fixations.

Kun Guo et al (2008) ont eux aussi retrouvé la présence du biais visuel gauche chez des nourrissons de 6 mois lors de l'exploration de visages de singe, de chiens, sans décrire le pattern d'exploration sur les figures internes.

Kano et al (2010) est le seul à notre connaissance a avoir évalué chez l'homme, le pattern de fixation sur des visages d'autres espèces que l'homme, en évaluant les pattern de fixation d'adultes et de chimpanzés dans une tâche d'exploration libre de visages humains et de visages de chimpanzés et de lions, en faisant varier les expressions émotionnelles faciales.

Il compare les temps de fixations sur les yeux et la bouche et trouve pour les humains : la persistance d'un pattern de fixation privilégiant les yeux des visages de singe versus la bouche, très proche du pattern retrouvé lors de l'exploration des visages humains. Kano (2010) ne retrouvait pas ce pattern « humain » de fixation lors de l'exploration des visages de lions, où les fixations étaient nettement plus éparpillées en dehors des traits internes du triangle classique : yeux, bouche.

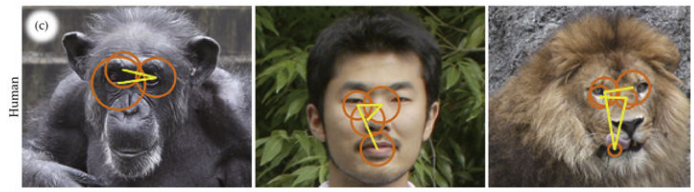


Figure 16: Kano & Tomonaga (2010)

10-3 L'effet de la virtualisation sur l'exploration des visages: les ACA: Agents de Communications Animés (Avatars et Robots)

Aujourd'hui, les technologies de communication virtuelle humanisées et les ACA: Agents Communiquant Animés (ECA en anglais, pour « Embodied Conversationnal Agent ») prennent une place croissante. Dans le domaine de la recherche, les efforts se sont concentrés depuis une dizaine d'années sur les tentatives de modélisations des stratégies communicatives des humains en interaction, afin de simuler leurs performances par un robot physique ou virtuel: un avatar ou humanoïde, et comprendre les mécanismes cognitifs qui sont impliqués. L'expression des émotions et plus globalement des affects a concentré une grande part des efforts de la robotique et de la réalité virtuelle.

Afin d'optimiser l'utilisation et la conception de ces partenaires sociaux non humains dont les plus connus sont : Kismet, and Nao ou The humanoid robot KOBIAN de nombreux travaux se sont intéressés à évaluer l'anthropomorphisme nécessaire à faire de ces partenaires, des partenaires à haute valence sociale (pour revue Bartneck, Croft, & Kulic, 2008; Gemperle, Forlizzi, & Kiesler, 2002). Dans le but d'évaluer l'anthropomorphisme, des études évaluent donc les résultats de reconnaissances émotionnelles par l'intermédiaire d'avatar ou de robots (pour exemple (Trovato, Zecca, Sessa, & Jamone, 2013) d'autres privilégient l'utilisation de questionnaires variés (émotions, attractivités, ect…).



Figure 17: Trovato, 2013

Pour l'évaluation plus spécifiquement des robots, une seule étude à notre connaissance a utilisé un protocole d'inversion pour évaluer les modalités de traitement perceptif des visages (et robots corps entiers).

Zlotowski et al (2013) ont donc retrouvé un effet d'inversion moindre mais présent sur la reconnaissance de robots chez des adultes typiques. Nous n'avons pas retrouvé d'expérimentation s'intéressant au pattern d'exploration de ce type de visage dans notre revue de la littérature à ce jour.

Une seule expérimentation à notre connaissance (Hernandez et al., 2009) évalue à l'aide de l'oculométrie, l'effet de virtualisation sur l'exploration des visages d'humanoïde= avatars, dans le cadre de protocole de stimuli doubles (avatars versus humains ou versus objets) chez des adultes et enfants à partir de 4 ans. Les résultats ont révélé une absence de différence concernant le temps passé à explorer un visage ainsi que sur les différents ROI individualisés par l'auteur (Yeux, Nez, Bouche) et celui passé à explorer un avatar excepté chez les plus jeunes enfants où une préférence pour les avatars a été observée. Les sujets regardaient préférentiellement la zone des yeux, comparée à celle du nez ou à la bouche. Il semblerait donc que les avatars soient assimilés à des visages chez les sujets typiques, excepté chez les plus jeunes enfants âgés de 4 à 6 ans où les avatars semblent constituer des stimuli plus attrayants que les visages. Cette préférence observée chez le tout petit peut être liée à la nature plus ludique de la représentation virtuelle d'un visage expliquant la préférence attentionnelle identique à celle exercée par les dessins animés chez les jeunes enfants.

Les auteurs ont également montré que dès l'âge de 13 ans les sujets typiques passaient plus de temps sur les avatars que sur les objets et que ce temps accordé aux avatars augmente avec l'âge. Cette ultime comparaison, suggérait une nouvelle fois que les avatars sont assimilés à des visages chez les sujets témoins comme en témoigne la préférence attentionnelle qu'ils manifestent vis-à-vis de ces stimuli et l'augmentation de l'attention au cours du développement similaire à celle observée pour les visages.

Chapitre II: Troubles du Spectre Autistique et perception des visages

1- Généralité sur les Troubles du Spectre Autistique (TSA)

Le Trouble Autistique est considéré de manière consensuelle à l'heure actuelle comme une pathologie neurodéveloppementale précoce affectant l"ensemble du développement de l'enfant. Il s'inscrit ainsi dans les troubles envahissants du développement (TED), terme officiellement utilisé pour la première fois dans le DSM-III (Diagnostic and Statistical Manual) en 1980, traduction de « Pervasive Developmental Disorders » (PDD) (American Psychiatric Association, 1980). Le concept de TED reflète l'idée que les troubles de la socialisation et de la communication « envahissent » tous les domaines de la vie des enfants.

Si on se réfère au DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000), le diagnostic repose sur la présence d'une triade clinique associant une **altération qualitative des interactions sociales**, une **altération qualitative de la communication (verbale et non verbale)** et **un caractère restreint, répétitif et stéréotypé des comportements, des intérêts et des activités**, apparue **avant l'âge de 3 ans**.

Les TED sont complexes. Ils étaient dans le passé, considérés comme des troubles affectifs jusqu'à ce que le consensus scientifique révèle qu'il s'agissait d'un ensemble de variations neurodéveloppementales du fonctionnement cérébral pouvant s'exprimer par un large éventail de symptômes. Malgré cette classification, il peut demeurer difficile de déterminer des critères et de tracer des limites précises entre les sous-groupes. Les personnes atteintes de TED forment en effet un groupe très hétérogène tant par la grande variabilité des symptômes et le degré de dysfonctionnement que par la présence ou l'absence de conditions médicales ou psychiatriques associées.

Ainsi, plusieurs cliniciens se réfèrent à un concept dimensionnel plutôt que catégoriel, reconsidérant l'expression « troubles envahissants du développement », communément employée jusqu'ici.

La révision du DSM-IV-TR en **DSMV** (paru en Mai 2013) introduit la notion de *spectre autistique*, celle-ci rendant compte de l'aspect dimensionnel du concept.

Les *troubles du spectre de l'autisme* (TSA) regrouperaient alors dans une catégorie inclusive l'autisme ou trouble autistique, le syndrome d'Asperger et le trouble envahissant du développement non spécifié.

Dans cette nouvelle classification, **les deux premiers axes sont maintenant rassemblés en un seul, faisant référence à un déficit en communication sociale et interaction sociale. Celui-ci doit être associé à la présence de comportements, activités et intérêts restreints, stéréotypés et à la présence de particularités sensorielles pour que le diagnostic de TSA puisse être posé**. La seule présence du premier axe entrainerait alors le diagnostic de *trouble de la communication sociale*. Cette modification provient de la volonté de nombreux auteurs de vouloir mettre l'accent sur les particularités sociales du trouble en atténuant ainsi l'aspect déficitaire communicatif ou langagier (Lord & Bishop, 2009).

Cette classification précise le niveau d'atteinte des différentes sphères du développement et du fonctionnement de l'enfant, avec l'existence ou non de conditions associées. Afin de tenir compte de l'évolution des concepts, l'expression *troubles du spectre de l'autisme* et son acronyme TSA seront utilisés dans les présentes lignes directrices plutôt que l'expression « *troubles envahissants du développement* (TED) ».

Le tableau clinique des TSA est très variable selon le niveau de langage atteint, l'âge, les capacités cognitives et la présence ou l'absence de conditions associées. Chaque individu présentant un TSA a ses caractéristiques propres sur le plan des capacités cognitives, des capacités langagières et des capacités de socialisation. Chacun se situe sur ces plans à un endroit particulier d'un continuum allant de la déficience intellectuelle à la douance, de l'absence totale de langage à une grande volubilité, ou d'une apparente absence d'intérêt pour la socialisation à un désir d'entrer en relation, bien que de manière atypique.

La prévalence du Trouble autistique est estimée à 20.6/10000 et celle des troubles du spectre autistique s'éléverait à 60-70/10000 dans une revue récente de la littérature (Fombonne, 2005; Fombonne et al., 2009). Cette prévalence a été calculée chez des sujets âgés de moins de 20 ans. La pathologie autistique touche préférentiellement les garçons, le sexe ratio étant d'environ 4 garçons atteints pour une fille (sexe ratio moyen = 4,1: 1).

L'altération des interactions sociales est l'une des caractéristiques majeures du spectre autistique.

Dès la première description d'enfants autistes, le pédopsychiatre Léo Kanner (Kanner, 1943) mettait l'accent sur les troubles sociaux et émotionnels de la pathologie autistique. Il a fait d'ailleurs l'hypothèse que les personnes atteintes d'autisme naissent avec une incapacité innée à établir un contact affectif avec les autres personnes. Les anomalies du contact social sont davantage marquées entre deux ou trois ans et cinq ou six ans. C'est à cette période que les réactions de retrait les plus évidentes sont enregistrées. Ce stade du développement correspond aux premières confrontations à la vie collective dans le cadre scolaire. Les données issues de l'observation clinique et de l'analyse de films familiaux, ont permis de mettre en évidence ces comportements sociaux limités et atypiques précoces chez les enfants avec autisme (Volkmar, Lord, Bailey, Schultz, & Klin, 2004). Ont été ainsi rapportés des contacts visuels moins fréquents et peu utilisés pour réguler les interactions avec autrui, une attention visuelle conjointe limitée, un manque d'attention vis-à-vis des visages, une faible réponse aux sollicitations des parents, une absence de sourire social, une pauvreté des expressions faciales, un manque d'imitation spontanée et de jeu symbolique. Ce trouble des interactions sociales se manifeste par des signes divers et d'intensité variable selon les personnes, mais il est présent quelque soit le niveau intellectuel de la personne et son âge.

La littérature concentre de nombreux travaux qui décrivent ces comportements sociaux atypiques chez les enfants qui seront diagnostiqués plus tard comme autistes, évoquant la **précocité** de cette caractéristique comportementale dans l'évolution du trouble. Ces enfants présentent des stéréotypies, peu de confrontations visuelles avec les personnes qui les entourent, peu d'orientations vers les visages, peu de sourires sociaux, un manque d'expressions faciales et de réponses à la voix des parents, peu de tentatives de jeux ou d'interaction (pour revue Volkmar, Chawarska, & Klin, 2005).

A partir de films familiaux tournés lors du premier anniversaire (Osterling & Dawson, 1994) ou lors des deux premières années de l'enfant (Adrien et al., 1991), deux études montrent que les enfants autistes présentent moins de comportements sociaux (i.e., regard vers le visage d'une autre personne, recherche de contact avec une autre personne, imitation) que des enfants de même âge sans trouble du développement.

De même ils suivent moins les gestes d'attention conjointe et se retournent moins à l'appel de leur nom (Adrien et al., 1991; Osterling & Dawson, 1994). Viellard *et al.* (2007) ont étudié les interactions chez des enfants autistes avec retard mental âgés de 2 ans 1 mois à 5 ans 6 mois à l'aide de l'échelle d'évaluation de la communication sociale précoce (ECSP, (Guidetti & Tourrette, 1993)). Ces enfants avaient un niveau d'interaction sociale moins élevé que des enfants non-autistes avec retard mental. Les enfants autistes répondaient moins aux sollicitations d'interaction et initiaient moins les interactions avec l'adulte. Des troubles des interactions sociales sont également rapportés chez des adolescents HFA ou AS. Par rapport à des jeunes du même âge non-autistes, les adolescents HFA et AS possèdent moins de compétences sociales ce qui se traduit, par exemple, par plus de difficultés pour s'engager dans des conversations ou pour répondre de façon adéquate aux comportements des autres (Macintosh & Dissanayake, 2006). Ces difficultés lors des interactions sociales sont également présentes à l'âge adulte. Seltzer *et al.* (2003) ont utilisé l'Autism Diagnostic Interview (Lord, Rutter, & Le Couteur, 1994) pour évaluer l'évolution des symptômes autistiques chez des adolescents et adultes par rapport à l'âge de 4-5 ans. **Malgré une évolution positive de la majorité des symptômes, six des items de l'aire «Réciprocité des interactions sociales »restent stables**. Ces six items sont l'adéquation des réponses sociales, les amitiés, les réponses aux approches d'autres personnes, l'offre de partage et la variété des expressions faciales. L'ensemble de ces résultats illustre la présence d'altération des interactions sociales tout au long de la vie des individus ASD et place ce problème à établir des relations sociales appropriées au centre de la pathologie autistique (Lord et al., 1994).

2- Anomalies de traitement des visages humains non familiers dans les Troubles du Spectre Autistique

Les visages représentent l'un des principaux supports visuels de l'interaction sociale. Ils constituent des stimuli complexes comme nous avons pu le décrire chapître I, dont le traitement demeure essentiel pour la régulation des interactions sociales (Labruyère & Hubert, 2009). Ils permettent d'acquérir de nombreuses informations sur la personne: l'identification, la catégorisation (sexe, âge, origine ethnique), la communication non verbale (état émotionnel), un complément de la communication verbale, un accès à des inférences sur la personnalité, les compétences et l'attirance (Coulon, Deputte, Heyman, & Baudoin, 2009).

Forts de ce constat, de nombreux auteurs ont tenté de caractériser le trouble des interactions sociales dans les TSA comme potentiellement secondairement à une anomalie du traitement des visages, notamment des émotions faciales (G. Dawson et al., 2005; Labruyère & Hubert, 2009; Schultz et al., 2003). Cet intérêt repose sur la possible association entre le manque d'intérêt social et des anomalies du traitement des visages dans l'autisme. Initialement, la littérature a majoritairement rapporté un déficit dans le traitement des informations faciales chez les sujets avec TSA; mais des études plus récentes suggèrent un traitement atypique des visages sans que ce dernier soit pour autant déficitaire (Labruyère & Hubert, 2009).

Une mauvaise prise d'information et mauvaise perception des indices sociaux indispensables à l'interaction sociale rendrait partiellement compte des anomalies d'ajustement, de compréhension sociale et de compétences sociales en générale pour ces sujets.

La littérature et thèses traitant de ce sujet ont connu un développement intense ces 15 dernières années.

Depuis 2001, plus de 1400 articles sont référencés sur Web of Science avec les seuls mots clés Autism et Face. Résumer cette littérature semble un enjeu de taille au vu notamment des différences et hétrérogénéité en terme de méthodologies, de population clinique et sous groupes concernés, alimentés par l'apport des nouvelles technologies dont l'utilisation a connu un essor spectaculaire ces 10 dernières nous ont amenés à poser certaines limites à ce travail. Ainsi, ne seront pas abordés au sein de cette thèse le traitement des émotions faciales et l'étude des patterns d'exploration des visages ne développera quant à elle que les aspects pertinents liés à notre problématique.

Les résultats de cette riche littérature se révèlent partiellement liés à des mouvements historiques qui nous le verront peuvent drainer des résultats contradictoires qui peuvent rendre incertains les stratégies rééducatives et réadaptatives qui tentent de s'y accoler.

2-1 Indices comportementaux

Plusieurs revues de la litérature et thèse permettent actuellement de condenser les résultats principaux, même si plusieurs papiers plus récents remettent en questions ces simplifications nécessaires aux avancées de la recherche et aux constantes remise en questions méthodologiques (Behrmann, Thomas, & Humphreys, 2006; Boraston & Blakemore, 2007; Campatelli, Federico, Apicella, & Sicca, 2013; pour revues G. Dawson et al., 2005; Falck-Ytter & Hofsten, 2011a; Golarai, Grill-Spector, & Reiss, 2006; Harms, Martin, & Wallace, 2010; Jemel, Mottron, & Dawson, 2006).

2-1-1 Le déficit attentionnel spécifique précoce

Les résultats sont en faveur d'une attention réduite ou perturbée envers les visages dès l'âge de 2 ans voire, antérieurement (W. Jones, Carr, & Klin, 2008; Klin et al., 1999; Osterling & Dawson, 1994; Teunisse & de Gelder, 1994).

La littérature rapporte classiquement dans l'autisme **une préférence précoce envers les objets inanimés par rapport aux stimuli sociaux tels que les visages**. Sigman et son équipe ont montré que les enfants avec TSA regardaient davantage les jouets que les enfants contrôles (Sigman, Kasari, Kwon, & Yirmiya, 1992). Dans leur étude, Swettenham et ses collègues (1998) ont mis en évidence que des enfants avec TSA âgés de 20 mois passaient moins de temps à explorer une personne quand elle était présentée en même temps qu'un objet, pattern inversé chez les enfants témoins, et ils passaient moins de temps à regarder les individus et plus de temps à regarder les objets que les enfants sains ou présentant un retard mental, avec pattern là encore inversé par rapport à des enfants témoins.

Les mêmes auteurs ont décrit que les enfants typiques basculent davantage leur attention d'un objet à un individu contrairement aux enfants avec TSA. Ces patterns inversés sont en accord avec les théories suggérant un déficit d'attention spécifique vis-à-vis des stimuli sociaux dans l'autisme.

Dans des études plus récentes, Pierce et al (2011) ou Klin et al (2009) confirment ces données, en montrant dans des paradigme de préférence oculaire (social versus objet) que les nourrissons avec TSA passaient plus de temps sur les objets que des nourrissons au développement typique ou avec retard de développement.

Ce déficit attentionnel précoce pourrait être à l'origine du déficit du contact oculaire observé lors d'études faites chez des enfants plus âgés (Rutter, 1987; Volkmar, Sparrow, Rende, & Cohen, 1989). Pourtant, si ces résultats concernant les très jeunes enfants avec TSA, les résultats chez des sujets plus âgés semblent être en faveur d'une évolution positive de ces particularités, comme cela a pu être décrit en clinique des troubles. En effet, New et coll. (2010) se sont intéressés à la perception des catégories animées et inanimées et précisément à l'attention portée vers des stimuli statiques dans des photos de scènes de vie quotidienne (Fig. 19). Les participants devaient trouver la différence entre deux scènes identiques, différence qui pouvait être soit de nature animée (humain/animal) ou inanimée (plante/objet). Les enfants et les adultes avec autisme ont montré un biais attentionnel envers l'animé, c'est à dire un taux de détection des différences plus rapide et un taux de bonnes réponses plus élevé quand les photos concernaient des êtres humains ou des animaux. Ce biais évolue avec l'âge des personnes avec autisme puisque les adultes sont plus tournés vers l'humain que les enfants.

Dans la situation de choix "humain *versus* objet", Célani et coll, (2002) ont montré que la majorité des enfants avec TSA ne montre **aucune préférence** (*i.e.* choix réalisé à une fréquence similaire à celle du hasard alors que les deux autres groupes montrent une préférence pour les images d'êtres humains). Ni l'âge chronologique ni le niveau intellectuel n'avait d'incidence sur les choix des enfants dans cette étude.

Dans les études originelles en Eye tracking ((Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002a; Klin, Klin, Jones, Jones, Schultz, Schultz, et al., 2002b; Klin et al., 2003), il a été relevé que les sujets avec TSA fixaient plus préférentiellement des stimuli non sociaux de la scène, comme une poignée de porte, au lieu d'explorer l'interaction entre les individus. Ces résultats ont été retrouvés dans plusieurs autres études. Riby & Hancock 2008 a par exemple montré que les adolescents avec TSA passaient plus de temps à fixer des zones dans l'arrière plan plutôt que les visages lors de présentation d'images de visages statiques. Nakano et coll (2010) a montré que lors de la présentation de vidéo présentant des enfants, les enfant avec TSA étaient plus attités par les lettres des prénoms présents dans l'environnement des enfants que les enfants au développement typique, et Von Hofsten et coll (2007) a confirmé ces résultats par l'exploration privilégiée de l'arrière d'une séquence dynamique en eye tracking, de conversation entre 2 individus, par les enfants avec TSA.

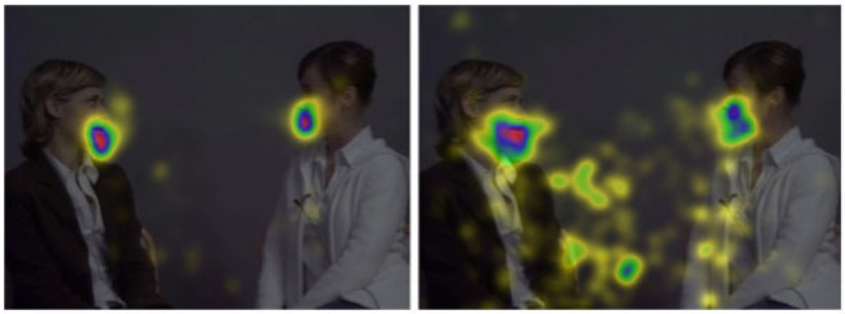


Figure 18: Von Hofsten et al (2007): Lors de la présentation de stimuli dynamique(vidéo d'une conversation), pattern de fixation moyen chez des sujets de 3-6 ans avec TSA et au développement typique. L'intensité de la fixation va de jaune-vert-bleu-rouge. Les enfants avec TSA fixent plus la partie basse du visage et l'arrière plan de la scène sociale.

Pourtant, même si ces résultats contribuent de manière importante à la compréhension de la trajectoire précoce des sujets avec TSA et leurs modalités d'interaction perceptive avec le monde social et non social, ils laissent de nombreuses questions en suspens. Le rapport intérêt social versus non social n'apparaît pas pouvoir être pleinement marqueur prédictif de TSA puisque même si les résultats de Pierce (2011) ont montré que l'importance de la préférence pour le non social était corrélé au diagnostic de TSA, de nombreux enfants avec TSA fixaient quand même les stimuli sociaux sans se différencier des 2 autres groupes d'enfants. Par ailleurs les résultats de New et al (2010) montrent que ce « potentiel marqueur phénotypique » n'est pas stable dans le temps ou au cours du développement.

L'idée d'avoir défini un « marqueur précoce ou indice phénotypique diagnostic » des TSA, que nous avons vue naître dans les médias ou dans certaines conlusions de la littérature, en lien avec ces résultats en eye tracking ne semble pas pouvoir être considéré comme tel selon nous à ce niveau de preuves.

2-1-2- La reconnaissance des visages

La littérature demeure controversée concernant une éventuelle altération de la reconnaissance des visages et des attributs faciaux dans l'autisme.

Les premiers travaux rapportent des difficultés à reconnaître les visages familiers (voir par exemple Boucher, Lewis, & Collis, 1998; S. Davies, Bishop, Manstead, & Tantam, 1994; de Gelder, Vroomen, & van der Heide, 1991; Klin et al., 1999) ou non familiers (voir par exemple Boucher & Lewis, 1992).

Il a également été rapporté des performances plus faibles chez les sujets autistes quant à la reconnaissance du genre (Baron-Cohen et al., 1999; Behrmann et al., 2006; Deruelle, Rondan, Gepner, & Tardif, 2004; Hobson, Ouston, & Lee, 1988) et de l'âge d'un visage (T. F. Gross, 2002). Ces difficultés en reconnaissance faciale dans l'autisme seraient selon certaines études spécifiques aux visages et ne s'appliqueraient pas aux autres stimuli (Boucher & Lewis, 1992; Hauck, Fein, Maltby, Waterhouse, & Feinstein, 1998; Klin et al., 1999). Les critiques évoquées face à ces résultats ont été que les tâches utilisées pouvaient refléter des difficultés en mémorisation des visages, mises en évidence plus spécifiquement dans certaines études (Hauck et al., 1998; R. M. Joseph & Tanaka, 2003).

La littérature présente donc des résultats mitigés attribués à l'hétérogénéité des patterns observés au sein même de la population étudiée (Jemel et al., 2006) ce qui ne permet pas de conclure sur la présence d'atypie structurelle. Par aillleur, d'autres études n'ont pas montré d'altération de la reconnaissance de l'identité des visages dans la pathologie autistique, surtout quand les visages sont familiers (Adolphs, Sears, & Piven, 2001; Celani, Battacchi, & Arcidiacono, 1999). Il est toutefois important de noter que les autistes semblent éprouver des difficultés à reconnaître les visages surtout quand ils sont présentés en basses fréquences spatiales. Les particularité retrouvées pourrait donc ne pas être spécifiquement lié aux visages en tant qu'objets sociaux mais plutôt relatives à des troubles impliquant des anomalies du développement de certains *traitements* appliqués tant aux visages qu'aux objets et notamment un biais en faveur des informations de haute fréquence spatiale (traitement des détails) (Deruelle et al., 2004).

2-1-3 La question du traitement holistique dans les TSA

Les premières études étaient en faveur de la présence d'habiletés holistiques/configurales préservées (Langdell, 1978) mais d'autres paradigmes évoquent à présent l'hypothèse d'un traitement global ou configural réduit (Faja, Webb, Merkle, Aylward, & Dawson, 2009; Jemel et al., 2006; Teunisse & de Gelder, 2003). Joseph et Tanaka (2003) ont proposés une tâche de discrimination des traits internes du visage (yeux, nez, bouche) dans un contexte facial ou présentés de manière isolés, chez des enfant avec TSA et des enfants au développement typique. Les enfants avec TSA ne présentaient pas, à la différence de l'autre groupe, de meilleurs résultats lorsque les éléments étaient intégrés au visage sauf concernant la zone bouche.

Les auteurs appellent à la prudence dans l'interprétation de ces résultats en parlant « d'atypie du traitement holistique » mais pas de son absence et en repositionnant cette particularité comme non explicative de l'ensemble des anomalies repérées dans la clinique.

Faja et al, 2009 ont montré une sensibilité plus faible aux modifications de second ordre lors de la perception de visage neutre chez des adultes avec TSA de haut niveau. On retrouve également des résultats en faveur d'atypie de traitement holistique au travers d'une autre étude basée sur des visages composites et inversés chez des adolescents avec TSA (Teunisse & de Gelder, 2003). Letourneau et Mitchel (2008) suggèrent eux, l'existence d'un traitement spécifique automatique atypique de la zone des yeux dans la population des sujets avec TSA, en rapportant une réponse plus rapide en électrophysiologie (P1, N170, VPP et P2) quand l'attention se posait sur la zone des yeux lors de l'exploration des visages.

Néanmoins, la question de la spécificité de ces anomalies via le stimuli social visage est encore questionnée à ce niveau, puisque Davies et al, rapportait déjà en 1994 des anomalies de perception des informations configurales aussi bien pour les visages que pour les stimuli non faciaux comme les formes géométriques (S. Davies et al., 1994). Il semblerait que le *traitement holistique, configural des visages soit normal* chez les personnes souffrant d'autisme et que les différences soient liées à une *supériorité du traitement analytique* qui rapproche le traitement de matériel social à celui du matériel non social (Vinette, 2003).

En conclusion, le modèle de traitement cognitif des visages tel qu'il est proposé et découpé en séquences et modules semblent ne pas relever de modalités identiques entre les TSA et les sujets au développement typique. Néanmoins, certains résultats suggèrent que les protocoles rattachés à l'évaluation de ces fonctions semblent échouer à rendre compte des particularités sous jacente au développement atypique. Ainsi, la question de la complexité de la tâche, les liens avec les compétences mnésiques impliquées, les caractéristiques psychophysiques des stimuli semblent moduler plus directement la réussite aux tâches que le caractère social ou la spécificité des visages.

Il nous semble que la question des sous-groupes considérés et l'aspect développemental semble également de plus en plus essentiel à évaluer afin d'avancer sur cette question.

Les phénomènes adaptatifs peuvent également rendre compte de compétences préservées avec un traitement atypique sous jacent.

La question initiale de la prise d'information qui semble elle être atypique, pourrait permettre de différencier des sous groupes et avancer sur la problématique du traitement global atypique en faisant un focus comme de nombreux auteurs sur la modalité de perception, plus ou moins fonctionnelle au niveau adaptatif en fonction des paramètres vu plus haut (complexité de la tâche, caractéristiques psychophysiques pures du stimuli, implication des compétences mnésiques, phénomène intégration multi-modale?).

2-2 Indices électro-encéphalographiques : anomalies du décours temporel

La plupart des études EEG publiées actuellement s'intéressent aux anomalies des potentiels évoqués visuels dans les TSA, incluant des sujets d'âges différents, des enfants de 30 mois à 15 ans à des adolescents et adultes (Bailey, 2005 ; Dawson et al, 2005, Senju, 2005).

Ainsi, l'étude des composantes P1 impliquée dans l'ensemble des processus visuels et N170 évoquée de manière préférentielle par les visages a révélé des particularités dans les TSA. De façon synthétique il apparait que les principales anomalies retrouvées initialement chez des adultes (Grice et al., 2001) et répliquées chez des adolescents (McPartland, Dawson, Webb, Panagiotides, & Carver, 2004) concernent non seulement la N170 qui serait retardée et insensible à l'inversion mais également la P1, elle aussi retardée (O'Connor, Hamm, & Kirk, 2005). Les résultats de cette dernière équipe ne retrouvaient par contre pas de différence entre les enfants de 11 ans avec TSA et les enfants contrôles, à la différence des résultats de Webb, Dawson, Bennier&Panagiotides et al, (2006) qui incluaient des très jeunes enfants de 4 ans et qui relevaient le même retard à l'apparition de N170.

L'ensemble des ces résultats suggèrent non seulement un traitement des visages plus lent mais également une stratégie de traitement potentiellement différente dans les TSA. Les résultats contradictoires chez les enfants questionnent l'implication du stade développemental considéré pour rendre compte des anomalies.

2-2 Les patterns d'exploration

Dalton et al. (2005) ont montré que les enfants atteints d'autisme présentaient des difficultés à identifier un visage à partir des yeux isolés, en comparaison aux sujets contrôles, il a même montré que cette particularité s'étendait dans le cadre d'un spectre élargi puisque l'étude de 2007 trouve également que les enfants apparentés des enfants avec TSA, passaient un temps de fixation moyen sur les yeux de photographie statique de visage familiers et non familiers inférieur à celui d'enfants au développement typique.

Les premières études en eye tracking dans cette population clinique ont initialement évoqué des comportements d'exploration de cette zone des yeux atypiques chez des adultes avec TSA (Klin, Klin, Jones, Jones, Schultz, Schultz, et al., 2002b; Pelphrey et al., 2002), ce qui a été généralisé comme le « pattern d 'exploration atypique » des visages chez l'ensemble des individus avec TSA (enfants ou adultes): **l'«exces mouth and diminued eye fixation», traduit en francais par le pattern « fixations augmentées sur la bouche/diminuées sur les yeux ».**

Ces difficultés de traitement de la région des yeux ont généralement été attribuées à un désintérêt envers cette région et serait principalement observées lorsque le contact oculaire est direct (Buitelaar, 1995), il a été assimilé chez certains auteurs à un comportement d'évitement. Ce regard direct pourrait constituer un stimulus aversif chez les sujets atteints d'autisme (Spezio, Adolphs, Hurley, & Piven, 2007) en lien avec des résultats en faveur de l'existence d'une corrélation entre le nombre de saccades oculaires loin des yeux et le niveau d'informations sociales contenues dans cette zone.

De nombreuses études en oculomotricité se sont donc penchées sur la proportion de temps passé sur cette zone versus la bouche chez des adolescents et adultes avec TSA (pour revue Falck-Ytter & Hofsten, 2011a).

Deux hypothèses théoriques principales ont été rattachées à ces résultats: **les personnes avec TSA évitent la zone des yeux** (Dalton et al., 2005) **ou les personnes avec TSA ne comprennent pas l'information issue des yeux** (Klin, Jones, Schultz, Volkmar, & Cohen, 2002a; Klin, Klin, Jones, Jones, Schultz, Schultz, et al., 2002b). Ces 2 hypothèses sont donc critiquables si cet effet "excès mouth/diminushed eye fixation" n'est plus répliqué.

Basés principalement sur la moyenne de temps de fixtion sur ces deux ROI, plusieurs études ont donc suggéré que les individus avec TSA passaient moins de temps sur les yeux et plus de temps sur la bouche comparés aux sujets au développement typique (Corden, Chilvers, & Skuse, 2008; Hernandez et al., 2009; Neumann, Spezio, Piven, & Adolphs, 2006; Norbury et al., 2009; Spezio et al., 2007). Des corrélations statistiques ont par ailleurs été établies contrairement à ce qui était attendu, entre les temps de fixation sur la bouche et sur les objets (et non sur les yeux) et les compétences sociales mesurées par des échelles en clinique (Klin *et al.*, 2002b).

Ces résultats n'ont pas étés répliqués par plusieurs autres études, ce qui questionne la théorie sous jacente (Fletcher-Watson, Leekam, Benson, Frank, & Findlay, 2009; van der Geest, Kemner, Camfferman, Verbaten, & van Engeland, 2002a; van der Geest, Kemner, Verbaten, & van Engeland, 2002b). Par ailleurs, une étude chez des nourrissons à haut risque (Merin et al., 2006) rapporte une diminution du contact oculaire en eye tracking, dans un groupe de nourrissons à haut risque âgés de 6 mois, mais qui n'est pas corrélé avec l'apparition des TSA, dans l'étude de suivi secondaire (G. S. Young et al., 2009).

Les résultats contradictoires sont explicables en partie par l'hétérogénéité des protocoles utilisés (consignes cognitives de la tâche) nature du stimuli (taches avec visages neutres ou expressions émotionelles, stimuli statiques ou dynamiques), des populations étudiées (âges, sous groupes diagnostic) et des constructions des ROI. En effet, dans la revue de la littérature de Terje Falck-Ytter, (2011a), il apparait que les résultats de Klin et al, (2002a) retrouvés chez des adultes avec TSA ont (Corden et al., 2008; Klin, Klin, Jones, Jones, Schultz, Schultz, et al., 2002b; Nakano et al., 2010; Speer, Cook, McMahon, & Clark, 2007) et n'ont pas été (Dalton et al., 2005; Fletcher-Watson et al., 2009; Rutherford & Towns, 2008; Snow et al., 2011; Spezio et al., 2007), répliqués chez l'adulte avec TSA, et que toutes les études chez l'enfant de moins de 12 ans (Dapretto et al., 2006; Falck-Ytter, Fernell, Gillberg, & Hofsten, 2010; van der Geest et al., 2002b) ont échoué à retrouver ce pattern « exces mouth, diminued eyes fixation » ou ont retrouvé une absence de différence en temps passé sur les yeux et moins de temps passé sur la bouche (Katarzyna Chawarska & Shic, 2009; Nakano et al., 2010) sauf une seule étude (W. Jones et al., 2008).

Enfin, Young et al. (2009) ont suivi le pattern de fixation lors d'une étude dynamique en interaction/face à face entre nourrisson de 6 mois et mère en évaluant le nombre de contact oculaire (fixation sur la zone des yeux de la mère), au travers d'une étude longitudinale de 18 mois. Il rapporte qu'aucun des enfants ayant présentés des temps de fixations diminués vers les yeux n'a répondu au diagnostic de TSA, alors que les enfants pour lesquels a été posé le diagnostic de TSA après 18 mois n'avaient pas de particularité de fixation à 6 mois. Le temps de fixation sur la bouche était par contre prédicteur de trouble du développement du langage dans la population des nourrissons de 6 mois.

La fixation sur la bouche participerait donc au développement du langage et prédit le niveau futur de vocabulaire de l'enfant (Hunnius & Geuze, 2004; G. S. Young et al., 2009). Nakano et al. (2010) a montré que le temps passé sur la bouche est supérieur lors de l'exploration de visages dynamique qui parlent pour des enfants et adultes au développement typique. Ce résulat n'a pas été retrouvé ni chez l'enfant ni chez l'adulte avec TSA. Ces résultats sont importants à considérer, d'autant qu'ils contredisent des résultats récents qui concluaient que les personnes avec TSA fixaient plus la bouche car la bouche se caractérisait par un haut niveau de synchronie audio-visuelle ou un intérêt spécifique pour le mouvement ou de stimuli auditif (Klin et al., 2009).

Au cours du développement typique on retrouve une décroissance d'intérêt porté à la bouche au profit des yeux, ce qui n'est pas retrouvé non plus dans la population des TSA (Nakano et al., 2010) dans laquelle le temps passé sur la bouche reste identique avec le temps. Cette variable semble même être corrélée au niveau de communication et de langage des individus avec TSA testés, ce qul pourrait expliquer les grandes variations interindividuelles dans les échantillons de TSA (Norbury et al., 2009).

Au terme de la revue, il semble donc que **les résultats restent contradictoires et que la tendance à regarder moins les yeux et plus la bouche ne soit pas universellement retrouvée dans la population des sujets présentant un TSA surtout lorsqu'il s'agit de stimuli statiques et d'enfants. La plupart des études retrouvent une moindre fixation sur la zone des yeux, mais les résultats concernant la bouche semblent à différencier d'une spécificité du TSA.**

Il semble par ailleurs que le temps passé sur la zone des yeux ne soit pas toujours interprété en fonction du temps total passé sur les visages qui est, en fonction des études plus faible également dans le groupe de sujet avec TSA, ce qui ne doit pas aboutir aux même interprétation lorsqu'on considère la zone des yeux (Falck-Ytter et al., 2010).

Les 2 hypothèses théoriques sous jacentes à cet effet sont donc à nouveau questionnées et plutôt en défaveur de l'idée que les sujets avec TSA évitent les yeux, ce qui serait associé à des résultats plus homogènes entre études. Même si l'évitement du regard peut caractériser certains individus avec TSA, cela ne semble pas être la caractéristique pré dessinant un pattern d'exploration dans le Spectre Autistique. Dans le même ordre d'idée, les résultats de la littérature sont en faveur d'une absence de corrélation nette entre le temps passé sur les yeux et le niveau de fonctionnement ou dysfonctionnement social ce qui irait encore dans le sens de non représentativité générale du spectre. La question des sous-groupes et l'hétérogénéité des phénotypes du spectre émergent à ce niveau d'exploration des particularités perceptives qui prisent isolement échouent à particulariser le trouble.

En résumé, on ne retrouve pas de réel consensus chez l'adulte et l'adolescent avec TSA. Les résultats sont à ce jour encore contradictoires entre études et les résultats chez l'enfant semble être en faveur d'une absence de différence avec la population d'enfant au développement typique.

L'indice oculométrique « temps passé sur les yeux » ne semble pas être de manière stable représentative des difficultés cliniques d'interaction sociale.

2-3 Indices cérébraux: Le cerveau des visages dans l'autisme

La majorité des études réalisées en neuro-imagerie afin de définir les processus et bases neuronales impliqués dans le traitement des visages sont réalisées chez l'adulte ou l'adolescent de haut niveau, du fait des contraintes méthodologiques sous-jacente à l'utilisation de ce type de matériel (bruit, confinement, immobilité). Ainsi très peu de données sont disponibles chez l'enfant et les corrélats cérébraux reflétant ces processus dans les TSA sont encore un axe de développement futur en neuro-imagerie.

Une revue de la littérature récente (Campatelli et al., 2013) rassemble les données actuelles.

2-3-1- Le Gyrus Fusiform

De façon majoritaire, un dysfonctionnement à la fois des structures corticales (Gyrus fusiforme/FFA) et sous corticales (amygdale) impliquées dans le traitement des visages, est retrouvé dans les études de neuro-imagerie fonctionnelles effectuées chez les individus avec TSA. Allant dans ce sens, d'un point de vue structurel, une étude a mis en évidence que les neurones du gyrus fusiforme apparaissaient moins nombreux et plus petit chez des adultes avec TSA sans que ce résultat ne soit retrouvé dans les autres régions du cerveau (van Kooten et al., 2008). Cependant, certaines études suggèrent que ces anomalies structurelles ne seraient pas explicatives des anomalies fonctionnelles. Le dysfonctionnement supposé des structures impliquerait plus vraisemblablement un dysfonctionnement des mécanismes qu'ils sous tendent et non pas un dysfonctionnement des structures elles mêmes. Ainsi par exemple, dans ce trouble, le Gyrus Fusiforme ne développerait pas de « spécialisation » pour les visages mais serait plutôt recruté préférentiellement par les stimuli présentant un intérêt pour le patient. Ainsi, dans l'étude de Grelotti et al (2005), les enfants avec autisme passionnés de manga Japonais (Digimon) ont une FFA qui s'active lors de la perception des personnages de manga plutôt que lors de la perception de visages humains inconnus (Grelotti et al., 2005). Dans le même sens, une activation normale du GF a été retrouvée lors de la perception du visage maternelle ou de visages d'amis alors qu'une hypo activation bilatérale de cette région apparaît pour la perception de visages non familiers chez des enfants présentant un TSA (Pierce, Haist, Sedaghat, & Courchesne, 2004; Pierce, Muller, Ambrose, Allen, & Courchesne, 2001).

Cela suggère que le dysfonctionnement du GF pourrait être lié à une attention réduite pour les visages non familiers ou à la mise en jeu de la composant expertise plutôt que spécificité visage (Pierce et al., 2004). Sur le même principe, en mobilisant l'attention par l'utilisation d'un point de fixation (Hadjikhani et al., 2004) les auteurs ont observé une activation bilatérale du FFA en réponse aux visages chez des adultes avec TSA.

Une étude plus récente enrichit cette réflexion en montrant que le GF s'active normalement lors de la présentation de visages chez des adultes avec TSA, mais que les régions sous corticales impliquées dans la détection des visages (amygdale, pulvinar, CS) ne présentent par contre pas d'activation secondaire (Kleinhans et al., 2008) ce qui rendrait compte d'après les auteurs d'une « orientation sociale » atypique.

Ces auteurs associent donc les anomalies fonctionnelles en réponse aux visages à des processus motivationnels et attentionnels atypiques conduisant à une spécialisation anormale des corrélats cérébraux impliqués (Perlman, Hudac, Pegors, Minshew, & Pelphrey, 2011).

4 études se sont intéressées à la stratégie d'exploration des visages en parallèle de l'étude des activations neuronales et ce uniquement en IRMf (Burt & Perrett, 1995; Dalton et al., 2005; Dalton, Nacewicz, Alexander, & Davidson, 2007; J. S. Morris, Ohman, & Dolan, 1998; Perlman et al., 2011). Sur une population typique, lorsqu'une croix de fixation dynamique force un trajet d'exploration atypique sur un visage (ici: 12% seulement de temps passé sur la zone des yeux), ce trajet atypique entraîne une activation plus faible du FFA, en comparaison de l'activation enregistrée lors d'un parcours exploratoire typique (où 80% du temps passé, se passe sur la zone des yeux) (J. P. Morris, Pelphrey, & McCarthy, 2006). Le temps passé à explorer les yeux (retouché par ordinateur, avec la technique de la loupe forcée) influe sur l'activation du FFA. Cette méthode de manipulation des stratégies d'exploration « forcée » a été réutilisée par Perlman (2011) chez des adultes avec TSA: les auteurs ont pu ainsi mettre en évidence une normalisation de l'activité du GF dans les conditions où ces adultes avec TSA étaient contraints de réaliser un trajet d'exploration typique, incluant la zone des yeux, cependant ce résultat n'a pu être retrouvé avec l'amygdale.

Deux études ont rapporté une corrélation positive entre l'activation du GF et le temps passé à fixer les yeux chez des adolescents avec TSA (Dalton et al., 2005; 2007).

Ainsi, selon ces résultats, le dysfonctionnement de l'activation du GF observé chez les sujets avec TSA serait à mettre en relation avec une exploration atypique des visages et notamment une attention réduite pour la région des yeux.

2-3-2 Le STS

Dans une étude en IRMf basée sur la perception de regard congruent (quand l'avatar perçu regarde en direction d'un carré) ou non congruent (quand l'avatar perçu ne regarde pas en direction du carré), les auteurs ont mis en évidence une augmentation de l'activité du STS dans la condition congruente chez les sujets au développement typique, qui n'était pas retrouvé chez les enfants avec TSA (Pelphrey, Morris, & McCarthy, 2005). Ce résultat a été interprété comme le corrélat de la difficulté à interpréter les intentions d'autrui. Les anomalies du STS semblent donc plus spécifiquement corrélées aux aspects socio-émotionnels plutôt qu'aux processus de traitement des visages.

2-3-3 Autres structures impliquées

Alors que la majorité des études portant sur le déficit de perception des visages dans les TSA s'intéressent aux régions spécialisées du « cerveau des visages », une hypo activation a également été rapportée au niveau du cortex frontal inférieur et des cortex somatosensoriels et pré moteurs impliqués (Hadjikhani et al., 2004).

L'anomalie fonctionnelle du cortex frontal inférieur a été associée à un dysfonctionnement du système des neurones miroirs activés en réponse aux visages (Dapretto et al., 2006). Ces auteurs suggèrent que les particularités de traitement des visages retrouvées dans les TSA puissent également mettre en jeux des anomalies au niveau des structures non visuelles impliquées dans la cognition sociale en général (Bookheimer, Wang, Scott, Sigman, & Dapretto, 2008)

Pour conclure, Sasson (2006) et Behrmann et al. (2006) ont tenté de concilier les positions opposées qui consistaient à considérer d'un côté l'existence d'un déficit structurel, inné des corrélats neuronaux et d'un autre les anomalies d'activations comme résultant d'une attention réduite pour les visages et le social.

Les sujets avec TSA semblent donc présenter un **pattern atypique de réponses cérébrales aux visages d'un point de vue spatial et temporel** (cf. études en EEG, non décrites ici). Il n'existe pas à ce jour de données suffisantes en rapport avec le stade développemental impliqué ou de différentiel visage/objet qui permettrait de conclure sur la présence d'un déficit d'un réseau particulier.

Les résultats les plus récents évoquent l'interaction entre les anomalies cérébrales décrites et l'absence d'expertise.

Ces particularités d'activation cérébrales pourraient résulter de compétences sociales initialement réduites associées à une attention sociale réduite également, qui échouaient à rendre fonctionnelle le développement d'un réseau neuronal de traitement des visages (Grelotti, Gauthier, & Schultz, 2002).

3- La question du Biais perceptif visuel Gauche

Dundas et al (2011) a le premier montré l'absence de biais visuel Gauche exploratoire pour le champ visuel Gauche chez des adultes avec TSA, ce qui selon lui pouvait refléter des différences de spécialisations hémisphériques.

Très récemment, la même équipe a proposé une étude chez les nourrissons à haut risque de développer un TSA constitués des apparentés au premier degré d'enfants avec TSA (E. E. Dundas et al., 2012). Ils n'ont pas retrouvé de biais visuel gauche (BVG) lors de l'exploration de visages humains statiques chez 35 nourrissons à Haut Risque, à la différence des sujets à Bas Risques (apparentés de sujets typiques) qui à 11 mois avaient un BVG pour les visages. Ces auteurs ont été amenés à proposer le BVG comme un marqueur endophénotypique potentiel pour les TSA.

Aucune étude ne s'est intéressée, à notre connaissance, à la présence d'un BVG plus tard au cours du développement, chez des enfants et adolescents typiques ou avec TSA.

4- La question de la familiarité dans l'exploration des visages: particularités dans les TSA?

Plusieurs indices alimentent l'hypothèse que les particularités de traitement des visages retrouvées chez les sujets avec TSA concernant les visages non familiers ne sont pas retrouvées lorsque l'on considère des visages hautement familiers.

Plusieurs résultats en neuro-imagerie chez des individus avec TSA montrent en effet des activations atypiques lors de l'exploration de visages non familiers (Pierce et al., 2011; Schultz et al., 2000; H. F. Wang, Friel, GOSSELIN, & Schyns, 2011) mais des patterns d'activations normaux lors de la présentation de visages familiers hautement (Pierce et al., 2004).

Alors que Sterling et al (2008) ont montrés que le temps de fixation sur les yeux était influencé par la familiarité chez les sujets au développement typique, les individus avec TSA présentaient eux, un pattern similaire d'exploration, quelque soit le degré de familiarité avec une diminution de l'importance donnée aux yeux au profit de la bouche et de la partie basse du visage, dans des tâches d'identification de visages familiers et non familiers (voir aussi Langdell, 1978; Rondan *et al.*, 2003).

5- La question de la valence sociale des visages: particularités dans les TSA?

5-1 L'effet espèce: particularité dans les TSA?

Temple Granding qui présentait un TSA de haut niveau (sans déficience mentale) écrivait dans un de ses livres qu'elle présentait une réaction aversive pour le contact oculaire œil/œil, mais que par contre, elle nouait plus facilement relation avec des animaux qu'avec des humains (Grandin, 2009). Une hypothèse pourrait être une absence de caractère aversif pour les yeux des visages d'animaux, et donc un pattern de fixation différent.

New et al. (2010) se sont intéressés à la perception des catégories animées et inanimées et ont montré un attrait particulier dans la tâche de préférence envers les animaux versus des objets chez des adultes avec TSA. Une autre étude confirme cet attrait pour la catégorie animée, et un possible biais pour la catégorie "animal" (Celani, 2002). Dans une situation de choix entre deux images, seuls les enfants avec autisme montrent une préférence pour celles représentant des animaux plutôt que des objets (choix au hasard pour des enfants atteints du syndrome de Down et des enfants typiques). Au terme de son étude, ce chercheur a conclu sur le fait que l'aversion sociale et le peu d'intérêt dans la coopération sociale chez les personnes avec autisme pourraient être limités aux interactions avec les êtres humains.

Néanmoins, cette préférence animal versus humain pourrait aussi être expliquée par l'âge des sujets puisque seuls les enfants de l'étude de Célani (2002) et non les adultes de l'étude de New et al (2010) montrent un choix préférentiel pour les animaux versus les humains.

Avec l'âge, les personnes avec autisme pourraient se tourner d'après les auteurs plus préférentiellement vers les humains. Dans ces 2 études de préférences: on retrouvait un intérêt spécifique pour l'animé et plus spécifiquement les animaux mais les patterns d'exploration n'étaient pas évalués.

Nous avons retrouvé seulement deux études (Bielczyk & Bielczyk, 2013) qui ont tenté d'évaluer le pattern de fixation sur les visages d'animaux dans cette population, avec l'objectif de mettre en évidence ou non l'aversion des yeux avec ce stimulus particulier et donc l'extension des pattern atypique à d'autre espèces: des singes, des chiens, des chats. N, Bielczyk (n.d.) fait l'hypothèse que les 6 adultes avec TSA de son étude auront un pattern de fixation sur les visages d'animaux différents des adultes typiques notamment sur le temps passé sur la zone des yeux et que ce temps passé sur la zone des yeux des animaux sera supérieur à celui passé sur la zone des yeux des visages humains. Ces résultats ne retrouvent pas de différence entre les types de visages pour les 2 groupes, mais l'auteur évoque le faible effectif de l'étude.

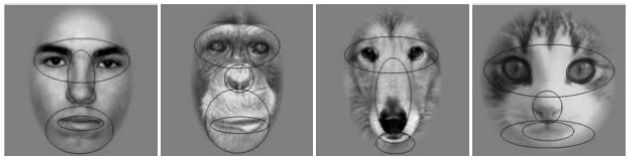


Figure 19: Bielczyk (n.d.)

L'étude de Bayram et al, (2013) inclus 7 enfant avec TSA dans une tâche d'oculométrie sur des visages familiers (stars de télé) et un visage de chien en s'intéressant au temps passé sur la zones des yeux et de la bouche. Leurs résultats montrent que les enfants avec TSA passent significativement moins de temps que les enfants typiques sur la zones des yeux des visages d'animaux et non sur la bouche. Les enfants avec TSA testés passaient moins de temps sur les yeux des animaux versus les yeux humains.

Ces 2 études diffèrent dans leurs résultats et leur population d'intérêt. La seconde étude ne testait que les 3 photographies proposes à l'exploration pendant 10s, et possède des biais méthodologiques importants. Leur effectif est faible et la procédure d'identification des zones d'intérêts sur les visages des animaux est peu décrite. Il semble donc important de considérer les résultats cités avec prudence.

5-2 L'effet virtualisation: particularités dans les TSA

Les avatars comme d'autre type d'humanoïdes (par exemple les robots) de part leur configuration similaire à un visage et leur texture « plutôt » synthétique constitue un compromis entre le visage et l'objet.

Cette position intermédiaire entre le visage et l'objet, suggère que le sujets avec TSA pourraient accorder plus d'attention à ces stimuli en raison de leur intérêt précoce pour les objets (Sigman et al., 1992; Swettenham et al., 1998). L'utilisation de ces visages caractérisent depuis 5 ans, de nouvelles approches thérapeutiques afin de proposer des interface et des ACA comme médiateur de la communication dans les TSA afin de proposer des remédiation de la reconnaissance faciale, émotionelle, de la direction du regard ou de l'attention conjointe ect… (pour revue Pioggia et al., 2008; 2007).

Plusieurs équipes travaillent maintenant sur des robots ou interface spécifiquement dédiées à l'interface de remédiation de la communication, du sociale ou cognitive avec les sujet avec TSA, nous pouvons citer: le projet AuRoRA project (AUtonomous RObotic platform ; (Dautenhahn, 2002; Dautenhahn & Billard, 2002; Dautenhahn, Ogden, & Quick, 2002)) ; FACE project (Facial Automaton for Conveying Emotions, (Pioggia et al., 2008) le robot : Robota (Billard, Robins, Nadel, & Dautenhahn, 2007); les 2 robots: Infanoid and Keepon (Kozima, Nakagawa, & Yano, 2004; Kozima, Nakagawa, & Yasuda, 2007) et cette liste est à ce jour incomplète car le nombre d'équipes travaillant dans ce domaine a suivit une courbe exponentielle ces dernières années.

La seule étude à notre connaissance, ayant évalué les patterns d'exploration de visages d'avatars (Hernandez et al., 2009) lors d'un protocole de stimuli double, ne retrouvait comme chez les sujets témoins, aucune différence concernant le temps passé à explorer un visage humains et celui passé à explorer un avatar chez les sujets adultes avec autisme. L'auteur concluait alors qu'un visage humanoïde n'attire pas davantage l'attention des sujets avec TSA qu'un visage réel dans leur cadre d'étude. Par contre, ils retrouvent que les sujets avec TSA âgés de 4 à 6 ans et de 7 à 9 ans passent significativement moins de temps sur les avatars que les sujets témoins du même âge.

Concernant le temps passé à explorer un avatar comparé à un objet, les sujets avec TSA n'accordaient pas plus de temps aux avatars qu'aux objets.

D’après ces résultats, les avatars et les visages comparés aux objets seraient préférentiellement regardés chez le sujets sains contrairement à ce qui est observé chez les sujets avec TSA. Leur résultat met par ailleurs en évidence une augmentation de l’attention avec l’âge des sujets portant essentiellement sur les stimuli sociaux chez les sujets témoins et sur les stimuli non sociaux chez les sujets avec autisme.

L’augmentation de l’attention vis-à-vis des objets observée dans la population avec TSA pourrait laisser supposer d’après les auteurs que le développement de l’expertise est davantage orienté vers les stimuli non sociaux.

TRAVAUX EXPERIMENTAUX

Chapitre I: Le traitement implicite des visages familiers

1- Contexte de réalisation des études comportementales développementales:

L'intérêt des études **comportementales** réside dans le fait qu'elles permettent d'évaluer avec précision les comportements moteurs et verbaux des enfants, au moyen de leurs temps de réaction (ms) et/ou de leurs réponses, et par extension, elles permettent également des inférences sur l'organisation de leurs processus mentaux.

Il est classique de rappeler que le design de l'expérience en expérimentation comportementale avec des populations d'enfants est crucial: la tâche doit être courte mais suffisamment longue pour assurer une certaine puissance statistique, elle ne doit par exemple pas dépasser 15 minutes pour les enfants de 4-5 ans et ne doit mener ni à des effets planchers ni à des effets plafonds (voir à ce sujet Want, 2003). Plus l'échantillon inclut des tranches d'âges différents, plus l'objectif est difficile à atteindre puisqu'il faut trouver une tâche accessible aux tout-petits qui ne soit pas trop facile pour les plus grands. Enfin, la tâche doit être suffisamment attrayante pour initier et maintenir la motivation de chacun. En dehors de ces prérequis, il est également souvent rappelé en expérimentation humaine avec des tranches d'âges variés que les résultats des jeunes participants sont souvent moins homogènes que les résultats des enfants plus âgés.

En accord avec les résultats des travaux récents sur le sujet (de Heering et al., 2008; Pascalis, Pascalis, et al., 2005a), nous avons comme **hypothèse principale que la trajectoire développementale de la fonction de traitement des visages se caractérise par la mise en place graduelle d'un outil de traitement spécifique, le traitement holistique, entrainant inéluctablement la capacité à extraire les informations de distance entre les attributs (yeux, nez, bouche) contenues dans les visages.**

Une manière d'illustrer cela serait de proposer une expérimentation reproductible sur des enfants d'âges divers, ainsi que sur des adultes et des enfants présentant un trouble spécifique du développement.

Le choix du design de cette expérimentation inclut 2 volets: une étude en population au développement typique avec plusieurs tranches d'âges comprenant des adultes et des enfants âgés de 3 à 12 ans, et une seconde étude en population présentant un Trouble du Spectre Autistique. Elle doit permettre de ne **s'appuyer que sur les caractéristiques de 2ème ordre, sans influencer de manière artificielle l'organisation de ces attributs**.

La deuxième exigence est de **minimiser l'impact de la charge cognitive de la tâche ou des facteurs généraux de maturation cognitive.** Pour cela le choix d'une tâche de "**choix de préférence**" semble le plus adapté. A la différence de la tâche de préférence visuelle qui est valable pour le nouveau-né et le jeune enfant qui fixent plus longtemps ce qu'ils préfèrent/ ce qu'ils connaissent, l'adulte n'a pas le même marqueur : il fixe plus la nouveauté. Une tâche de préférence visuelle ne peut être source de données comparatives entre ces 2 populations. Par contre il a été montré que l'adulte fait un choix de préférence pour ce qu'il connaît le mieux: l'exposition la plus forte. Cette particularité a également été décrite chez l'enfant même jeune.

1-1 L'effet implicite de la simple exposition ou « mère exposure hypothesis »

La « mere hypothesis » a été décrite initialement par Zajonc (1968) pour rendre compte du phénomène robuste du « choix de ce qui est le plus souvent expérimenté ». En d'autres termes: l'exposition répétée à un stimulus rehausse l'attitude comportementale envers lui. Plusieurs résultats ont suggéré que les processus mis en jeux lors de la « mere hypothesis » étaient des processus de mémoire implicite (Seamon et al., 1995; Willems, Adam, & Van der Linden, 2002), cet effet a montré une puissance importante car a été utilisée dans une variété de stimuli (R. F. Bornstein, 1989; Harrison, 1977).

L'effet retrouvé est robuste: les domaines où il a été mis en évidence ainsi que les types de stimuli utilisés sont nombreux, aussi bien en contexte *écologique* qu'en laboratoire (ex. des syllabes avec ou sans sens, des figures géométriques, des photographies, des visages, des marques...).

La méta analyse de 208 études de Bornstein (1989) décrit les protocoles expérimentaux qui amènent aux effets les plus puissants.

Ceux-ci se produisent lorsque: le stimulus est complexe (vs. simple), le temps d'exposition est bref vs. long (>5s), le stimulus est présenté accompagné d'autres stimuli, et aussi lorsque les délais entre l'exposition et la mesure attitudinale sont longs vs. courts (immédiatement après).

La préférence pour le familier semble donc être trans-stimuli et indépendante des facteurs généraux du développement cognitif.

Cet effet semble plutôt correspondre à ce qu'on appelle un biais. Les biais sont des processus mis en œuvre de façon spontanée, incontrôlée ou automatique et qui ont une application systématique ou peu discriminée dans de multiples domaines de raisonnement ou de décision. Ils reposent sur l'implication de la mémoire implicite.

La mémoire implicite se manifeste lorsque la réalisation d'une tâche (ici les jugements sur la préférence) est facilitée ou influencée par un événement antérieur que le sujet a oublié ou qui n'est pas explicitement relié. La récupération du matériel (type de visage) auquel le sujet a été exposé est donc ici automatique alors qu'elle est intentionnelle pour des tâches de mémoire dite explicite, comme les tâches de reconnaissance ou de discrimination. Les automatismes ou processus automatiques sont décrits en psychologie cognitive comme des processus sans charge mentale, qui ne consomment pas d'attention et qui ne peuvent être intentionnellement contrôlés. Au contraire des processus contrôlés, ils ne sont pas conscients (pour une synthese Bargh & Chartrand, 1999; Stadler & Frensch, 1998). Dans les tâches de mémoire explicite, le sujet pense délibérément à l'épisode d'apprentissage ou d'exposition qui a précédé avant de répondre aux questions.

Alors que la personne est capable d'expliquer les véritables déterminants de son attitude explicite, elle est dans l'impossibilité de verbaliser ceux de l'attitude implicite. Ainsi, en approfondissant la définition de Greenwald et Bannai (1995) « les attitudes implicites sont des traces de l'expérience passée, ni identifiées ni attribuées par introspection, qui polarisent affectivement et médiatisent les pensées, sentiments et jugements présents relatifs à des objets sociaux. Elles sont un puissant déterminant du comportement lorsqu'il est faiblement impliquant (Schuette & Fazio, 1995).

Ainsi, Wilson et al. (2000) ont suggéré que, chez une même personne, attitude explicite et attitude implicite à l'égard d'un même objet social peuvent non seulement coexister mais être, dans certains cas, différentes.

Quand on demande à une personne d'évaluer rapidement un objet connu, l'attitude implicite est automatiquement activée. Si la personne prend davantage de temps pour le juger, l'attitude implicite est inhibée. La valence du jugement effectivement émis peut être alors opposée à cette attitude implicite. Que les sujets aient conscience ou non d'avoir été exposés, le modèle qui explique les processus en route dans l'influence par de simples expositions est le modèle de la més-attribution de la familiarité perceptive (ou fluidité perceptive ; pour une synthèse voir (R. F. Bornstein & D'Agostino, 1992; Harmon-Jones & Allen, 2001).

Il trouve ses fondements en psychologie cognitive de la mémoire (Jacoby, Lindsay, & Toth, 1992; Mandler & Nakamura, 1987; Seamon et al., 1995). Au cours d'une première exposition, la vision rapide créé une représentation structurale (uniquement la forme générale du logotype) de la marque en mémoire. Ensuite, la répétition des expositions augmente son accessibilité en mémoire en diminuant son seuil d'activation. Ainsi, dès qu'elle réapparaît et parce que le système perceptif l'a déjà préalablement traitée, l'analyse de ses traits est beaucoup plus rapide : c'est le phénomène **de fluidité perceptive**. Comme les traitements au cours de l'exposition n'ont pas été élaborés et/ou sont oubliés, ni le contexte d'exposition ni les attributs de la marque ne sont, plus tard, récupérables en mémoire. Cette réexposition ne permet pas une reconnaissance consciente. Cependant la mémoire en a gardé une trace et pour le système perceptif, elle est familière. Cette fluidité perceptive va alors être, à tort, automatiquement attribuée : le jugement affectif de la marque sera positif.

Le cadre d'étude des effets implicites pour les chercheurs en psychologie sociale appliquée, adeptes des méthodes expérimentales, est de reproduire le plus fidèlement possible des situations que l'on retrouve dans la vie quotidienne afin d'atteindre une certaine validité *écologique*.

1-3 Contexte de l'expérimentation comportementale sur les visages familiers

Les visages humains ne sont pas symétriques et de nombreuses études ont démontré une sensibilité aux détails de chaque hémiface et l'influence de l'asymétrie Gauche/Droite autour de l'axe vertical sur le processus de reconnaissance des visages mais également le traitement de l'identité, du genre, des expressions émotionnelles et du concept de beauté ou attractivité.

La perception de ces légères asymétries transparaît principalement dans les protocoles utilisant les visages chimériques qui rapportent un biais visuel gauche significatif dans la prise d'information issue des visages (Burt et al., 1997; Chen, German, & Zaidel, 1997; Quinn, P. C., Kelly, Lee, Pascalis, & Slater, 2008). Cet effet a été relié à un biais hémisphérique droit dans la perception et le traitement des visages, lui-même considéré comme résultant de l'interaction de biais de scanning des visages et de la latéralisation hémisphérique du processus lui-même de traitement cognitif des visages: FFA Droit (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; Ferber & Murray, 2005).

Plusieurs études, se référant à « the mere exposure hypothesis » ont éxploré le rôle de l'expérience dans le processus de traitement des visages, démontrant que la représentation des visages stockée en mémoire, préservait l'orientation droite/gauche, chez les adultes au développement typique (Harrison, 1977; Mita, Dermer, & Knight, 1977). Dans l'étude de Mita (1977) les participants montraient une nette préférence pour la photographie de leur visage dans le miroir (visage inversé) et une nette préférence pour le visage en vue directe de leur ami proche. Le résultat de leur choix correspondait à l'orientation des visages vus le plus souvent par le participant. Ce choix était fait sans consignes et de manière implicite car le type de vue et la construction du paradigme n'étaient pas expliqués aux sujets.

Les sujets adultes typiques montraient donc une préférence pour les stimuli devenus familiers par l'exposition répétée et ce même si les différences entre les 2 photographies du choix étaient minimes et perçues de manière non consciente.

Les études de sujets prosopagnosiques ou amnésiques ont apporté des arguments supplémentaires pour considérer ce paradigme comme un paradigme de mémoire implicite (pour exemple Bremner, Shobe, & Kihlstrom, 2000).

Dans le même ordre d'idées, plusieurs résultats d'études récentes n'utilisant pas le paradigme du « mere hypothesis » mais des tâches de reconnaissance vont dans le sens **d'une mémoire et représentation des visages respectant l'orientation faciale et l'angle de vue canonique le plus commun en plus de la configuration 1er et 2ème ordre** (Brady et al., 2005; Brady, Campbell, & Flaherty, 2004; Bredart, 2003; G. Rhodes, 1986).

Ces paradigmes permettent donc d'observer la sensibilité aux attributs de 2ème ordre, et leurs relations spatiales (qui varient du fait de l'asymétrie des visages dans les 2 conditions directes et reflet du visage dans le miroir) **indépendamment de la nécessité de compréhension d'une consigne** (populations très jeunes ou sujets déficitaires) ou **maturation cognitive** (facteurs généraux externes, pouvant modifier des résultats entre adultes et enfants, indépendamment de la tâche), et dans une condition plus écologique que celle des visages chimériques qui caractérisent des stimuli artificiels et obligent à obtenir une réponse à une consigne type : discrimination, appariement.

L'utilisation de cette procédure permet également de ne pas avoir à proposer de tâche d'habituation et d'évaluer la trace en mémoire des asymétries dans le positionnement des différents attributs des visages connus.

Nous n'excluons toutefois pas l'influence de variables cognitives générales telles que la mémoire, l'attention, les critères de décision ou même, dans une moindre mesure, la motivation générale et les capacités langagières de l'enfant.

Prenant en compte les résultats des études développementales qui illustrent à présent bien **le rôle de l'expérience** dans le développement du module « traitement des visages », il semble intéressant d'évaluer la mise en place de cet effet « mere hypothesis » qui dépend de la sensibilité et donc capacité perceptive de l'enfant, de la mise en place du traitement configural mais également de la **quantité d'exposition**. La transition développementale du module perceptif et cognitif du traitement des visages semble se jouer entre 5 et 12 ans d'après la littérature. Il semble consensuel de prendre comme postulat de base, qu'à 12 ans, les compétences de l'enfant rejoignent celle de l'adulte (Carey et al., 1980; Mondloch et al., 2006b; Pascalis, 2009). Ainsi, dans la **première étude**, nous avons évalué **si la perception et la mémoire des asymétries faciales étaient présentes précocement dans le développement dès 3-4 ans, et si cette sensibilité suivait la progression développementale des autres marqueurs de maturation du processus de traitement des visages.** Dans le contexte choisi du paradigme de « mere hypothesis », le choix de préférence nous permet de comparer l'expression de processus de mémoire implicite entre différentes tranches d'âges, sans biai lié à la consigne ou la tâche.

Dans la **seconde étude**, nous avons reproduit le même paradigme dans une population d'enfants de plus de 12 ans et d'adultes présentant un TSA.

2- Article 1: Left-right facial orientation of familiar faces: developmental aspects of « the mere exposure hypothesis » (2010). Frontiers in psychology, 1, 39. doi:10.3389/fpsyg.2010.00039

2-1 Hypothèses

1/ Les enfants présentent **très précocement dès 3 ans une sensibilité à l'orientation axiale verticale des visages et aux asymétries faciales Gauche/ Droite**.

2/ Le choix vers le stimulus facial se développe avec l'âge en lien avec **l'expérience** des visages familiers, en cohérence avec la progression développementale du module perceptif et cognitif de traitement des visages chez l'enfant pour **atteindre les compétences adultes après 12 ans.**

3/ L'intrication des processus mnésiques et attentionnels peut être illustré par la présentation de 2 conditions expérimentales : présentation des photographies côte à côte (pas de charge mnésique supplémentaire) et successivement (charge attentionnelle et mnésiques supplémentaires). Notre hypothèse est que **les enfants présenteront les mêmes compétences que celles des adultes plus précocement dans la condition de côte à côte que lorsque les photographies sont présentées successivement**.

2-2 Matériel et méthodes

110 sujets au développement typique ont participé à une tâche de préférence basée sur le paradigme de « mere hypothesis ».

- 38 adultes (28-60 ans, moyenne d'âge 42,3 ans ; 8 femmes et 20 hommes)
- 72 enfants (3-12 ans ; 40 filles et 32 garçons)

Séparés en 3 tranches d'âge :

- 3-5 ans (moyenne d'âge 4,1 ans), n=24
- 5-7 ans (moyenne d'âge : 6,0), n=24
- 7-12 ans (moyenne d'âge : 10,3 ans), n=24

Les photographies du sujet et de son « familier » (parents) ont été prises de face dans une expression neutre avec un fond blanc. Les photographies ont été présentées à un échantillon de 25 adultes non familiers avec les personnes photographiées afin de s'assurer que les préférences n'étaient pas dues à des caractéristiques non contrôlées des photographies.

Chaque sujet avait à examiner 4 dyades de photographies. Chaque photographie était présentée pendant 4s : photographie standard et miroir de leur propre visage et de leur personne familière, présentées soit successivement soit côte à côte. La présentation et l'ordre étaient aléatoires. Une tâche d'entraînement au choix de préférence avec des objets était proposée avant la passation.

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel SPSS en utilisant un test binomial (SPSS, Chicago, IL, USA),

2-3 Principaux résultats

Les résultats de préférence sont statistiquement différents du hasard à partir de l'âge de 5 ans et progressent avec l'âge dans la condition où les photographies sont présentées de façon successive.

En condition « côte à côte », les performances des enfants de 5 ans et plus ne sont pas différentes des adultes.

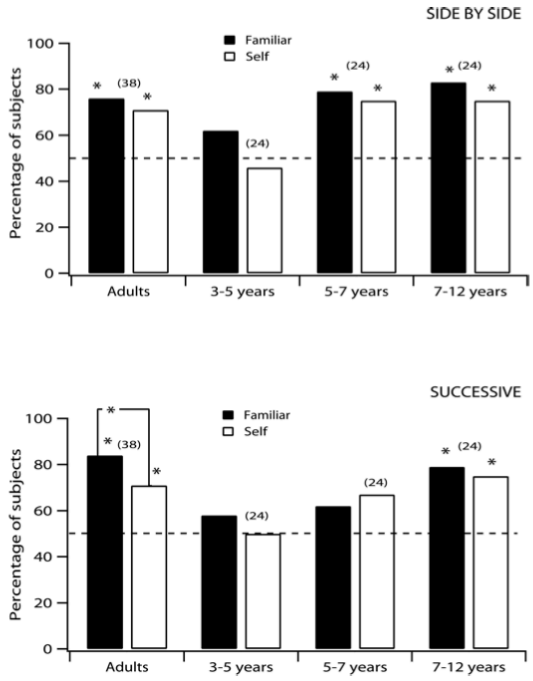


Figure 20: Réponses en fonction des tranches d'âges. La ligne en pointillée (50%) correspond au pourcentage de réponse liée au hasard.

2-4 Conclusions

- Les enfants montrent dès l'âge de 5 ans une sensibilité et une trace mnésique de l'orientation faciale et des asymétries faciales dans l'axe verticale.
- Lorsque la tâche ne requiert pas de surcharge mnésique et attentionnelle (condition côte à côte), les compétences des enfants de 5-7 ans sont identiques à celles des adultes ce qui suggère une représentation mnésique des visages incluant l'orientation gauche/droite dès l'âge de 5 ans.
- La robustesse de cette représentation mnésique des visages familiers selon l'axe vertical est pleinement acquise à 12 ans, puisque l'ensemble des résultats de préférence rejoint les compétences de l'adulte à cet âge.
- Les différences des résultats entre les conditions successive et côte à côte suggèrent l'implication de la charge attentionnelle dont la maturation semble nécessiter plus de temps que la compétence perceptive en elle même.

published: 14 September 2010 doi: 10.3389/fpsyg.2010.00039

Left-right facial orientation of familiar faces: developmental aspects of « the mere exposure hypothesis »

AnouckAmestoy[1,2],ManuelP.Bouvard[1,2] andJean-RenéCazalets[2]*

1. [1] *Child Psychiatry Department, Université de Bordeaux, Bordeaux, France*
2. [2] *Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Bordeaux, Bordeaux, France*

Edited by:
Rufin VanRullen, Centre de Recherche Cerveau et Cognition, France
Reviewed by:
Bruno Rossion, Université Catholique de Louvain, Belgium
Cathy Mondloch, Brock University, Canada
Danna Kuefner, Universite Catholique de Louvain, Belgium

Correspondence:
Jean-René Cazalets, Centre National de la Recherche Scientifique UMR 5227, Université Bordeaux 2, Zone nord Bât 2, 2e étage, 146, rue Léo Saignat, 33076 Bordeaux Cedex, France.
e-mail: jean-rene. cazalets@u-bordeaux2.fr

Introductlon

Faces are the most complex and frequently encountered social visual stimulus that has to be not only processed preferentially and rapidly compared to other categories of visual stimuli (Crouzet et al., 2010), but also accurately to ensure recognition. Human faces, however, are not symmetrical, and various studies have demonstrated a sensitiv- ity to minor facial details and left-right asymmetries around the central axis which affects the recognition process related to facial likeness, identity, gender, attractiveness, and expression in adults. Such perceptual asymmetries in face information processing have to date been mostly reported with stimuli employing chimeric faces and the results obtained indicated a robust left perceptual effect (Burt and Perrett, 1997; Chen et al., 1997; Quinn et al., 2008). It was assumed that these effects may be due to a right hemisphere bias in the face recognition processing, or, according to other authors, derive from an interaction between a habitual directional eye scan- ning bias and a cerebral lateralization (Ferber and Murray, 2005; Butler and Harvey, 2006).

Several studies, referring to the « mere exposure » hypothesis (repeated exposure of the individual to a stimulus object enhances his attitude toward it; Zajonc, 1968), have explored the role of experience in face processing, and demonstrated that adult facial memory includes a representation of left-right facial orientation. In pioneering experiments that investigated the representation of left-right facial orientation in adults, participants showed a sig- nificant preference for the mirror image of their own faces, while their friends preferred the unreflected standard images (Mita et al., 1977). Here, the stimulus that was seen more frequently received a more favorable evaluation in accordance with the mere exposure hypothesis, which supports the idea that subjects develop stronger preferences for objects that have become familiar through repeated exposure. Several lines of evidence suggest that the mere exposure effect is based on implicit memory (Seamon et al., 1995; Willems et al., 2002), even when preference choice is requested (Willems et al., 2002). This effect has proven to be a robust, reliable phenom- enon and has been demonstrated using a variety of stimuli (for review, see Harrison, 1977; Bornestein, 1989). Studies including amnesic and prosopagnosic patients offer arguments for postulat- ing that the mere exposure effect is an implicit memory manifes- tation (e.g., Bremner et al., 2000). Here we have tested this effect in order to explore the sensitivity and memory of facial orienta- tion during childhood. More recently, similar results were found in adults performing a discriminative recognition task, but not a preference task, which suggests that memory for familiar faces incorporates canonical or common views and a representation of facial configuration (Rhodes, 1986; Bredart, 2003; Brady et al., 2004, 2005).

In addition to these findings in adults, developmental studies have suggested that face processing involves an innate system that guides attention to faces (Fantz, 1963; Johnson et al., 1991), and develops proficiency early and quickly during childhood, thus suggesting an interaction between nervous system matu- ration and experience (Blaney and Winograd, 1978; Diamond and Carey, 1986; Ellis and Flin, 1990; Ge et al., 2008). In this way, face processing is thought to reflect a developmental pro- gression in the encoding strategy, from the use of featural to configural (relational) information, partly as a consequence of experience. Particularly, this transition is thought to underlie the improvement in facial recognition performance from 5- to 12-year-old children and the question is when this sensitivity becomes adult-like (Carey et al., 1980; Mondloch et al., 2006; Pascalis and Kelly, 2009).

We investigated the developmental aspect of sensitivity to the orientation of familiar faces by asking 38 adults and 72 children from 3 to 12 years old to make a preference choice between standard and mirror images of themselves and of familiar faces, presented side-by-side or successively. When familiar (parental) faces were presented simultaneously, 3- to 5-year-olds showed no preference, but by age 5–7 years an adult-like preference for the standard image emerged. Similarly, the adult-like preference for the mirror image of their own face emerged by 5–7 years of age.

When familiar or self faces were presented successively, 3- to 7-year- olds showed no preference, and adult-like preference for the standard image emerged by age 7–12 years. These results suggest the occurrence of a developmental process in the perception of familiar face asymmetries which is retained in memory related to knowledge about faces.

Keywords: facial asymmetries, mirror image, familiar faces, development, implicit memory
www.frontiersin.org
September 2010 | Volume 1 | Article 39 | **1**
Amestoy et al.
Familiar face orientation during childhood

New recent findings have supported the attractive idea that adult-like features of face processing are present much earlier in development, by the age of 4 years at the latest (McKone et al., 2009). Furthermore, the role of face experience in the develop- mental course of face recognition has been reinterpreted. On the basis of an innate system that provides a representational capacity for differentiating individual face structure, experience may then play a role in narrowing the range of facial subtypes for which discrimination is possible and perhaps also in increasing discrimi- natory capabilities within the experienced range (for review see McKone et al., 2009). Any developmental changes in sensitivity to left-right orienta- tion may result from a precocious perceptual and memory capa- bility. In the present study, therefore we investigated whether the perception and memory of facial asymmetries in the vertical axis is present early in development and if it follows the chronology of general facial recognition. In the context of the mere hypothesis, preference choice allowed us to compare response differences that were so slight that they were just barely accessible to the subject's consciousness (Mita et al., 1977). This allowed us to explore the familiar aspect of the stimuli in children (Kunst-Wilson and Zajonc, 1980; Bornstein, 1989), and the notion that children become pro- gressively more sensitive to minimal face asymmetry between 3 and 12 years of age.

Materlals and Methods

One hundred and ten individuals participated in the experiment including, 38 adults (28–60 years, mean 42.3; 18 females and 20 males) and 72 children (3–12 years separated in three groups: 24 children from 3 to 5 years, mean 4.1; 24 children from 5 to 7 years, mean 6.0; 24 children from 7 to 12 years, mean 10.3; 40 females and 32 males). The age groups were defined *a posteriori*, based on the emergence of a significant preference choice. Parental permission was obtained for each child, and in accordance with ethical guide- lines, parents were assured that photographs would be used solely for the purpose of the experiment. The adult sample consisted of researchers in the same neuroscience department as the authors. Participants were paired with colleagues who worked in the same office for at least 1 year while children were recruited from a local leisure community center. The familiar face presented to the chil- dren was a parent's face.

Photographs were taken face-on with a neutral expression under symmetrical lighting and in front of a plain background. Each sub- ject had to examine 4 dyads: standard and mirror images of self and of a familiar face presented successively and side-by-side. Each slide was presented for 4 s and separated by a black screen for 4 s. The position of the standard and mirror images as well as the order of presentation condition, i.e., side-by-side and sequentially, were randomized. We used dual presentation, since it was possible that the side-by-side presentation alone, could induce a comparative effect that would immediately reveal the mirror symmetry between the two views. Participants were requested at the end of each dyad to makeapreferencechoiceonfirstimpression.Werestrictedourpro- tocol to a 4-dyad presentation to avoid the possibility that multiple repetitive presentations of several faces progressively evoked ques- tioning about the nature of the differences between the slides, which in turn would have progressively biased the subject's responses.

Our standardized protocol limited such a bias. Furthermore, in order to compare our developmental data (and those replicated in adult controls) to previous studies performed solely on adults (Mita et al., 1977), we employed a comparable protocol to test face presentation, i.e., with all facial attributes retained and not with cropped photos at the hairline.

In order to assess whether the children, and particularly the youngest subjects (3–5 years) truly understood the concept of the preference task, we designed a training task (Cooper et al., 2006), composed of a series of dyads that included various items (for example, lollipop vs candy or gray fluff vs brown fluff…). Half of the 3–5-year-old child sample (12 out of 24) was tested in this task.

To ensure that differences were not due to specific features of the images themselves (symmetry of hairstyles or clothes, light…) a comparable paradigm was applied to a separate sample of 25 adults who were unfamiliar with the face presented. They were asked to view a series of 20 dyads that were randomly selected from those presented to the control adult groups.

Statistical analyses (SPSS, Chicago, IL, USA) was performed using tests of significance of binomial proportion.

Results

In the adult group, when pictures were presented side-by-side, 71% (27 of 38) preferred their own mirror image, a result that was significantly different from chance [p = 0.014, binomial (27, 38, 1/2)]. Similarly, the proportion of adults who preferred the standard image of their friend (76%, 29 of 38) was statistically significant [p < 0.01, binomial (29, 38, 1/2)].

When pictures were presented successively, 71% of adult partici- pants chose their own mirror image [p = 0.014, binomial (27, 38, 1/2)] while 84% preferred their friend's standard image [p < 0.001, binomial (32, 38, 1/2)]. The difference between the proportion of positive answers for « self » preference and « familiar » preference reached significance [32 and 27 respectively, Mc Nemar's test, chi- square = 12.1, with 1 degree of freedom (p < 0.001)], suggesting that memory of a friend's face was stronger than self face memory in this condition.

Results from the three different child groups suggested a devel- opmental progression in the differences between « familiar » face and « self » face preference (**Figure 1**).

When performing the training task (see Materials and Methods), all the 3- to 5-year-olds tested, immediately understood the task and had no difficulty in performing the preference choice. Indeed this was also the case for older subjects.

In the side-by- side condition, 46% of the 3- to 5-year-olds preferred the mirror image of themselves [p = 0.839, binomial (13, 24, 1/2)], and 62% preferred their parent's standard image [p = 0.3, binomial (15, 24, 1/2)]. In contrast, the results from the 5 to 7 years old group matched those from the adult sample. A significant 79% (19 of 24) of 5- to 7-year-old children preferred their parents' standard image [p = 0.07, binomial (19, 24, 1/2)], and75%(18of24)preferred their own Mirror image[p=0.023, binomial (18, 24, 1/2)]. In the third 7- to 12-year-old group, a significant 83% (20 of 24) preferred the standard image of their parents while 75% preferred their own mirror image [p = 0.023, binomial (18, 24, 1/2)].

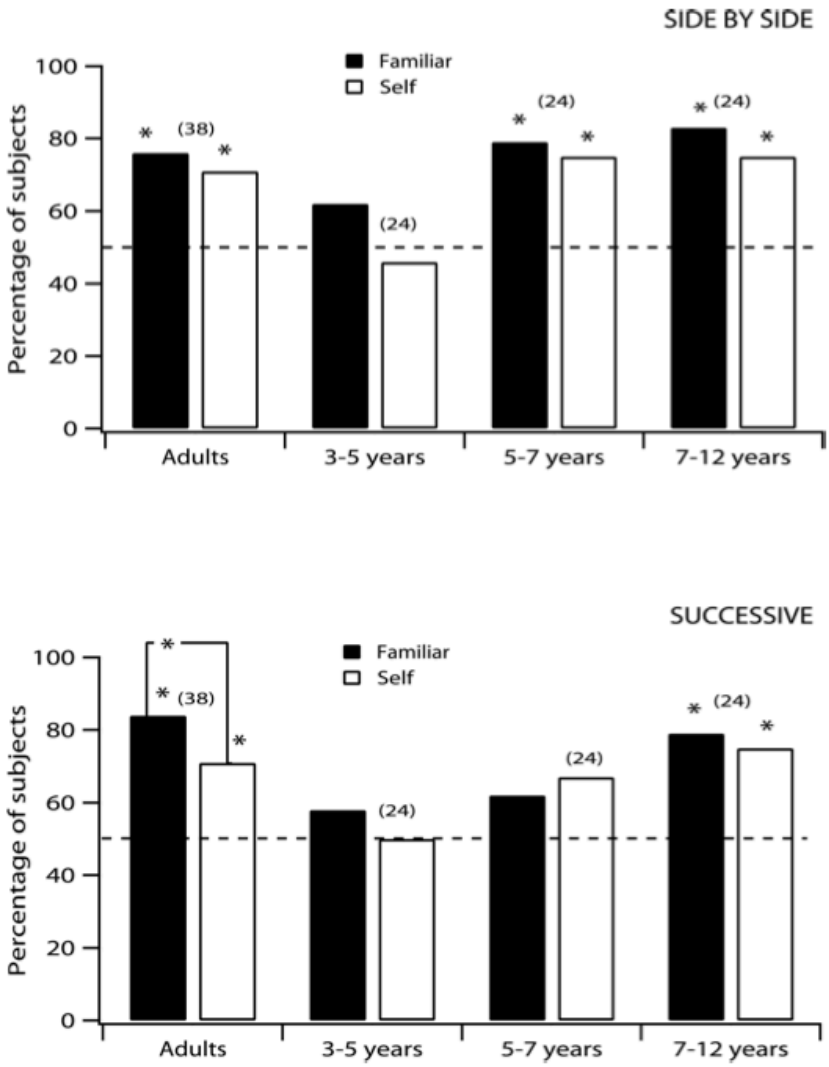


Figure 1 | Changes in the preference choice through development and in adults. The horizontal dashed line (at 50%) indicates chance.

In the successive condition, 50% of 3- to 5-year-olds preferred the standard self image [p = 1, binomial (12, 24, 1/2)], and 62% preferred their parent's standard image [p = 0.3, binomial (15, 24, 1/2)].
Similarly, 67% of the 5- to 7-year-olds preferred the mirror image of themselves [p = 0.152, binomial (16, 24, 1/2)], and 62% preferred their parent's standard image [p = 0.3, binomial (15, 24, 1/2)]. Preference choice appeared to differ significantly from chance only in the eldest group (7–12 years), for both dyads of self and familiar faces that were chosen respectively by 18 and 19 of 24 children [p = 0.023, binomial (18, 24, 1/2), and (p = 0.007, binomial (19, 24, 1/2)].
In the side-by-side presentation condition, we found no significant differences between participant choices of right or left image. Similarly, in the successive condition, we found no significant differences between participant choices of first or second image.
When participants were asked to indicate the basis for their selection, they mentioned « better facial angle », « modified pho- tographs », « better head tilt », « looks prettier, older »… They sometimes evoked unfounded differences, in thinking that pictures were modified (e.g., added wrinkles). When the purpose of the study was described, participants mentioned the exploration of differences in perception of minor face variation. Only six adults suggested symmetries or mirror-inversion effects. Reasons of choice were more difficult to explore with children. Some of them men- tioned « hair style », « smiling or frowning », but none of them had thought of a mirror view. Data for all trials (successively and side-by-side), and groups are presented in **Figure 1**. The 25 control adults who were unfamiliar with the presented faces (see Materials and Methods) showed no significant differences in their preference choices between the standard or mirror images of the same face.

DIscussIon

This study investigated whether the perception of asymmetries of highly familiar faces, already documented in adults (Mita et al., 1977), is present early in child development. We found that sen- sitivity to minor facial details such as face orientation around the vertical axis could enhance preference after 5 years of age. The traditional preference task used in our experiment exploits the visual system's sensitivity to subconscious and conscious details in a discriminatory task involving familiarity. Novel to our study is the finding of an early and accurate development of the perception and memory of facial asymmetries, in accordance with developmental data documented in general face processing.
Early developmental studies have already suggested that face recognition in childhood undergoes a learning and biological maturational process (Blaney and Winograd, 1978; Carey et al., 1980; Ellis and Flin, 1990; Chung and Thomson, 1995). More recent behavioral research has suggested that a standard adult face recog- nition capability is present in young children with many proper- ties investigated, including discriminatory effects on perception and memory having been observed in 4 year and 5- to 6-year-olds respectively (Gilchrist and McKone, 2003; McKone and Boyer, 2006; McKone et al., 2009). Our results are in accordance with this general framework of the developmental trajectory of face perception and memory, suggesting an access to an acute representation of a very familiar face, at least after 5 years of age, then reaching full adult competence between the ages of 7 and 12 years.
This last development in face processing performances may be due to general factors as suggested by differences between results in the side-by-side condition and the successive condition in the 5- to 7-year-old group, which disappear in the eldest group of 7- to 12-year-old group, consistent with general cognitive development theory (Crookes and Mc Kone, 2009). In fact, 5- to 7-year-old chil- dren did not choose the standard orientation of their parents' face or the mirror orientation of themselves when images were presented successively, although they exhibited face orientation sensitivity in the side-by-side condition. This may reflect a contribution of the cognitive charge, which is stronger in the first condition which is likely to involve a combination of acute working memory, atten- tion, and perception. This finding thus adds new support for the hypothesis of early performance in face recognition and memory, which is tightly linked to the development of other cognitive functions involved in the process.
Our results from adults are in agreement with previous studies, showing that face orientation is retained in memory for familiar faces (own face and friend's face), and that this memory influences judgment even if adults were not required to answer as to which of the two images looked like themselves or their friends. Furthermore, the same result was obtained whether the subject was presented with dyads in side-by-side or successive modes. Surprisingly, our data also suggest that an adult's memory of the orientation of a friend's face is stronger than the corresponding memory of his/her own face in both presentation conditions but particularly if faces are shown successively. It has been suggested that people have the same ability to recognize the correct orientation of their own or another's face, but with a prominent role of configural informa- tion in a friend's face recognition whereas asymmetrically located details seems to be more relevant in our own face choice (Bredart, 2003).

That our results from adults are in agreement with other previ- ous studies (Mita et al., 1977; Rhodes, 1986; Brady et al., 2004) also validates the protocol used here. Furthermore, our study shows for the first time that facial orientation seems to be such a salient feature in memory that even if a direct comparison between the two facial orientations is not possible (due to successive image presentation), the standard view affects judgment in the expected way. This is particularly evident in the « friend » condition, since the proportion of expected answers is the highest. One hypothesis is that comparative processing in the side-by-side condition is likely to involve a screening strategy in which an active search for differences may affect spontaneous answers via more implicit processes.

Beside the issue of the role of perception and expertise in the development of highly familiar face memory, the degree of sali- ence of the hemispheric asymmetries (Brady et al., 2005) and the emotional salience when studying self face and familiar face processing remain major issues that also require investigation in the context of childhood maturation and development (Richards and Gross, 2000).

acknowledgMents

The authors thanks L. Demany and O. Pascalis for their valua- ble comments on the manuscript and N. Mellen and J. Simmers for correcting the English. Many thanks to C. Goulet for kind advices on statistical analyses. This work was funded in part by the « Région Aquitaine ».

References

Blaney, R. L., and Winograd, E. (1978). Developmental differences in children recognition memory for faces. *Dev. Psychol.* 14, 441–442.

Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect: overview and meta-analysis of research, 1968–1987. *Psychol. Bull.* 106, 265–289.

Brady, N., Campbell, M., and Flaherty, M. (2004). My left brain and me: a dissocia- tion in the perception of self and others. *Neuropsychologia* 42, 1156–1161.

Brady, N., Campbell, M., and Flaherty, M. (2005). Perceptual asymmetries are preserved in memory for highly familiar faces of self and friend. *Brain Cogn.* 58, 334–342.

Bredart, S. (2003). Recognising the usual orientation of one's own face: the role of asymmetrically located details. *Perception* 32, 805–811.

Bremner, J., Shobe, K., and Kihlstrom, J. (2000). False memories in women with self-reported childhood sexual abuse: an empirical study. *Psychol. Sci.* 11, 333–337.

Burt, D. M., and Perrett, D. I. (1997). Perceptual asymmetries in judge- ments of facial attractiveness, age, gender, speech and expression. *Neuropsychologia* 35, 685–693.

Butler,S.H.,andHarvey,M.(2006).Perceptual biases in chimeric face processing: eye- movement patterns cannot explain it all. *Brain Res.* 1124, 96–99.

Carey, S., Diamond, R., and Woods, B. (1980). Development of face recog- nition-a maturational component? *Dev. Psychol.* 16, 257–269.

Chen, A. C., German, C., and Zaidel, D. W. (1997). Brain asymmetry and facial attractiveness: facial beauty is not simply in the eye of the beholder. *Neuropsychologia* 35, 471–476.

Chung, M. S., and Thomson, D. M. (1995). Development of face recognition. *Br. J. Psychol.* 86, 55–87.

Cooper, P. A., Geldart, S. S., Mondloch, C. J., and Maurer, D. (2006). Developmental changes in perceptions of attractive- ness: a role of experience? *Dev. Sci.* 9, 530–543.

Crookes, K., and McKone, E. (2009). Early maturity of face recognition: no childhood development of holis- tic processing, novel face encoding, or face-space. *Cognition* 111, 219–247.

Crouzet, S. M., Kirchner, H., and Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *J. Vis.* 10, 1–17.

Diamond, R., and Carey, S. (1986). Why faces are and are not special – an effect of expertise. *J. Exp. Psychol.* 115, 107–117.

Ellis, H. D., and Flin, R. H. (1990). Encoding and storage effects in 7-year- olds' and 10-year-olds' memory for faces. *Br. J. Dev. Psychol.* 8, 77–92.

Fantz, R. L. (1963). Pattern vision in new- born infants. *Science* 140, 296–297. Ferber, S., and Murray, L. J. (2005). Are perceptual judgments dissociated from motor processes? – A prism adaptation study. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 23, 453–456.

Ge, L., Anzures, G., Wang, Z., Kelly, D. J., Pascalis, O., Quinn, P. C., Slater, A. M., Yang, Z., and Lee, K. (2008). An inner face advantage in children's recogni- tion of familiar peers. *J. Exp. Child. Psychol.* 101, 124–136.

Gilchrist, A., and McKone, E. (2003). Early maturity of face processing in children: local and relational distinctiveness effects in 7-year-olds. *Vis. Cogn.* 10, 769–793.

Harrison, A. A. (1977). "Mere exposure," in *Advances in Experimental Social Psychology*, ed. L. Berkowitz (New York: Academic Press), 39–83.

Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., and Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition* 40, 1–19.

Kunst-Wilson, W. R., and Zajonc, R. B. (1980) Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Science* 207, 557–558.

McKone, E., and Boyer, B. L. (2006). Sensitivity of 4-year-olds to featural and second-order relational changes in face distinctiveness. *J. Exp. Child. Psychol.* 94, 134–162.

McKone, E., Crookes, K., and Kanwisher, N. (2009). The cognitive and neural devel- opment of face recognition in humans. in *The Cognitive Neurosciences*. ed. S. Gazzaniga (Cambridge, MA: MIT Press), 467–482.

Mita, T. H., Dermer, M., and Knight, J. (1977). Reversed facial images and the mere-exposure hypothesis. *J. Pers. Soc. Psychol.* 35, 597–601.

Mondloch, C. J., Maurer, D., and Ahola, S. (2006). Becoming a face expert. *Psychol. Sci.* 17, 930–934.

Quinn, P. C., Kelly, D. J., Lee, K., Pascalis, O., and Slater, A. M. (2008). Preference for attractive faces in human infants extends beyond conspecifics. *Dev. Sci.* 11, 76–83.

Rhodes, G. (1986). Memory for lateral asymmetries in well-known faces: evidence for configural information in memory representations of faces. *Mem. Cogn.* 14, 209–219.
Richards, J. M., and Gross, J. J. (2000). Emotion regulation and memory: the cognitive costs of keeping one's cool. *J. Pers. Soc. Psychol.* 79, 410–424.
Seamon, J., Williams, P., Crowley, M., Kim, I., Langer, S., Orne, P., and Wishengrad, D. (1995). The mere exposure effect is based on implicit memory – effects of stimulus type, encoding condi- tions, and number of exposures on recognition and affect judgments. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 21, 711–721.
Willems, S., Adam, S., and Van der Linden, M. (2002). Normal mere exposure effect with impaired recognition in Alzheimer's disease. *Cortex* 38,
Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *J. Pers. Soc. Psychol.* 9, 1–8.
Conflict of Interest Statement: The authors declare that the research was con- ducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be con- strued as a potential conflict of interest.
*Received: 15 January 2010; paper pending published: 27 March 2010; accepted: 13 July 2010; published online: 14 September 2010. Citation:AmestoyA,BouvardMPandCazalets J-R (2010) Left-right facial orientation of familiar faces: developmental aspects of « the mere exposure hypothesis ». Front. Psychology **1**:39. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00039*
This article was submitted to Frontiers in Perception Science, a specialty of Frontiers in Psychology. Copyright © 2010 Amestoy, Bouvard and Cazalets. This is an open-access article subject to an exclusive license agreement between the authors and the Frontiers Research Foundation, which permits unre- stricted use, distribution, and reproduc- tion in any medium, provided the original authors and source are credited.
Pascalis, O., and Kelly, D. J. (2009). The origins of face processing in humans: phylogeny and ontogeny. *Perspect.Psychol. Sci.* 4, 200–209. 77-86.

3- Article 2: Etude n 2: Représentation mnésique du soi et de l'hyperfamilier: contribution dans les Troubles du Spectre Autistique.

3-1 Introduction

Il existe des arguments dans la littérature pour penser que le traitement des visages allant de la prise d'indice perceptif, au traitement cognitif configural et à la représentation mnésique stockée est atypique dans la population de sujets présentant un trouble du Spectre Autistique (Curby, Willenbockel, Tanaka, & Schultz, 2010; pour revue Newell, Best, & Gastgeb, 2010).

Les résultats évoqués dans les différents axes d'investigation (évaluation du pattern d'exploration, tâche de reconnaissance impliquant mémoire et catégorisation entre autres) suggèrent que le **développement de cette compétence pourrait être bloqué à un niveau plus immature et moins automatisé, car les compétences de l'adulte avec TSA diffèrent souvent de l'adulte typique, mais que les résultats restent contradictoires chez l'enfant et ne diffèrent pas forcément de l'enfant au développement typique** (pour revue Jemel et al., 2006; Newell et al., 2010). Par ailleurs des résultats sont en faveur d'un effet plus faible du biais perceptif gauche dans le traitement des visages chez des adultes avec TSA, notamment dans une tâche avec des visages chimériques (Ashwin et al., 2005; Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; E. M. Dundas et al., 2011), ce qui pourrait être **en faveur d'une sensibilité plus faible à l'orientation faciale.**

Nous avons vu dans la première étude que la représentation mnésique des visages incluait très précocement l'orientation faciale et la vue standard des visages familiers entre l'âge de 5-7 ans et qu'elle présente les caractéristiques de la représentation mnésique des visages (dans les limites explorées par le paradigme « mere hypothesis ») entre l'âge de 7 ans et l'âge de 12 ans.

Cette sensibilité à l'asymétrie faciale et la trace mnésique liée à l'exposition et l'expertise seraient donc pleinement mâture à 12 ans, dans le cadre d'un développement typique.

Le modèle de sur-fonctionnement perceptif proposé par Mottron (2004a; Mottron & Burack, 2001; Mottron, Morasse, & Belleville, 2001) suggère l'hypothèse d'un **sur-fonctionnement de l'ensemble des processus perceptifs de bas niveau dans l'autisme**: discrimination, traitement des dimensions psychophysiques, vitesse d'encodage, appariement perceptif entre des éléments simples, détection qui toucherait également la mémoire.

Il existerait selon lui, un biais en faveur du traitement perceptif de bas niveau dans la pathologie autistique, qui expliquerait la supériorité du traitement local dans ce trouble par rapport aux individus au développement typique. Il a ainsi souvent été suggéré que les sujets avec TSA possèdent une mémoire photographique, ce qui engendre des difficultés d'accès à la conceptualisation et à la généralisation ; ils sont plus sensibles aux détails, et donc au changement.

Le stimulus visage est un stimulus considéré à part lors de la description des processus perceptifs et cognitifs dans cette population (Jemel et al., 2006).

Plaisted (2001) a montré que les sujets autistes, traitant dans l'environnement davantage les traits uniques à chaque stimulus que les traits communs avec les autres stimuli, auraient de meilleures capacités de discrimination perceptive visuelle mais des difficultés à traiter les similitudes entre les stimuli visuels et donc à catégoriser l'information visuelle.

Dans la seconde étude, nous avons donc souhaité évaluer si les sujets avec TSA présentaient des particularités dans la perception des asymétries faciales, l'orientation et leurs représentations stockées en mémoire.

Deux hypothèses s'offraient à nous: soit leurs **compétences montraient un décalage de maturité, lié à un manque d'exposition** (hypothèse de l'évitement des visages), **soit une hypersensibilité à l'orientation, liée à leurs compétences mnésiques « photographiques ».**

Pour cela nous avons évalué des enfants de 12 ans, considérés comme ayant acquis la "maturité de cette expertise" et des adultes avec TSA, dans la même tâche de préférence.

3-2 Matériel et méthodes

27 sujets avec TSA ont été inclus dans l'étude, dont 13 enfants (11 garçons et 2 filles, moyenne d'âge : 12,9 ans+- 0,8) et 14 adultes (13 hommes et 1 femme, moyenne d'âge : 22,9+-3,9).

Le recrutement s'est effectué au CRA : Centre Ressource Autisme Aquitaine, le diagnostic de TSA sans déficience intellectuelle (Autisme, Trouble Envahissant du Développement (TED), Troubles Envahissant du Développement non spécifié : TED nos, Sd d'Asperger) a été posé selon les critères DSM-IV-TR (American Psychiatric Association, 2000) et avec les résultats de l'ADI-R (Lord et al., 1994) (Adaptation française: B. Rogé et collaborateurs)) et l'ADOS (Lord, Rutter, DiLavore, & Risi, 2002) (Adaptation française : Bernadette Rogé et collaborateurs).

Une évaluation de l'efficience cognitive a été obtenue par l'intermédiaire du Wechsler Intelligence Scale for Children-fourth Edition : WISC IV ou pour adulte : WAIS. Auncun des sujets n'avait un QIT inférieur à 80.

Le protocole a été approuvé par le comité d'Etique (CPP 100038-80)

Tableau 1: Descriptif de la population clinique

Group	Adults	Children
N	14	13
Age (years)	22,9±3,9 (SD)	12,9±0,8 (SD)
ADI-R (Social interaction)	16,5 +-2,5 (SD)	17,1±5,07 (SD)
Overall DQ	101,8 +-16,9 (SD)	94±9 (SD)

3-3 Principaux résultats

Qualitatifs :

5 adultes (35%) ont reconnu l'effet miroir et un de ces 5 adultes a refusé de répondre à la consigne de préférence car il ne pouvait choisir entre « 2 images identiques ».

Quantitatifs :

Les adultes et les enfants de plus de 12 ans avec TSA préfèrent de façon significative la photographie dans la vue standard des personnes familières (p<0,00) (Tableau 2).

Ni les adultes, ni les enfants avec TSA ne montrent de préférences pour l'une ou l'autre des photographies de leur propre visage et de sensibilité à l'effet miroir.

Tableau 2: Réponses en fonction des conditions et des groupes

	Adultes Côte à Côte	Adultes Successivement	Enfants côte à côte	Enfants Successivement
FAMILIER: Direct/Mirror	85% (11/2) p<0,022 *	100% (13/0) p>0,000 *	100% (13/0) p>0,000 *	92% 12/1 p<0,003 *
SELF: Direct/Mirror	77% 10/3 p<0,092	54% 7/5 p>1,00	70% 9/4 p<0,267	70% 9/4 p<0,267
N	13	13	13	13

3-4 Conclusions

- De manière étonnante, car avec des **réponses proches** ou égales à 100%, les adultes et enfants avec TSA ont montré une **très forte sensibilité pour la vue usuelle des visages de leurs proches, ce qui suggèrent une excellente sensibilité aux asymétries faciales maintenues dans leur représentation mnésique des visages très familiers**
- Les sujets avec TSA ne présentent pas de sensibilité à la vue usuelle de leur propre visage et ceux quelque soit l'âge.

4 - Discussion générale sur les résultats des 2 expérimentations comportementales

D'après les résultats de nos 2 études, on peut conclure que :

Les enfants au développement typique montrent rapidement dès l'âge de 5 ans une sensibilité à l'orientation selon l'axe vertical des visages familiers.

Nous pensons que cet effet est assez robuste pour que la représentation mnésique inclut cette orientation et permette, dès que les ressources attentionnelles et en mémoire le permettent (c'est à dire à partir de 12 ans) de choisir l'orientation la plus usuelle même lorsque la comparaison entre les 2 orientations n'est pas possible (condition de présentation successive).

Ces caractéristiques sont présentes chez les sujets avec TSA de plus de 12 ans, concernant les visages familiers. Ces sujets présentent donc un développement typique concernant la représentation/trace mnésique des visages familiers selon notre paradigme, c'est à dire, incluant l'orientation gauche/droite.

Par ailleurs, la comparaison des résultats de la seconde étude s'intéressant aux sujets avec TSA, avec les résultats de la première, nous a permis de rendre compte d'une **sensibilité particulièrement forte aux asymétries des visages** puisque 100% **des sujets avec TSA** préfèrent la vue directe des visages hautement familiers et ce, dans la condition où ces 2 visages sont vus côte à côte mais également successivement.

Enfin, chez les sujets avec TSA, il n'est pas retrouvé d'effet de l'expérience pour le visage propre de l'individu (SOI). **Ce résultat participe à l'hypothèse considérant que les sujets avec TSA ne développent pas d'expérience pour leur propre visage** du fait d'un **évitement** de contact avec le miroir, ce qui pourrait participer d'après certains auteurs au défaut de conscience de soi et d'agentivité décrit pour certains sous-groupes de sujets présentant un TSA (Amsterdam, 1972; Ferrari & Matthews, 1983; M. Lewis & Brooks-Gunn, 1979).

Ces résultats illustrent le rôle important de l'expérience dans le développement de la représentation mnésique des visages.

Chapitre II: Stratégies de balayage des visages: Etude comportementale en suivi du regard (Eye tracking)

IIA Contexte de réalisation des études en Eye tracking

1-Eye tracking

Afin de mieux comprendre ce que l'individu perçoit des visages sur une surface plane, ce qui l'attire le plus lorsqu'il rencontre pour la première fois un visage et dans quel contexte visuel, le suivi du regard à l'aide d'outils d'oculométrie, mesure des mouvements de l'œil ou eye-tracking en anglais, s'est progressivement imposé en psychométrie comportementale.

L'oculométrie (en anglais Eye-tracking) regroupe un ensemble de techniques permettant d'enregistrer les mouvements oculaires. Les oculomètres les plus courants analysent des images de l'oeil humain capturées par une caméra, souvent en lumière infrarouge pour calculer la direction du regard du sujet. En fonction de la précision souhaitée, différentes caractéristiques de l'œil sont analysées. D'autres techniques sont basées sur les variations de potentiels électriques à la surface de la peau du visage ou encore sur les perturbations induites par une lentille spéciale sur un champ magnétique. L'eye tracking est donc le procédé le moins invasif permettant de mesurer les mouvements de l'oeil et les points de fixation du regard sur une cible.

On distingue trois grands types de mouvement de l'œil:

- les mouvements saccadiques ou Saccades (3 à 4 par Seconde): en particulier les saccades exploratoires. Elles sont très rapides, 120ms, avec des amplitudes qui peuvent varier de 30 à 40 degrés maximum. La dynamique de ces mouvements peut dépasser 600°/s. Ce sont des sauts extrêmements rapides. Ces événements rapides peuvent être de signification diverse.

- les mouvements de poursuite lisse: ces mouvements sont liés à la poursuite visuelle d'une cible réelle comme suivre un oiseau... Ils fonctionnent en basse fréquence et en générale ne dépasse pas une vitesse angulaire de 30°/s.

- les mouvements de fixation: l'oeil reste dans une position avec moins de 1° d'oscillation. L'oeil n'est jamais totalement immobile (Micro-saccades, tremblements...). Ils se produisent lorsqu'il y a fixation. Ce sont des mouvements qui intéressent la recherche plus particulièrement car ils peuvent être secondairement numérisés en Scan Path: tracé de balayage ou séquences ordonnées de fixations et de saccades.

A côtés de ces 3 principaux types de mouvements oculaires, on peut également s'intéresser au reflexe vestivulo-oculaire (compensation des mouvements de tête), et à la vergence.

Si l'on restreint l'analyse des mouvements des yeux aux séquences de fixations (pauses) et de saccades (sauts rapides d'une fixation à l'autre), les principales caractéristiques oculaires sont exposées dans le tableau (figure 23) en fonction du type de tâches (Rayner, 1998).

Tâche	Durée Moy. Fixation (ms)	Taille Moy. Saccade (degré d'angle visuel)
Lecture silencieuse	225	2° (environ 8 car.)
Lecture orale	275	1,5° (environ 6 car.)
Recherche visuelle	275	3°
Inspection de scènes visuelles	330	4°
Lecture de partitions	375	1°

Figure 21: Principales caractéristiques oculaires en fonction des tâches (Rayner, 1998)

Dans les années 80, Just et Carpenter formulèrent l'hypothèse «oeil-esprit» the «eye-mind hypothesis», qui interroge l'hypothèse des mouvements oculaires comme reflet ou indice de l'activité mentale en temps réel, considérant «que s'il n'y a pas de décalage entre ce qui est fixé et ce qui est traité mentalement, alors quand un sujet regarde un mot, il pense aussi ou traite mentalement également ce mot, et cela pour exactement la même durée que le temps de fixation ».

Durant les vingt années, qui ont suivi, ce sont en particulier les travaux sur la lecture qui ont permis de préciser toute l'étendue des indicateurs cognitifs pertinents extraits grâce à cette technique par le fait d'avancées technologiques marquantes et notamment le couplage des systèmes oculométriques et des ordinateurs. Ainsi des paradigmes de présentation originaux comme la technique de la fenêtre mobile ou présentation contingente: paradigme de «gaze contingency» ont été inventés permettant de contrôler précisément la quantité d'information dispensée au sujet, ou permettant de mettre en exergue (effet loupe) les informations fixées par le sujet. Ces paradigmes permettent de différencier ce qui est fixé et ce qui est traité mentalement. La plupart des questions testées concernent la nature des mécanismes et des représentations cognitives qui guident le regard dans l'exploration visuelle.

Ces dernières années, l'hypothèse «oeil-esprit» a souvent été remise en question, notamment au travers de la question du «covert attention» qui consiste à pouvoir fixer son attention sur quelque chose que nous ne sommes pas en train de regarder (attention filante pour des stimuli ou pensées internes). L'utilisation de cet outil s'est progressivement réorienté vers un axe marketing avec l'analyse des comportements des consommateurs, de l'ergonomie sur le WEB, et surtout plus récemment avec l'objectif de coupler les mouvements oculaires à la commande machine.

1- Principes de base du Eye tracker

1-1- Généralités

La grande difficulté rencontrée par les chercheurs fut de fixer une base de captation en trois dimensions, puis de ne plus perdre le signal renvoyé par l'œil. C'est entre autre pour cela que les anciens appareils d'analyse s'apparentaient à des outils d'ophtalmologie, avec lesquels les sujets testés devaient poser leur menton sur une base fixe, pour permettre au tracker de fixer précisément son regard.

Contrairement à ce que l'on croit, le mouvement de l'œil n'est pas fixe mais sujet à de nombreuses saccades, surtout lorsque nous posons notre regard sur un point stable. Il en résulte des sursauts et des variations de positionnement continu, que les eye trackers doivent compenser en tenant compte d'une position de fixation moyenne, calculée avec des moyennes mobiles de plusieurs points de regard repérés dans un espace visuel restreint.

Il existe à l'heure actuelle trois techniques d'enregistrement des mouvements des yeux qui divergent selon le procédé d'enregistrement et par conséquent la précision des mesures et les contraintes assumées par les utilisateurs : l'électro-oculographie (EOG), la technique galvanométrique (*Scleral search-coil technique*) et la technique du reflet cornéen.

Dans la technique du reflet cornéen qui est la technique utilisée dans la plupart des Eye tracker, le principe consiste à envoyer au centre de la pupille une lumière infrarouge émise par une diode ou un ensemble de diodes. Le reflet infrarouge renvoyé par la cornée de l'œil est ensuite détecté et ce sont les variations d'intensité de ce reflet qui permettent, après calcul, de repérer le centre de la pupille et de connaître la position de l'œil. Il existe de nombreux systèmes fondés sur ce principe qui utilisent soit un détecteur optique pour capter le reflet infrarouge, soit une caméra vidéo qui filme l'œil. Le système Eyegaze ASL utilisé à Bordeaux, sur la Plateforme d'analyse du mouvement fonctionne avec une caméra qui échantillonne à 60Hz la position du regard de l'utilisateur (voir figure 28). La technique se prête facilement à des tests ergonomiques car il n'y a aucune contrainte physiologique du sujet (tête libre), la caméra est placée sous l'écran et seulement une courte phase de calibrage est requise. La position relative du reflet cornéen et de la pupille (pupil-center-corneal réflection) indique la localisation du regard indépendamment de la position de la tête et des mouvements du corps.

La seconde partie du challenge étant de faire correspondre la mesure des mouvements oculaires sur le monde réel : faire correspondre les points de fixation à la scène/ stimulus visionné. Cette correspondance est permise grâce à la calibration.

Le calibrage ou calibration est effectué avant tout enregistrement et il consiste à demander à l'utilisateur de fixer successivement un certain nombre de points apparaissant sur l'écran de manière à assurer une parfaite correspondance entre les positions enregistrées par l'oculomètre et les positions réelles des informations sur l'écran. De plus, le système enregistre le diamètre pupillaire qui peut servir d'indicateur pour estimer la charge mentale induite par un écran ou le stress visuel. Bien qu'un plus grand nombre de points de calibration soit garant de la précision de la correspondance, cet aspect qui est chronophage et peut entraîner une perte d'attention des participants, doit être contrebalancé avec le contrôle oculaire et donc l'âge de la population concernée.

Les adultes typiques et les enfants à partir de 6 ans sont en effet en mesure de compléter 9 ou 16 points de calibration mais les recherches incluant des enfants de moins de 6 ans et des nourrissons utilisent habituellement des animations se déplaçant sur 5 ou même 2 points (Gredeback et al., 2010). Le contrôle de la calibration après la passation des stimuli est souhaitable.

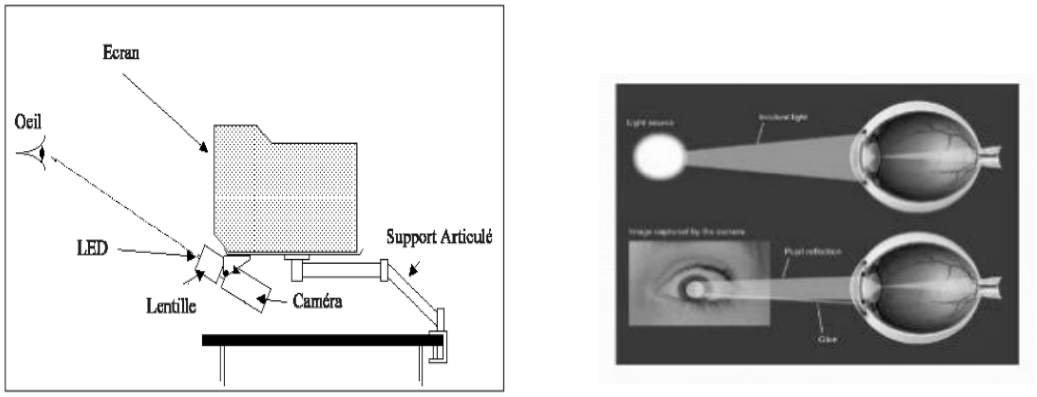


Figure 22: Technique du reflet cornéen

Ce procédé est celui retenu dans la conception de l'ensemble des eye trackers actuellement disponibles. Ils disposent donc de micro-caméras qui concentrent leurs objectifs sur les deux yeux et enregistrent leurs mouvements lorsque la personne fixe un stimulus. Pour ce faire, elles captent le contraste entre la rétine et la pupille à l'aide d'une projection de lumière infra-rouge, en analysant la lumière réfléchie par la cornée de l'œil humain. Par alternance des réflexions contrastées de la pupille (clair / foncé), il devient donc possible « d'accrocher » le mouvement de l'œil.

Ainsi, dès qu'une première calibration est effectuée, l'eye tracker fixe des repères sur trois axes dimensionnels et peut analyser les mouvements de la pupille de haut en bas, comme de gauche à droite. Sur le principe de cette analyse, le testeur peut donc connaître le temps de rémanence oculaire à un endroit précis : plus la personne maintient son regard dans une zone limitée, plus le repérage sera facile. Graphiquement, cela se traduit par des ronds sur l'écran, plus ou moins larges selon la durée de l'arrêt du regard. En termes techniques, ces points s'appellent les **Gaze Plots.**

Lorsque l'eye tracker regroupe suffisamment de données, il peut ensuite cumuler les gazes plots et analyser le degré de visibilité des stimuli. Nous obtenons alors des **heat maps (zones de chaleur)** qui permettent de comprendre plus facilement les endroits où les sujets ont majoritairement fixé leurs regards et ceux où personne n'a regardé. Cela est interprété par des couleurs chaudes-rouges (forte rémanence du regard) et par des couleurs froides (faible rémanence du regard).

1-2- Principaux indicateurs oculométriques

Sur une caméra fonctionnant à 60Hz, l'enregistrement des mouvements des yeux a lieu environ toutes les 17 ms, ce qui constitue un énorme flot de données pour une tâche d'inspection de stimuli statiques.

Extraire des indicateurs cognitifs plausibles de ce flot de données, consiste d'abord à réduire les données à une séquence de saccades et fixations qui sont ensuite analysées par rapport à la page entière ou à des zones particulières du matériel inspecté (zones d'intérêt). La détection des saccades et des fixations, comportement généralement observé lors de l'inspection visuelle permet de quantifier la prise d'information du sujet et d'inférer les processus cognitifs sous-jacents. Il est alors possible ainsi de repérer les zones du visage les plus fréquemment explorées, les durées de traitement/fixation, les difficultés rencontrées et les éventuelles réinspections témoignant d'un contrôle ou d'un besoin d'information supplémentaire, ainsi que de retracer la séquence de fixations successives indiquant l'ordre logique des opérations mentales effectuées et leur cohérence.

Il est habituel de distinguer les indicateurs reflétant les processus de recherche d'information des indicateurs qui rendent compte du traitement de l'information, les premiers étant surtout des traces spatiales du déplacement du regard alors que les seconds dénotent des durées de traitement (voir tableau 3).

Tableau 3: Indicateurs en oculométrie

Processus Cognitif	Mesures Oculaires	Unités de mesure
Recherche d'information	Nombre de saccades	N
	Taille moyenne des saccades	Pixels
	Longueur du *scanpath*	Pixels
	Durée du *scanpath*	Msec
	Densité de Transition	%
	Aire convexe de Hull	Pixels^2
	Densité spatiale	%
Traitement de l'information	Durée des fixations	Msec
	Nombre de fixations	N

- La longueur du scanpath (somme des distances algébriques d'une séquence saccadique mesurée en pixels) **et sa durée** (somme des fixations et des saccades en ms) fournissent une mesure globale de l'efficacité de la recherche sur l'image.

Le scanpath est primordial pour repérer l'ordre des opérations mentales et renseigne sur la séquence des éléments extraits de l'image pour construire la représentation mentale.

A ces variables globales du traitement d'une image en eye tracking s'ajoute le traitement d'une **zone ou de plusieurs zones particulièrement pertinentes** du point de vue de l'évaluation car des informations importantes y sont placées (**zones d'intérêt** ou **ROI: Region of Interest**). On calcule alors le nombre et la durée des fixations sur cette zone, la fréquence d'inspection de la zone ou bien la probabilité pour que le regard retourne sur la zone (zones recevant plusieurs fixations non consécutives).

Viviani (1990) a ainsi montré que la durée des fixations augmente en fonction de l'importance des éléments présents dans une scène visuelle. Toutes ces mesures du scanpath, qui peuvent de plus être corrélées entre elles, informent sur la qualité de la prise d'information et sur les éléments de l'image qui ont attiré l'attention du sujet.

Les autres indicateurs signifiants lors de l'exploration des visages en Eye tracking :

- **Temps passé avant la première fixation/ Delay to First fixation**

Afin de comprendre comment les individus appréhendent les différents éléments des visages, il semble effectivement judicieux de savoir ce qu'ils perçoivent en premier, compte tenu de la rapidité de la reconnaissance. Pour ce faire, les statistiques de l'indicateur « first time to fixation » ou « Delay to first fixation» permettent de savoir le temps que le regard d'une personne a mis pour trouver un ou plusieurs repères prédéfinis.

- Nombre total de fixations oculaires

Une fois que nous avons compris où les individus regardent sur les visages, il reste à comprendre si dans son ensemble, ce visage a pu conserver l'attention du regard longtemps. On parle alors de capacité de rétention de l'attention. Plus le nombre de fixations longues sont enregistrées lors d'un test, plus le visage ou le stimulus aura montré un intérêt pour l'individu. Le nombre de fixations oculaires doit cependant être affiné par une analyse du positionnement des Gaze plots, puisqu'une forte concentration de regards sur des zones à faible intérêt démontrera à contrario que ce visage n'attire pas l'œil aux bons endroits, ou que l'individu n'est pas attiré par les zones d'intérêt prioritaires.

1-3 Les limites de la technique

1-3-1- Les limites de la théorie

La relation yeux/cognition (Eye-mind) demeure encore à questionner. En effet, nous ne pouvons assurer que le stimulus sur lequel se porte la fixation correspond au stimulus sur lequel se porte l'attention cognitive et le traitement cognitif du sujet. Nous avons pu voir dans la partie théorique que lors de la lecture par exemple, le processus cognitif prenait l'information dans une zone élargie autour du point de fixation nommée « the perceptual scan ». Par ailleurs, cette zone de perception varie avec le type de stimuli, l'individu (et notamment l'âge) et le type de tâche (Rayner, 1998).

Nous savons aussi que les saccades considérées comme fréquentes autour de 150 ms peuvent varier de manière importante entre tâches. Cela rend difficile l'interprétation d'une corrélation avec la prise de décision cognitive. En effet, la fixation attentionnelle dans le but de faire un traitement cognitif du stimulus (saccade volontaire) n'est pas différenciée du mouvement saccadique entraînant une fixation automatique non reliée à un traitement cognitif (saccade involontaire).

Il semble cohérent de rester prudent sur les interprétations cognitives sous-tendues par les résultats d'analyses oculométriques afin de ne pas sur-interpréter les comportements d'exploration visuelle (Sasson & Elison, 2012).

1-3-2 Les limites des protocoles

La plupart des eye tracking fournissent des fichiers de données brutes qui comprennent, au minimum les coordonnées X et Y des points de fixation d'un ou parfois des deux yeux.

La problématique principale, nous le détaillerons plus loin pour les visages, réside en la définition à priori et subjectivement des Aires d'Intérêts pour l'analyse des fixations, non réplicables entre études.

2- Les résultats de l'exploration en Eye tracking des visages

Le développement de cette technique a permis de mesurer précisément les mécanismes d'exploration des visages dans de nombreux axes de recherches différents comme l'exploration des émotions, les tâches de reconnaissances, l'exploration de l'indiçage par le regard, la recherche d'un effet de familiarité, l'exploration des effets du développement, l'étude des processus attentionnels, l'aspect dynamique des visages (Riby & Hancock, 2008; Riby, Doherty-Sneddon, & Bruce, 2009; Sasson, 2006).

Les résultats chez l'adulte ont permis de mettre en évidence **une focalisation de l'attention autour de zones pertinentes situées à l'intérieur des visages : yeux, nez et bouche** (The « core feature » ; (Luria & Strauss, 1978; Walker-Smith et al., 1977)) alors que les éléments faciaux externes sont très peu explorés : cheveux, contour du visage, ligne front-cheveux, oreilles (Althoff & Cohen, 1999; Walker-Smith et al., 1977; Yarbus, 1967).

Néanmoins, la littérature sur les scan path des visages dans la population d'adultes typiques est peu abondante, les effectifs sont faibles (entre 8 et 10 participants en moyenne) et les méthodologies différentes : tâches de reconnaissances (comparant visages familiers, connus ou non familiers après entraînement, exploration libre, temps de présentation variant de 1à 10s, zones d'intérêts de construction variées). L'étude ayant l'effectif le plus grand est une étude en orthodontie concernant un grand nombre de patients (50 adultes) qui a exploré des visages souriants après chirurgie maxillaire (Hickman, Firestone, & Beck, 2010). Elle conclut en une grande héréogénéité interindividus et une préférence pour la zone des yeux, mais le découpage des aires d'intérêts était approximatif, la séquence et l'ordre de fixation n'étaient pas des variables retenues. Dans la plupart des études avant 2008 (Barton et al., 2006; J. M. Henderson et al., 2005; Stacey, P. C. & Walker, 2005) les fixations étaient analysées en prédéfinissant des zones d'intérêt assez larges, correspondant grossièrement aux « inner features »: traits faciaux internes: yeux, nez, bouche, alors que les résultats les plus récents avec des techniques de découpage plus sophistiquées sont plutôt en faveur de localisation stratégique entre deux zones: entre les yeux et le nez (base du nez), en **infraorbital** (Bindemann et al., 2009; Blais et al., 2008; Hsiao & Cottrell, 2008; Orban de Xivry et al., 2008).

Par exemple, Henderson et al (2005) proposent d'évaluer le balayage de visages non familiers de 8 adultes sains, mais le temps de présentation est donné à 10s ce qui correspond à de nombreux retours sur fixation.

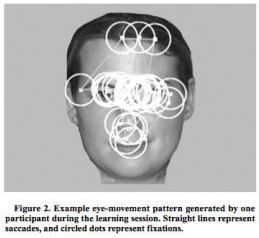
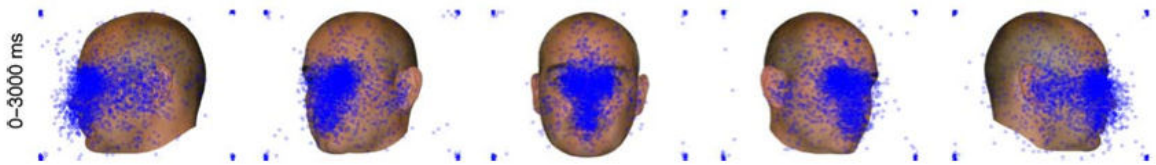


Figure 2. Example eye-movement pattern generated by one participant during the learning session. Straight lines represent saccades, and circled dots represent fixations.

Figure 23: JM. Henderson (2005)

A l'opposé, Hsiao et al. (2008) évaluent dans une tâche de reconnaissance des visages les résultats des 3 premières fixations de 8 adultes sains (présentation d'une durée maximale de 3s). Leurs résultats montrent que 2 fixations suffisent à la reconnaissance des visages, et que ces fixations préférentielles, indépendantes de la position de fixation de départ, **se centrent autour de la base du nez**.

Bindemann et al (2009) concluent en la congruence de cette **zone infraorbitale gauche avec le COG** : Centre de gravité, ils parlent du: « center of gravity effect », or global effect » effet global, pour la majorité des premières fixations chez 20 sujets Adultes typiques dans une tâche de libre exploration et ce indépendamment de la position du visage sur l'écran qu'ils font varier sur les 4 quadrants. Ils évaluent également la variabilité des patterns en fonction des angles de vue.



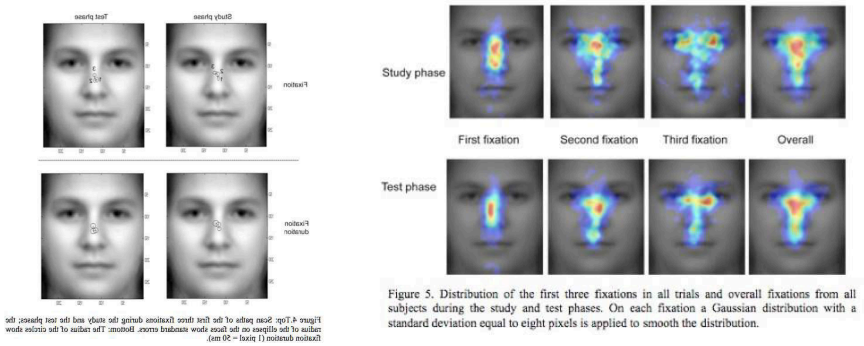


Figure 5. Distribution of the first three fixations in all trials and overall fixations from all subjects during the study and test phases. On each fixation a Gaussian distribution with a standard deviation equal to eight pixels is applied to smooth the distribution.

Figure 24 Bindemann (2009)

Goedele van Bell et al (2010) retrouvent des résultats similaires chez 11 autres adultes, dans une tâche de reconnaissance, comparant des visages familiers et non familiers puis des visages expertisés. La première fixation se trouve en **zone infra-orbitale gauche (sous l'œil gauche du visage)** assimilée au centre de gravité: COG (Bindemann et al., 2009) ou centre de « masse » (Hsiao & Cottrell, 2008) mais non au centre géométrique de la face qui se trouve plus bas sur l'arrête du nez. La seconde fixation se trouve sous l'œil Droit dans le cas des visages neutres de face, indépendamment de la familiarité. Cette optimisation du temps passé sur les traits faciaux internes supporte l'idée d'un rôle central de ces traits internes dans la perception et la reconnaissance des visages et ce particulièrement dans le cadre des visages familiers (H. D. Ellis et al., 1979).

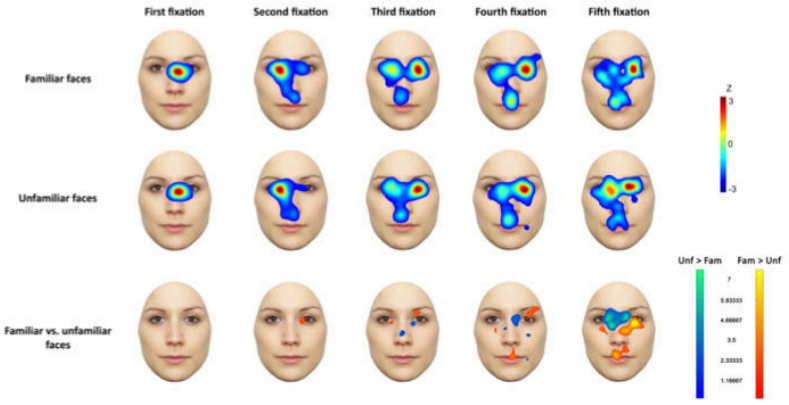


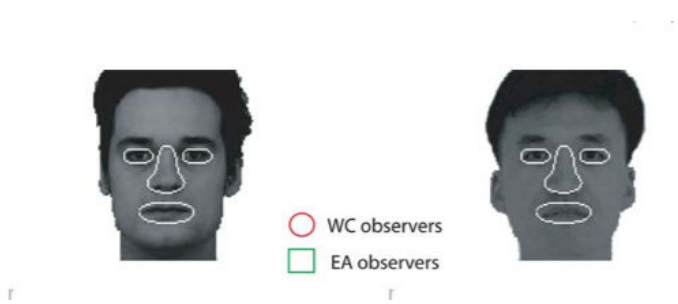
Figure 25 : Van Bell (2010)

La quasi totalité des études conclut que la majeure partie de l'attention dédiée aux traits faciaux internes était attribuée à la **région des yeux** prise dans son ensemble et incluant la **zone infra-orbitale ou base du nez, et que cette région était fixée en premier lors de l'exploration des visages**.

Une étude semble montrer que les sujets débutent leur exploration par une fixation dans la zone de l'œil situé dans l'hémi champ controlatéral à leur œil dominant. Les sujets présentant une dominance oculaire droite débuteraient plus souvent l'exploration par l'œil Droit du visage stimulus, situé dans le champ visuel gauche (Hernandez et al., 2009).

Des études récentes (Blais et al., 2008; Caldara et al., 2010; Fu, Hu, Wang, Quinn, & Lee, 2012) semblent montrer des différences lors de l'exploration de visages statiques de face pendant 5s, en fonction de l'origine raciale du visage observé et du sujet observateur. Ainsi, les sujets caucasiens qui regardent des visages d'origine caucasienne privilégieraient la zone des yeux et les sujets d'origine asiatique une zone centrale correspondant au nez.

Ces études n'évaluent pas la séquence et se basent sur l'analyse de Zones d'intérêts effectuées à priori. Ils concluent néanmoins, lors de l'évaluation des patterns d'explorations contraints par des « spotlight », à une vision centrale à l'utilisation des yeux et de la bouche comme zones de reconnaissance entre congénères.



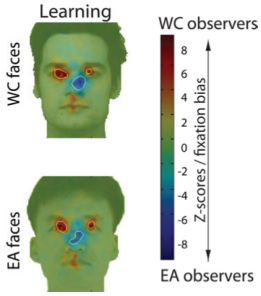


Figure 26: Blais (2008) **Caldara (2010)**

3- Limites méthodologique des études de la perception des visages en Eye-tracking

La technologie Eye tracking procure une quantité importante d'informations et de données quantitatives. Le défi réside dans le choix d'analyse de ces données car les patterns d'exploration peuvent être très similaires et le principal écueil concerne le découpage des aires d'intérêt.

Dans les débuts de l'utilisation de cette technique pour l'exploration des visages, qui concerne les études avant 2005, le visage était découpé grossièrement suivant ses caractéristiques principales.

Par exemple, Luria et Strauus (1978) étudièrent les différentes aires d'intérêts des visages en le découpant en carrés ou triangles contenant les yeux, le nez, la bouche et les oreilles. Ce découpage arbitraire entraînaient des analyses approximatives : les fixations sur le menton étaient comptées bouche et celles sur le front : yeux, ect…Même lorsque les zones d'intérêts étaient créées selon les repères anatomiques, le découpage restait grossier (figure 32), induisant notamment des analyses aléatoires concernant les fixations infraorbitales: qui en fonction de l'individu et de son anatomie, vont être retenues comme des fixations d'intérêt pour les joues alors que l'attention était préférentiellement portée aux yeux ou au nez.

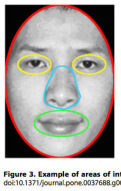
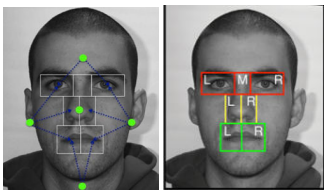


Figure 3. Example of areas of interest (AOI) plots.
doi:10.1371/journal.pone.0037688.g003



(Fu et al., 2012)



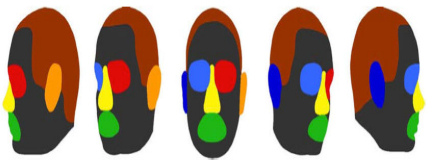
(Caldara et al., 2010)



Figure 1. The circles delimit the regions of interest (ROIs), and the asterisks show the points coded for each feature.

(Arizpe, Kravitz, Yovel, & Baker, 2012)

(Buchan, Paré, & Munhall, 2007)



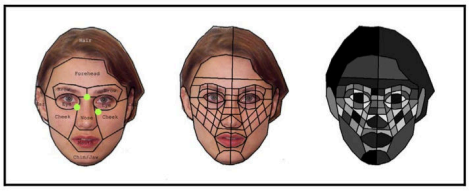


Figure 2. Examples of different parsing methods. To the left: a natural parsing based on the anatomy of the face. Middle: an elaborated parsing based on the natural parsing. Right: Matlab readable elaborated parsing. The green dots indicate problematic border fixations.

(Bindemann et al., 2009)

Figure 27: Exemples de decoupages des ROI : Region Of Interest

La segmentation des stimuli en ROI (Region of Interest) présentée dans les tâches en eye tracking est obligatoirement contraint par des évaluations subjectives qui ne peuvent être superposables entre études, ce qui est par définition problématique d'un point de vue scientifique car rend impossible la réplication des procédures. De ce fait, il existe lorsqu'on étudie la littérature, d'importantes différences entre ce que certaines études définissent comme la zone d'intérêt des yeux, et celle définies avec le même label par d'autres équipes (Barton et al., 2006; J. M. Henderson et al., 2005; Orban de Xivry et al., 2008). Les mêmes difficultés sont retrouvées lors de la présentation et le traitement de tout autre stimulus visuel.

En règle générale, les caractéristiques physiques de l'objet guident le découpage des ROI, ce qui ne paraît pas toujours le plus approprié quand on cherche à évaluer les zones d'attraction/ d'intérêt des scènes ou objets présentés. Par ailleurs, on est contraint de constater que les différents résultats ont été rapportés chez l'adulte typique avec seulement très peu de travaux s'intéressant aux enfants typiques. La littérature en eye tracking s'intéressant aux parcours d'exploration des enfants se confond à la littérature de description des population contrôles d'enfants présentant un trouble. Une étude en Eye tracking a exploré le décours développementale du pattern de fixation auprès d'enfants de 3 à 12 ans (Hernandez et al., 2009).

Par contre la littérature commence à être importante concernant l'évaluation des nouveaux-nés permettant de mettre en évidence des changements très précoces des activités d'exploration sans parler encore de pattern, puisque les études s'intéressent principalement aux premières fixations dans une zone définie ou temps total des visages par les nouveaux nés. Ces modifications semblent intervenir dès les premières semaines de vie et surtout entre 6 mois et 11 mois.

Pour conclure, on retrouve un certaine **unanimité concernant les zones d'intérêt prioritaires lors de l'exploration des visages qui concernent: la zone élargie des yeux avec la zone privilégiée pour la première fixation sur la zone infraorbitale Gauche de l'image** pouvant correspondre au COG : Centre de gravité géométrique du visage. L'importance de la bouche varie en fonction du type de stimuli. La question de la séquence n'est pas tranchée. La majorité des études concerne des tâches de reconnaissance ou de genre et peu d'étude d'exploration libre.

Demeurent des écueils importants résidant dans la méthode d'analyse avec la construction de zones d'intérêt à priori malgré l'émergence depuis 3 ans de nouvelles méthodologies s'appuyant sur les constructions cartographiques utilisés en IRM pour l'analyse à postériori de la dispersion des points de fixations.

Ces différents résultats ont été rapportés chez l'adulte typique avec seulement très peu de travaux s'intéressant aux enfants typiques, la littérature en eye tracking s'intéressant aux parcours d'exploration des enfants se confond à la littérature de description des population contrôles d'enfants présentant un trouble.

4- Oculomotricité et autisme

4-1 Particularités générales

La littérature n'est pas consensuelle en ce qui concerne les particularités générales de fixation et les indices oculométriques dans la population de TSA. Une étude évaluant 34 enfants avec TSA a retrouvé que 85% avaient des « fixations saccadiques » à la place de mouvements de poursuite régulière, 28 montraient des réponses OKN (nystagmus optokinétique) et 3 enfants n'avaient montré aucune réponse oculomotrice pendant la fixation d'une cible sur une autre série (Scharre & Creedon, 1992).

Une étude a mis en évidence des anomalies significatives de la fonction oculomotrice dans les TSA comparativement au développement typique, en étudiant les saccades oculaires (Goldberg et al., 2002). Selon ces auteurs, plusieurs régions cérébrales dont certaines semblent affectées dans l'autisme seraient impliquées telles que le cortex préfrontal dorsolatéral, les aires visuelles frontales, les ganglions de la base et les lobes pariétaux. Des résultats sont en faveur d'anomalies saccadiques, d'une plus grande variabilité dans la précision des saccades, et d'une hypométrie saccadique légère chez ceux sans retard de développement du langage (Takarae, Minshew, Luna, Krisky, & Sweeney, 2004). Simmons et coll (2009) ont permis de relativiser ces résultats en rappelant que l'étude simultanée de l'oculomotricité et la réalisation de tâches attentionnelles chez des sujets autistes avait conclu en une différence entre TSA et témoins existant uniquement pour les taches attentionnelles et non pour les paramètres oculomoteurs.

4-2 Traitement perceptif visuel atypique

Le traitement perceptif visuel dans l'autisme est actuellement considéré par de nombreux auteurs comme atypique sans pour autant être déficitaire. En effet, certaines études rapportent des particularités dans la perception visuelle d'un point de vue général, non spécifiques aux visages. Plusieurs études ont rapporté que les sujets avec TSA étaient plus sensibles aux stimuli non sociaux locaux que les sujets témoins (Behrmann et al., 2006; Rinehart, Bradshaw, Moss, Brereton, & Tonge, 2000; 2001). Cependant, d'autres travaux n'ont pas mis en évidence de plus grande sensibilité pour l'information visuelle locale chez les sujets avec autisme comparativement aux sujets témoins (Deruelle et al., 2004; Edgin & Pennington, 2005; Mottron, Belleville, & Ménard, 1999a; Mottron, Burack, Iarocci, Belleville, & Enns, 2003; Mottron, Burack, Stauder, & Robaey, 1999b; Rondan & Deruelle, 2007).

Enfin, une étude a montré que la priorité envers l'information locale chez les enfants avec TSA dépendait des consignes données. Sans instruction celle-ci est retrouvée, mais elle ne l'est plus en cas de tâche d'attention sélective (c'est-à-dire en demandant au sujet si le stimulus se situe à un niveau local ou global (Plaisted, Swettenham, & Rees, 1999). Pour ces auteurs, la problématique des individus avec TSA naîtrait dans la difficulté à changer de niveau d'attention spatiale (local à global).

Certains modèles cognitifs ont tenté d'expliquer le dysfonctionnement social et plus généralement les particularités de traitement de l'information dans l'autisme par un surfonctionnement en perception dans cette pathologie. Ces modèles reposent sur l'hypothèse d'un traitement perceptif local supérieur dans l'autisme comparativement aux sujets au développement typique. Trois modèles cognitifs ont ainsi proposé d'expliquer le surfonctionnement en perception dans l'autisme : le modèle de la faiblesse de la cohérence centrale, le modèle de généralisation réduite, le modèle de surfonctionnement perceptif. Les résultats communs de ces différents travaux notamment les résultats supérieurs dans des tâches proposant d'extraire les détails du stimulus (traitement local) du contexte global : cubes de Khos puzzles, détection de figures imbriquées (Shah & Frith, 1993) ont abouti à l'hypothèse de l'utilisation préférentielle d'un mode de traitement de l'information basé sur l'analyse des propriétés physiques élémentaires des stimuli (Mottron, 2004b). Mottron a pu ainsi parler de « style cognitif particulier » (biais du local sur le global) plutôt que de réels déficits sensoriels, style cognitif qui pourrait être observé chez des apparentés sains d'individus avec autisme (Happé, 1995).

IIB: Travaux expérimentaux en Eye Tracking

1- Objectifs

Chez le sujet au développement typique le traitement et la perception des visages font appel à des processus particuliers tels qu'un niveau d'expertise élevé, ainsi qu'une stratégie holistique. Nous supposons donc que ces particularités du traitement des visages vont se ressentir au niveau du comportement visuel exploratoire.

A l'inverse, l'absence d'expertise et de stratégie holistique chez les sujets atteints d'autisme devraient se manifester par un comportement oculaire différent de celui des sujets témoins.

Nous supposons que l'exploration d'un visage répondra à une stratégie précise relative au traitement spécifique dont les visages font l'objet chez le sujet typique, à savoir un pattern d'exploration automatique et structuré dans le temps et dans l'espace.

A l'inverse, étant donné les particularités de développement de l'expertise et des particularités de traitement des visages chez les sujets avec TSA nous supposons que la stratégie utilisée par ces sujets sera atypique comparée aux sujets témoins et ce quel que soit l'âge du sujet.

Pour valider ou invalider cette hypothèse nous allons mesurer et décrire précisément un ensemble de paramètres permettant d'évaluer cette stratégie. Tout d'abord nous allons nous intéresser aux traits internes de fixations privilégiées et au décours temporel de l'attention sur ces zones de prédilection. Nous allons donc également nous intéresser à l'ordre d'exploration des différentes parties du visage afin de mettre en évidence un éventuel parcours préférentiel et donc une stratégie d'exploration commune à l'exploration de tous les visages.

Au-delà de cet objectif principal, nous avons souhaité évaluer plusieurs objectifs secondaires.

Objectif 2: Répondre aux Biais méthodologiques, en validant la nécessité d'une analyse à posteriori des pattern d'exploration et une construction objective des ROI : Regions of Interests sur les visages

Objectif 3: Evaluer la préférence pour les visages et la région des yeux

Nous supposons que le comportement visuel exploratoire des sujets typiques sera cohérent avec les données de la littérature et se manifestera par une préférence pour les visages et pour les zones pertinentes du visage (Bruce & Young, 1986) telles que les yeux (Kleinke, 1986; Vecera & Johnson, 1995; Emery, 2000). A l'inverse, nous supposons que les sujets avec TSA manifesteront moins d'intérêt aux visages proportionnellement à leur temps passé sur les images et des zones pertinentes du visage comme par exemple les yeux et nous interrogerons leur préférence pour des régions comme la bouche.

Nous interrogerons les corrélations entre le marqueur biophysique « phénotype social : « temps total passé sur les yeux » et les marqueurs cliniques « scores aux différentes échelles cliniques évaluant les compétences d'interactions sociales ».

Objectif 4: Evaluer le Biais perceptif visuel Gauche.

Nous supposons que l'exploration des visages rend compte du phénomène de biais perceptif visuel gauche (BVG) et cela indépendamment du type du visage et de l'âge du sujet. Nous interrogerons la présence ou l'absence de ce biais perceptif dans la population des sujets avec TSA.

Objectif 5: Interroger le développement de l'expertise : l'effet développemental

Nous supposons que la stratégie oculaire qui se dégagera de cette étude évoluera au cours du développement en raison de la mise en place d'un système d'expertise chez le sujet. A l'inverse, chez les sujets avec TSA, en raison de l'absence d'expertise envers les visages habituellement rapportée, nous supposons que l'évolution du comportement oculaire au cours du développement sera différente de celle des sujets témoins.

Pour valider ou invalider cette hypothèse, nous allons étudier l'ensemble des paramètres précédemment cités (temps passé sur les visages, séquence d'exploration,...) au cours du développement chez le sujet sain et avec autisme.

Objectif 6: Les avatars et les robots comme intermédiaires entre le visage et l'objet : effet de la virtualisation

Etant donné la préférence envers les objets présente chez les sujets avec autisme, nous supposons que leurs compétences peuvent être améliorées en proposant un visage humanoïde intermédiaire entre l'objet et le visage. Nous supposons que cet hybride sera assimilé à un visage chez les sujets sains, et permettra d'augmenter l'attention accordée aux zones pertinentes du visage chez les sujets avec autisme,

Objectif 7: Les animaux comme stimuli social non humains : évaluer l'effet de l'espèce

Nous supposons que l'effet d'expérience et l'automatisation des patterns d'exploration avec l'âge chez les sujets typiques s'étendent à d'autres espèces hautement sociales comme les visages de chiens et visages de singe. Nous étudierons les patterns d'exploration des visages d'animaux chez les sujets typiques et présentant un TSA.

Objectif 8: Evaluer l'effet de la familiarité

Etant donné l'incidence de la familiarité sur les stratégies d'exploration chez l'adulte sain, nous supposons que les patterns d'exploration des visages personnellement hyperfamiliers seront différents des patterns d'exploration automatique avec un désengagement plus rapide des zones de prédilection.

Nous interrogerons l'incidence de la familiarité sur le pattern de fixation des sujets avec TSA afin d'évaluer la pertinence de l'utilisation de ce type de stimuli dans le cadre d'intervention de remédiation.

Objectif 9: Effet du genre chez l'adulte ?

Enfin compte tenu des différences existant entre les genres lors du traitement et de la reconnaissance des visages et des résultats paradoxaux de la littérature sur le sujet nous supposons que les sujets féminins et masculins adultes au développement typique obtiendront des performances différentes lors de l'exploration des visages.

En résumé : le design de l'étude était :

1) d'évaluer les patterns spécifiques d'exploration des visages dans la population au développement typique afin de la comparer à la population clinique
2) d'évaluer secondairement le poids de la valence sociale du stimuli visage dans ces 2 populations.

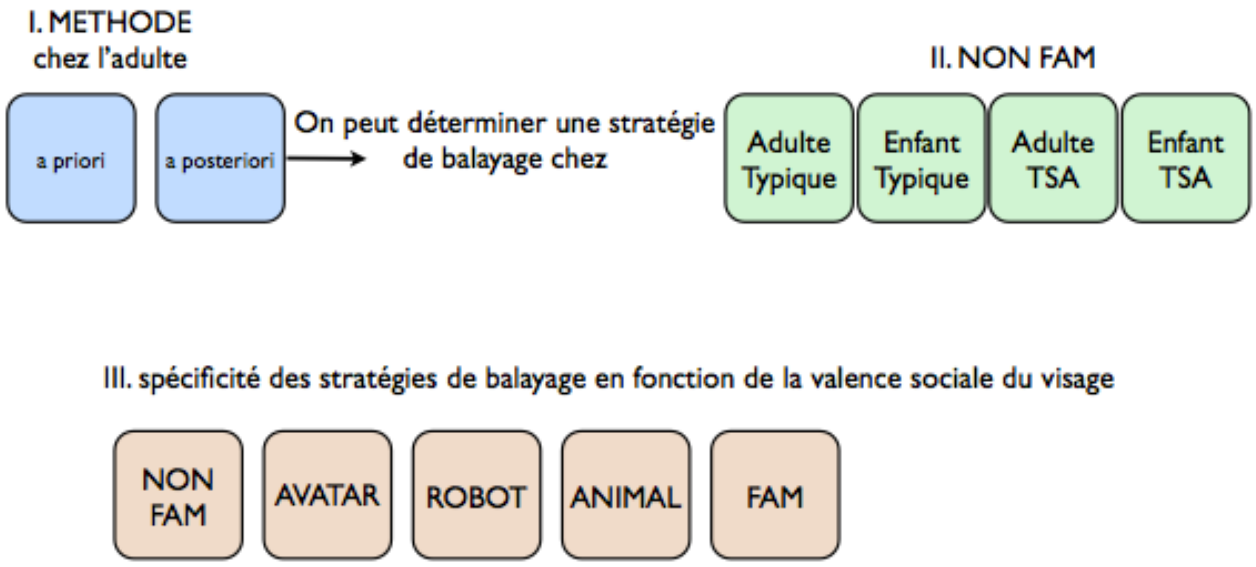


Figure 28: Schéma méthodologique étude 2 en Ey etracking

Le protocole a été approuvé par le comité d'éthique le 24 Févier 2010 (numéro d'enregistrement: 2009-A00014-35, CPP n°2010/08).

2- Materiel & Méthodes

2-1 Les participants de la recherche

2-1-1- Sujets au développement typique:

40 sujets au développement typique, soit 26 adultes et 14 enfants ont participé à la recherche.

Les sujets adultes ont été séparés en 2 groupes en fonction du genre. Le recrutement a eu lieu au sein des équipes de recherche de l'INCIA (Institut de Neurosciences Intégratives d'Aquitaine).

Les enfants étaient tous scolarisés dans le cursus classique

Les critères d'inclusions étaient :

- Enfants : Age compris entre 8 et 17 ans.
- Adultes : Age >18 ans.
- une vision normale ou corrigée
- absence d'antécédents de troubles neurologiques ou psychiatriques connus
- absence de prise médicamenteuse concomitante
- consentement éclairé après lettre d'information donnée aux parents ou représentants légaux et aux sujets adultes et enfants enfants

La dominance oculaire a été déterminée pour chaque sujet par le test de la carte percée de Dolman (Pointer, 2001; Rice et al. 2008; Hernandez et al, 2009 ; Ehrenstein et al. 2005)

Dans l'échantillon adulte : 18 sujets sur 26 adultes soit **70%** ont une dominance oculaire droite,

Dans l'échantillon enfant : 10 sujets sur 13 ont une dominance oculaire droite, soit **71**%, le groupe contenait 3 filles.

2-1-2- Sujets avec TSA

27 sujets avec TSA soit 13 adultes et 14 enfants, ont participé à cette recherche.

Le recrutement a eu lieu au Centre Ressource Autisme Aquitaine, Pôle de Pédopsychiatrie Universitaire, Hôpital Charles Perrens, BORDEAUX.

Le diagnostic de TSA sans déficience intellectuelle était établi à partir des critères du DSM IV-TR (American Psychiatric Association, 2000) et après une évaluation pluridisciplinaire (bilan développemental, psychiatrique, psychologique, orthophonique, neurologique et pédiatrique). Notamment pour notre recherche, nous avons retenu les résultats des scores de l'ADI-R (Autism Diagnostic Interview-Revised) et de l'ADOS (Autism Diagnostic Observation Schedule) et plus spécifiquement les sous-scores d'anomalies des interactions sociales réciproques de ces 2 outils.

- ADI-R, score d'anomalies des Interactions Sociales Réciproques (seuil à 10)

- ADOS, score total et sous score d'interaction sociale des modules 3 pour enfants et module 4 pour les adultes (seuil à 3)

L 'Autism Diagnostic Interview Revised (ADI-R (Lord et al., 1994)**)** est un entretien semi-structuré, outil d'aide au diagnostic recommandé par la HAS, qui évalue à partir d'informations données par les parents les domaines habituellement perturbés dans les TSA sur les aires de la Communication, la Socialisation et les Intérêts et Comportements restreints. Sa traduction et son adaptation française ont été mises au point par Fombonne et Roger (1996). Le sous-score « Anomalies des Interactions Sociales Reciproques » permet de quantifier un score d'anomalies des comportements sociaux rapportés par l'entourage.

L'ADOS (Lord et al., 2002) est un outil standard de référence dans la pratique du diagnostic des TSA utilisé conjointement à l'ADI-R (HAS, 2010). Il s'agit d'un protocole d'observation semi-structuré par des activités ayant pour but la création d'une situation socio-interactive. Les observations effectuées seront côtées pour chacun des domaines suivant: la communication, les interactions sociales réciproques, le jeu, l'imagination et les comportements répétitifs. Le protocole d'administration dépend de deux critères à savoir l'âge chronologique et le niveau de langage. La passation est vidéoscopée et s'étend entre 30 à 45 minutes. Le sous-score d'anomalie des Interactions sociales observables pendant cet entretien a été retenu comme second critère clinique des compétences sociales pour notre étude.

L'adaptation sociale a été évaluée par l'intermédiaire de l'échelle de Vineland (Sparrow, Balla et Cicchetti, 1984).

Cette échelle d'évaluation des comportements socio-adaptatifs permet une évaluation multidimensionnelle des acquis et des dysfonctionnements dans la vie quotidienne. Quatre domaines sont évalués dans la Vineland. Les critères d'évaluation portent sur les savoirs et savoir-faire relatifs aux normes, aux conventions et aux scripts plus ou moins ritualisés qui régissent et contrôlent la vie sociale dans ses différents aspects: la communication, la socialisation, l'autonomie dans la vie quotidienne et la motricité. Cette échelle vise l'obtention d'une note standard ou d'un âge de développement dans ces quatre domaines.

Le sous-score « socialisation » a été retenu dans le cadre de cette étude comme troisième variable clinique représentative des comportements sociaux dans la population clinique, ce troisième score rend compte du processus adaptatif s'il existe et non des anomalies des comportements sociaux comme les 2 premiers cités plus haut.

L'efficience cognitive a été évaluée par l'intermédiaire du WISC IV *(Wechsler Intelligence Scale for Children, 4e édition, David Wechsler)* **dans la population d'enfants et la WAIS** (*Wechsler Adult Intelligence Scale, David Wechsler)* **dans la population d'adultes**.

Description population d'étude (Tableau 4):

Dans l'échantillon d'adultes, 6 sujets présentaient le diagnostic de Syndrome Autistique et 7 sujets présentaient le diagnostic de Syndrome d'Asperger. L'échantillon adulte contenait 1 femme. La moyenne d'âge est de 23,8 ans +-3,6 (19-29). Le QI total moyen est de 101,8 (écart type:16,9) ; le score moyen au sous-score Interaction Sociale de l'ADI-R est de 16,5 (+-2,5), le score moyen total à l'ADOS est de 7 (+-4,5), le sous-score interaction sociale moyen de l'ADOS est de 5+-2,5. Dix sujets sur 13 présentaient une dominance oculaire droite, soit : **77%**.

Dans l'échantillon d'enfants, 8 enfants présentaient le diagnostic de Syndrome Autistique et 6 sujets présentaient le diagnostic de syndrome d'Asperger. La moyenne d'âge est de 11,3 ans ±2.3 (8-16). L'échantillon contenait 3 filles.

Le QI total moyen est de 89+-5; les score moyen au sous-score Interaction Sociale est de 17,1(±5,07), le score moyen tot à l'ADOS est de 8,6 (+- 3), le sous score interaction sociale moyen de l'ADOS est de 6,2 (+-2,3). Dix sujets sur 14 présentant une dominance oculaire droite, soit : **71%.**

Les critères d'inclusions étaient:

- TSA sans déficience intellectuelle (QIT >75) posé selon les critères DSM-IVTR
- Enfants : Age compris entre 8 et 17 ans.
- Adultes : Age >18 ans.
- une vision normale ou corrigée
- absence de prise médicamenteuse concomittante
- consentement éclairé après lettre d'information donnée aux parents ou représentants légaux et aux sujets adultes et enfants

Tableau 4 : Tableau de population étude en Eye tracking

Group	Adultes (femmes)	Adultes (hommes)	Enfants Typiques	TSA Adultes	TSA Enfants
N	13	13	14	13	14
Sexe Feminin	13	0	3	1	3
Age (ans)	28,7 (4,2/ 22-32)	25,4 (3,91/ 19-30)	11,6 (2,2/8-15)	23,8 (3,6/19-29)	11.3 (2.1/ 8-15)
ADI-R (Social interaction)	NA	NA	NA	16,5 (2,5)	17,1 (5,07)
ADOS total	NA	NA	NA	7 (4,5)	8,6 (3)
ADOS (Social Interaction)				5 (2,5)	6,2 (2,3)
Vinelande (Socialisation)	NA	NA	NA	NA	5,6 (1.0)
QI total	NA	NA	NA	101,8 (16,9)	89 (5)
Dominance oculaire Droite	8	9	10	10	9

29

2-2 Procédure

L'évaluation s'est déroulée en 2 temps pour chaque participant:

- Entretien avec le sujet et passation des échelles, présentation du protocole et demande de consentement éclairé. Séance de photographie des sujets et de leur mère ou hyperfamilier.
- Passation de la tâche d'oculomotricité à l'aide du dispositif en Eye Tracking, R6, ETS-PC Eye Tracking Sytem, d' « Applied Science Laboratories » (ASL, Bedford, MA) ASL Series 5000, via le logiciel « EYENAL » ASL.

2-2-1-L'Eye Tracking

L'évaluation du pattern de fixation s'est déroulée sur la plateforme d'analyse du Mouvement de l'Institut de Neurosciences Cognitives et Intégratives d'Aquitaine, Bordeaux.

Le matériel d'eye-tracking ETS-PC Eye Tracking Sytems, ASL Series 5000 utlisé pour cette étude est constitué d'une caméra munie d'un anneau de diodes émettant une radiation infrarouge d'une longueur d'onde de 875 nm (longueur d'onde établie à partir des normes internationales d'exposition définies par l'International Electrotechnical Commission (IEC, 2001). La technique utilisée par cet appareil est la technique du reflet cornéen. La lumière infrarouge émise par les diodes va permettre d'illuminer les pupilles du sujet et la caméra sensible à l'infrarouge va être capable de capter le reflet de l'illumination des pupilles. Ainsi la position, l'orientation de la tête, la direction du regard et la poursuite oculaire sont mesurées en temps réel par le système de suivi du regard. La capture de la direction du regard s'effectue grâce à la position de l'image pupillaire en mouvement par rapport à une référence fixe constituée par le reflet cornéeen. Un «cale-menton» installé sur une table permet d'assurer la précision des coordonnées de fixation.



Figure 29 : Eye tracker, Technique du reflet cornéen

2-2-2- Calibration :

La calibration constitue la seule étape nécessitant la coopération du sujet. Sur un écran, avec fond vert, neuf cibles jaunes sont projetées. Le sujet reçoit comme consigne de fixer chaque cible l'une après l'autre. La disposition des cibles permet un balayage complet de l'écran (Figure 36).

A l'issue de cette calibration, une estimation de la précision de la poursuite oculaire est obtenue avec un degré d'erreur pour chaque œil. Ainsi, toute calibration ayant un degré d'erreur inférieur à 2° (par rapport à la position des cibles sur l'écran) est considérée comme acceptable. Cette étape nécessite quelques secondes (environ 20s) mais peut être répétée (en général une à deux fois) jusqu'à obtention d'un degré d'erreur inférieur à 2°. La présentation des stimuli sur l'écran est synchronisée avec l'enregistrement simultané du parcours oculaire effectué par le sujet. La quantification du comportement oculaire est réalisée avec un logiciel développé sous Matlab (Face Explorer).

La position du regard (dans un repère orthonormé dont l'origine est située dans le coin en haut à gauche de l'écran : Figure 36) est établie toutes les 100 ms, et si cette position reste inchangée et ne devie pas de plus d'1 degré, le point est considéré comme un point de fixation, en accord avec les recommandations d'ASL.

Un contrôle est effectué à la fin de chaque session avec enregistrement du parcours sur la mire de calibration pour estimer la stabilité des enregistrements en repère orthonormé.

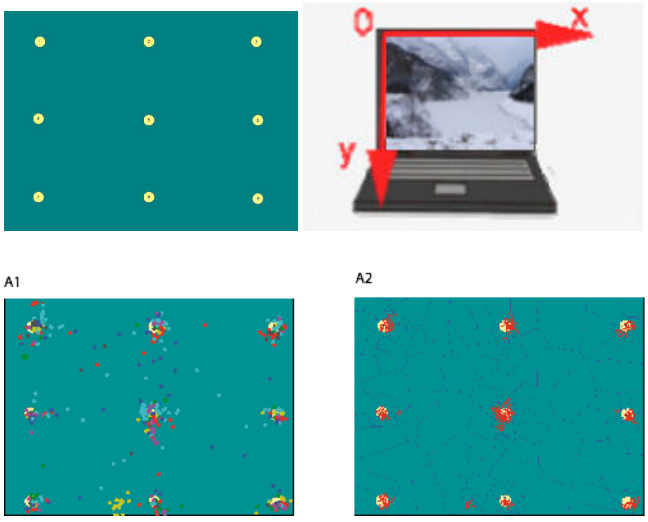


Figure 30: Calibration

2-2-3- Stimuli

Les stimuli utilisés étaient constitués de trois séries de 20 photographies dont la présentation était séparée d'une courte pause de 2 min, présentées au sujets lors d'une seule séance sur un écran de résolution 1024/768; 60Hz.

La durée de présentation est de 5s par image séparées par une image d'écran noir de 500 ms. L'ordre de présentation des images et l'ordre de succession des 3 séries est randomisé. Les photographies des séries sont identiques pour tous les participants hormis les 4 photographies propres à chaque participant (2 photographies de soi et 2 photographies de la mère de l'enfant ou de l'hyperfamilier de l'adulte).La durée totale d'installation et de passation de la tâche n'a pas excédé 40 minutes par sujet.

Le temps de présentation des stimuli (5s) a été déterminé par une étude pilote effectuée chez 9 enfants avec TSA et 9 enfants au développement typique de façon à laisser aux sujets suffisamment de temps pour explorer l'ensemble de l'image, sans que ne soient individualisé trop de retours sur zone et sans pour autant dépasser un délai de 5s, au delà duquel l'exposition à un visage ayant le regard direct pourrait être interprété comme une expression de dominance ou d'agression et s'avérer aversif (Brooks *et al.*, 1986). Ce temps de présentation a été choisi en cohérence avec la littérature (Hernandez, 2008).

La consigne donnée a été: «Je te demande d'observer simplement les images qui vont défiler sur l'écran ».

Les photographies ont été prises soit par un photographe pour l'échantillon adulte et les enfants au développement typique, soit par l'expérimentateur pour les groupes avec TSA.

Caractéristiques des stimuli visages:

- Image de face
- Expression neutre
- Couleur
- Fond neutre
- Retouche par Photoshop et Graphic converter pour harmoniser les contrastes et couleurs.

Les **60 images** qui constituaient les 3 séries étaient composées de:

- **22 photographies de visages d'enfants et d'adultes non familiers**, choisies dans un pool de 60 images de visages d'hommes et de femmes, enfants et adultes, neutres, de faces en couleurs selon le critères de choix: absence de marques exterieur de distinction (cicatrices, percing, boucles d'oreilles, coiffure…)
- **4 photographies de visages hyperfamiliers** (2 photographies du sujet et 2 photographies de la mère ou d'un hyperfamilier pour les adultes: collègue travaillant dans le même bureaux depuis plus de 2 ans ou conjoint).
- **4 photographies de Robots** connus comme partenaires sociaux
- **4 photographies d'Avatar**s issus de jeux vidéo.
- **4 photographies d'Animaux** (1 Singe, 2 Chiens, 1Chat)
- **4 photographies de Paysages**
- **18 photographies de scènes sociales** de contenu emotionnellement positif ou neutre issues du set: "Lda emotion cards": Carson Dellosa Publishing.

Il 'a pas été retrouvé d'effet d'ordre de la présentation sur 9 sujets tests, lors d'une étude pilote avec le même protocole.

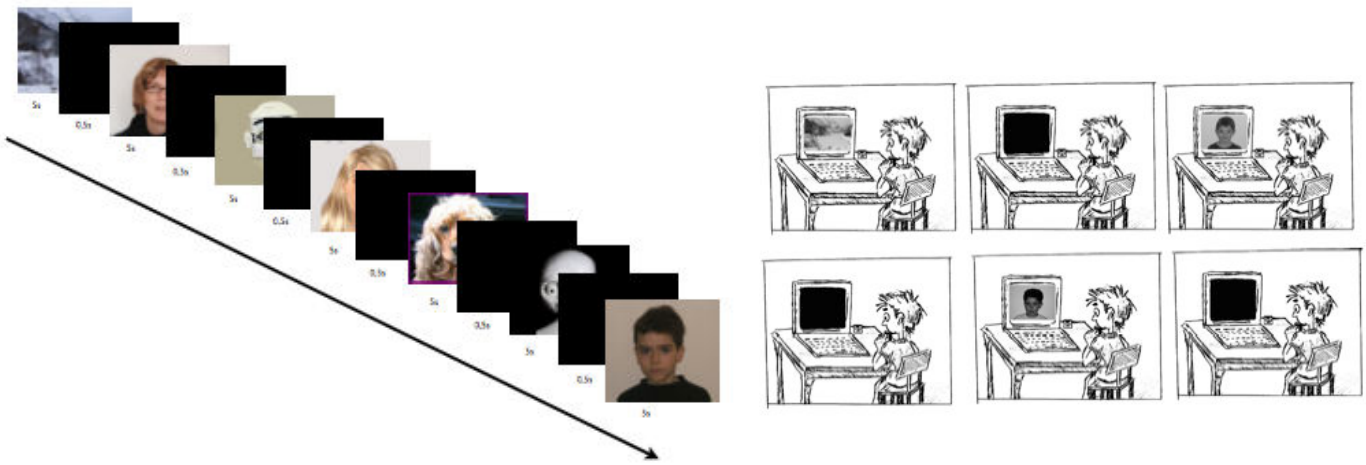


Figure 31: Procédure

3- Gestion et analyse des données

3.1. Gestion des données

L'ensemble des données (images et résultats test) recueillies a été reporté dans un cahier d'observation et codé afin de préserver l'anonymat des patients et des sujets au développement typique.

3.2 Analyse des données

Nous avons développé 2 approches différentes pour l'analyse des données afin de répondre aux biais méthodologiques retrouvés dans la littérature concernant la construction des ROI pour l'analyse des trajectoires d'exploration.

3-2-1 La constitution du prototype/avatar des visages

En collaboration avec E, Guillaud ingénieur de recheche INCIA, nous avons développé une méthode originale d'analyse sous MatLAb.

Afin dans un premier temps d'harmoniser la création des ROI (Regions of Interests ou Aires d'Intérêts en Francais) entre stimuli, un avatar de visage a été créé par normalisation spatiale de l'ensemble des stimuli visages présentés. Chaque stimuli image visage reçoit un premier traitement pendant lequel, sont enregistrés les repères anatomiques qui le constituent : tragus oreilles, pupille gauche et droite, nez, commissures labiales et menton. Ce traitement permet donc d'obtenir un « prototype » de visages par normalisation homothétique. Ce prototype peut alors se voir appliquer l'ensemble des ordonnées des points de fixations du sujet afin d'obtenir une analyse homogène des fixations et comparable d'un visage à l'autre.

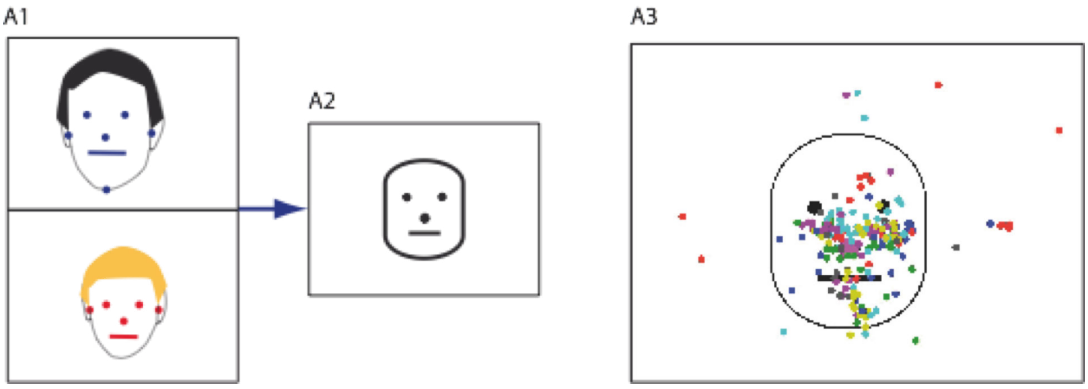


Figure 32: Constitution de l'avatar

Les paramètres retenus pour l'analyse sont:

- **Nombre de fixations**
- **Temps total des fixations**
- **Délais de la première fixation dans une ROI**
- **Diamètre pupillaire**

Les temps où les fixations n'étaient pas enregistrées correspondent aux saccades, clignements et temps passé en dehors de l'écran.

3-2-2 La méthode a priori

En cohérence avec la plupart des protocoles d'analyse de données d'exploration des visages en eye tracking **5 ROI : Region Of Interests ont été secondairement élaborées à priori.**

Les 5 ROI créés sur le prototype visage, correspondant aux zones les plus pertinentes d'après la littérature (Arizpe et al., 2012) (Voir Figure 39 pour les Zones d'intérêts).

- Oeil droit (OD): Right Eye
- Oeil gauche (OG): Left eye
- Bouche (B): Mouth
- Visage (Face): autres parties du visage non contenues dans les 3 premières ROI : face
- En dehors du visage: Out of face

3-2-3 La méthode a posteriori : méthodes en statistiques spatiales

Dans un second temps et afin de limiter les biais méthodologiques d'analyse retrouvés dans la littérature, nous avons appliqué une méthodologie d'analyse de statistiques spatiales à la distribution des points de fixation sur le prototype visage,

Nous avons identifié la présence de cluster statistiquement significativement dans la distribution des points de fixation par l'intermédiaire de la méthode de Tesselation de Dirichlet (ou Voronoi). Pour cette procédure, le visage a été séparé en 3 grandes ROI : Œil Droit, Œil Gauche et Bouche. Il est à noter que ces ROI ne sont plus centrées sur les points de références anatomiques (pupils, bouche). Seules les fixations correspondant aux clusters statistiquement significatifs étaient conservées pour l'analyse.

Dans un maillage de point (X) un polygone contenant un point de fixation (p) est dessiné au plus proche de ce point que d'aucun autre point de X (Duyckaerts & Godefroy, 2000). Ainsi pour des points très regroupés, les mailles associées sont très petites.

Des regroupements (clusters) statistiquement significatifs sont identifiés en comparant la taille des polygones de Dirichlet du patron de données à la taille des mailles obtenues dans un jeu de données comparable (données de substitution) mais dont les points auraient été répartis au hasard dans l'espace X en utilisant un algorithme d'échantillonnage en quadrature.

Dans la mesure où le logarithme de la taille des mailles de substitution, se rapproche d'une distribution normale, l'estimation de l'intervalle de confiance à 95 % pour le logarithme de la taille des mailles du jeu de données théoriques peut se calculer à partir de 10 itérations successives sur le jeu de données de substitution.

Dans notre jeu de données réelles, les points associés à des mailles de Dirichlet dont la transformation logarithmique de la taille était plus petite que les 95 % de l'intervalle de confiance du jeu de données de substitution étaient considérés comme des fixations significatives. Toutes ces analyses étaient réalisées à l'aide du module spatial de MatLab. La Figure 36 illustre la méthode en prenant la carte de calibration comme exemple. Dans ce cas, les sujets adultes avaient pour consigne de regarder successivement les différents numéros sur l'écran. L'analyse des points de regroupement indique que le regard était centré sur les points même si les sujets pouvaient partiellement explorer quelques autres zones de l'image au voisinage de chaque point.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS (IBM). Les valeurs sont données dans le texte comme la moyenne ± l'erreur standard sauf spécification contraire et le seuil de significativité était à 5 %. Une analyse de variance (ANOVA) factorielle sur mesures répétées suivie d'un test de Tukey post-hoc ont été réalisés afin de comparer les groupes et les régions d'intérêt pour chaque variable étudié. Les comparaisons de moyenne ont été effectuées par des Test T de Student. L'homogénéité des variances était vérifiée par le test de Levenes.

4 Résultats

4-1 Comparaison de la méthode a priori et la méthode a postériori

Dans un premier temps, les 2 méthodes ont été comparées en utilisant les résultats de 13 adultes masculins au développement typique lors de l'exploration des 22 visages non familiers. L'ensemble des patterns de fixation sur le prototype de visage est présenté figure 38.

Dans la procédure d'analyse à priori, l'ensemble des fixations présentes dans les 5 ROI ont été analysées, par ROI disctincte, alors que seules les fixations qui avaient lieu dans les clusters de significativités étaient analysées dans la procédure a postériori et selon les 3 ROI.

Ce calcul a permis de mettre en évidence que le barycentre de la zone des yeux dans la procédure à posteriori était situé en dessous des pupilles et de la bouche.

La comparaison du nombre de fixation par ROI entre les 2 procédures révèle que même si la méthode à posteriori élimine une quantité de fixations non significatives, elle permet de sélectionner une quantité importante de fixation significative, faisant émerger un pattern de fixation. Cette méthode à posteriori procure plus de résultats statistiquement significatifs entre ROI que la méthode à priori (cf, Figure 39).

- le nombre de fixations s'est révélé statistiquement significativement plus élevé sur l'œil gauche que sur la Bouche, résultats qui n'était pas significatifs dans le cas de l'analyse à priori
- le délai de fixation a été retrouvé statistiquement plus long pour arriver sur la bouche que sur les yeux avec la méthode d'analyse à posteriori, à la différence des résultats avec l'analyse à priori.
- la méthode à posteriori permet de sélectionner les fixations statistiquement significatives sur les visages
- l'ordre de fixation a également permis de différencier statistiquement significativement l'œil Gauche et la bouche dans la méthode à posteriori, ce qui n'était pas possible avec la méthode à priori,

Pour conclure: La méthode à posteriori permet de définir des ROI dont le barycentre ne correspond pas au référentiel anatomique qui est à la base de la construction des ROI avec la méthode d'analyse à priori mais qui sont le résultat de l'exploration typique.

Les analyse à priori entraînent un biais méthodologique de subjectivité de l'expérimentateur qui empêche certains résultats d'être significatifs.

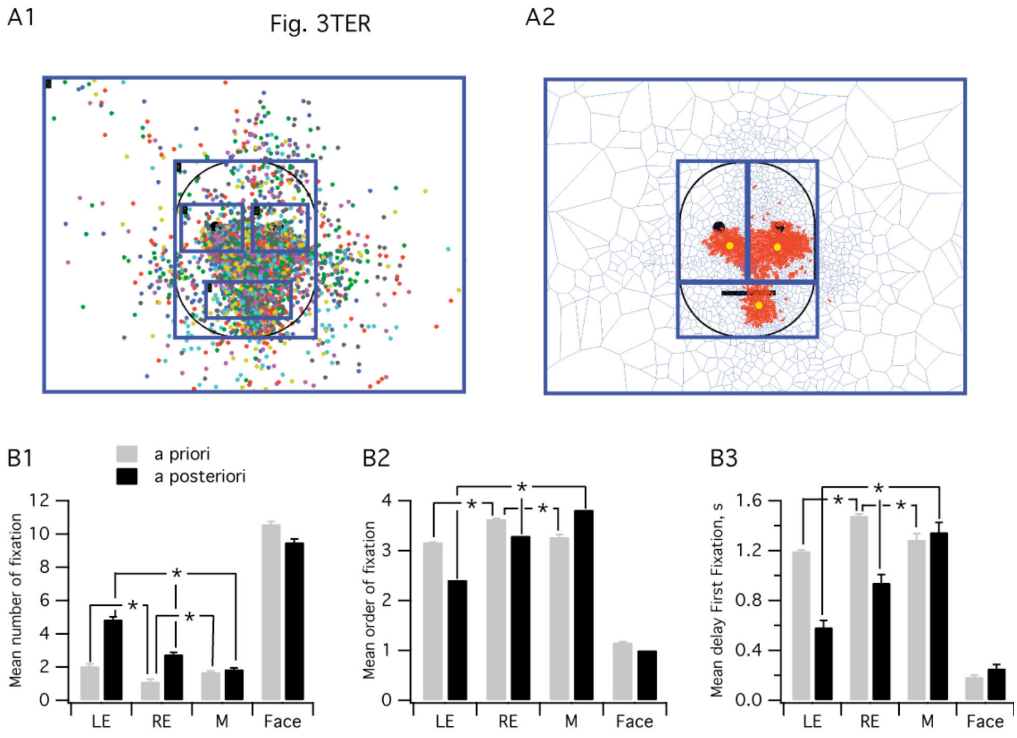


Figure 33 : Comparaison des 2 méthodes à priori et à posteriori

4-2 Caractéristiques globales de l'exploration des images (méthode à priori)

Les caractéristiques globales de l'exploration des images ont été déterminées par une analyse de l'ensemble des fixations.

Cinq variables ont été pré-selectionnées :

- **Temps total moyen passé par image (ms)**
- **Nombre moyen de fixation par images**
- **Diamètre pupillaire (px)**
- **Délais à la première fixation dans la ROI (ms)**
- **Durée moyenne des fixations (ms)**

Les caractéristiques globales des paramètres d'exploration montrent pour chacune de ces variables, des différences significatives entre les groupes d'adultes au développement typique et les 3 autres groupes.

Les adultes passent en moyenne significativement plus de temps sur les images que les enfants au développement typique et les 2 groupes de sujets présentant un TSA ($p<0,001$) et ils font en moyenne plus de fixations par image ($p<0,001$) $F(3,1077)=31,8$.

Le délai à la première fixation dans la zone image est en moyenne plus faible chez les adultes typiques que dans les autre groupes ($p<0,01$).

Le diamètre pupillaire est statistiquement plus élevé chez les adultes féminins au développement typique que dans les 4 autres groupes ($p<0,001$), et les enfants au développement typique ont significativement un diamètre pupillaire moyen inférieur aux autres groupes également ($p<0,01$). Les hommes adultes typiques ne diffèrent pas des sujets avec TSA (Enfants ou Adultes) concernant le diamètre pupillaire.

On ne retrouve pas de différences entre groupes concernant les durées moyennes de fixation.

Les 2 groupes avec TSA passent en moyenne significativement proportionnellement moins de temps sur les visages que les sujets adultes typiques ($p<0,01$) mais ne diffèrent pas des enfants typiques.

Le temps moyen passé sur les ROI (dépendant du nombre de fixation et de la durée des fixations) étaient significativement corrélé au nombre de fixations ($p>0,00$), c'est pourquoi nous avons retenu pour les analyses ultérieures la variable Temps moyen passés par ROI.

Tableau 5: Caractéristiques globales de fixations sur images

	ADL (F)	ADL (H)	E	TSA (A)	TSA (E)
N	13	13	14	13	14
TTot moy visage (s)	4.2 (0.06) *	4.1 (0.05) *	3.5 (0.07)	3.5 (0.07)	3.3 (0.08)
Delais 1er fixation (s)	0.06 (0.00) *	0.06 (0.00) *	0.2 (0.02)	0.2 (0.03)	0.3 (0.03)
Diamètre pupillaire (pixels)	50.3 (0.5) *	47 (0.4) *	43.2 (0.6) *	44.1 (0.6)	47.0 (0.8) *
N fixation	14.9 (0.2) *	13.9 (0.2) *	10 (0.2)	9.3 (0.2)	8.7 (0.2)
Durée fix (ms)	0.3 (0.00)	0.3 (0.00)	0.3 (0.01)	0.32 (0.00)	0.3 (0.00)
TTotmoy image (s)	4.8 (0.03) *	4.8 (0.02) *	4.4 (0.05)	4.5 (0.04)	4.3 (0.05)
% temps sur visage / image	87 % *	85 % *	80 %	77 %	77 %
% temps sur visage / 5s présentation	84%	82%	70%	70%	66%
TTol moyen ROI à posteriori et % du TTolmoy à priori	2,9 (0,03) 69%	2,9 (0,03) 70%	1,7 (0,02) 49%	1,6 (0,02) 46%	1,5 (0,03) 45%

Pour conclure en ce qui concerne les caractéristiques d'exploration:

- Les adultes au développement typique diffèrent des 3 autres groupes, car ils passent en moyenne plus de temps sur les images et la dispersion de leurs points de fixation est très faible. Le délai à la première fixation est plus rapide que l'ensemble des autres groupes. Ils regardent très peu en dehors des visages lorsqu'ils explorent les images (moins de 13% du temps passé sur les images).

- Le diamètre pupillaire est plus élevé chez les adultes féminins au développement typique que dans les 4 autres groupes, mais le diamètre pupillaire des adultes hommes ne différent pas des sujets avec TSA, enfants ou adultes.

- Le diamètre pupillaire des enfants typiques est lui plus faible que celui des enfants avec TSA.

4-3 Biais perceptif visuel Gauche

Rappel:

Pour notre analyse, nous avons défini Hémi visage Gauche, la partie du visage située dans le champs visuel Droit de l'observateur, soit l'hémi-visage gauche du visage observé.

Après avoir séparé chaque image en 2 parties, symétriques par rapport à l'axe vertical, l'analyse du temps passé sur l'hémi-visage Gauche et l'hémi-visage Droit a montré que sur les visages non familiers et les images de paysages:

Les adultes hommes typiques ($p<0,05$; $p<0,00$), les enfants typiques ($p<0,01$; $p<0,00$), les adultes avec TSA ($p<0,00$; $p<0,00$) et les enfants avec TSA ($p<0,01$; $p<0,00$) passent plus de temps à explorer l'hémi-visage Gauche, et ces groupes sauf les adultes avec TSA, ont également un délai de première fixation dans cet hémi-visage statistiquement inférieur.

Par contre, on ne retrouve pas de différence significative en terme de temps passé sur l'un ou l'autre des 2 hémi-visages chez les femmes adultes typiques.

L'analyse du pourcentage de la première fixation dans l'un et l'autre des hémi-visages ne permet pas de montrer de différence significative chez les adultes typiques hommes et femmes.

Il n'a pas non plus été retrouvé de corrélation statistique entre la dominance oculaire et l'hémi-visage regardé. Il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les hémi paysages.

Figure 34: Temps moyen par hémi visages (ms)

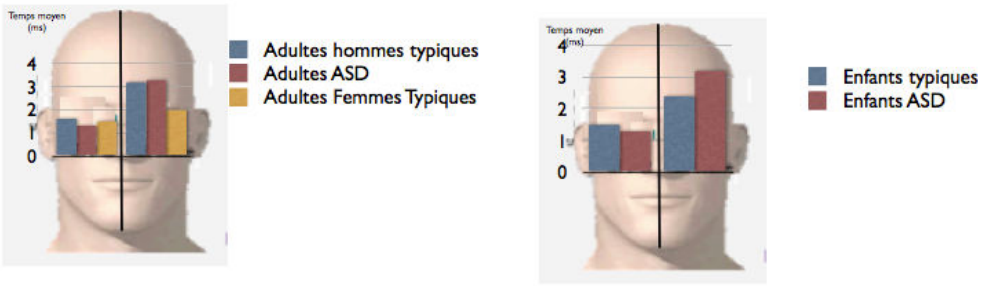


Tableau 5: Temps moyen et délai à la première fixation dans les 2 champs visuels.

	Typiques ADL (Hommes)		Typiques ADL (Femmes)		Typiques Enfants		TSA ADL		TSA Enfants	
	TTot moy (s)	Delai 1er fix (s)	TTot moy (s)	Delai 1er fix (s)	TTot moy (s)	Delai 1er fix (s)	TTot moy (s)	Delai 1er fix (s)	TTot moy (s)	Delai 1er fix (s)
Hemi-paysage D	2,4 (0,1)	0,5 (0,1)	2.0 (0,1)	0.3 (0,1)	2.0 (0,2)	0,8 (0,2)	1,7 (0,2)	0,6 (0,1)	1,7 (0,2)	1,0 (0,3)
Hemi-paysage G	2,6 (0,2)	0,2 (0,07)	2.4 (0.1)	0.2 (0.1)	2.4 (0,2)	0,5 (0,1)	2,3 (0,2)	0,5 (0,1)	2,3 (0,2)	0,7 (0,3)
Hemi-visage D	1.6* (0,05)	0,8* (0,04)	1,6 (0,1)	0,8 (1,1)	1,5 * (0,06)	0,6 (0,06)	1,3* (0,06)	1,0* (0,06)	1,3* (0,06)	1,2* (0,07)
Hemi-visage G	3,2* (0,05)	0,1* (0,02)	2 (0,1)	0,8 (1,1)	2,4* (0,07)	0,5 (0,1)	3,2* (0,06)	0,2* (0,04)	3,1* (0,06)	0,2* (0,03)

4-4 Stratégie d'exploration des Visages non Familiers

-Existe-t-il un pattern automatique dans la population typique?

-Pattern d'exploration dans la population avec TSA: Y-a-t'il des particularités chez les sujets avec TSA? Y-a-t'il une préférence pour la région des yeux?

-Développement de l'expertise: Existe-t-il un effet développemental dans les patterns d'exploration ?

-Y a-t-il des corrélations entre les temps passés sur les ROI et les compétences sociales?

La méthode a posteriori a été utilisée afin d'analyser les stratégies d'exploration des 4 différents groupes. Le groupe d'adultes typiques constitué d'hommes a été sélectionné pour la suite des analyses, comme groupe contrôle des adultes avec TSA.

Les 4 ROIs définies dans la section matériel et méthodes ont été sélectionnées pour les analyses (Œil Droit, Œil Gauche, Bouche, Visage).

Les Graphiques de la figure 41 présentent en fonction des zones ou en fonction des groupes, les valeurs des temps moyens passés par ROI ou du délai moyen avant la première fixation par ROI afin de permettre les comparaisons directes entre ROI ou entre groupes.

4-4-1 Dispersion des points de fixation

L'analyse de la dispersion des fixations sur les visages dans chaque population par l'intermédiaire de l'analyse du pourcentage de temps passé sur les zones statistiquement significatives par rapport au temps total passé sur les visages avec la méthode à posteriori (cf Tableau 5) permet de mettre en évidence que **70% du temps passé sur les visages chez l'adulte typique se fait sur les zones statistiquement significatives**. Le pattern d'exploration semble donc automatisé dans la population d'adultes au sein de fixations partagées dans la population.

Les enfants au développement typique passent 49% de leur temps sur les zones de fixations significatives, pourcentage comparable à ceux des sujet avec TSA, enfants et adultes.

4-4-2 Comparaison temps passé par Zones

Comme illustré dans la figure 40, les adultes typiques fixent significativement plus longtemps l'Oeil Gauche (M=1,6±0,05s, SEM) que l'Oeil Droit (M=0,8±0,03s, SEM), puis que la bouche (M= 0,55±0,04s, SEM) : OG>OD>B ($p<0,01$).

Les enfants au développement typique passent eux significativement plus de temps sur l'Oeil Gauche (M=1.2±0.05, SEM) que sur l'Oeil Droit (M=0,43±0,03, SD) ou que sur la bouche (M=0,34±0,02, SEM): OG>OD=B (p<0,01).

Dans les groupes avec TSA, les adultes passent plus de temps dans la zone de l'OG (M=1,2±0,05, SEM) que la bouche ((M= 0,48±0,05 SD) puis que l'Oeil droit (M=0,25±0,06, SD): OG>B>OD (p<0.01) alors que les enfants avec TSA regardent plus longtemps l'Oeil Gauche (M=1,1±0,05, SD) que la bouche (M= 0,39±0,05, SEM) ou que l'Oeil Droit (M=0,22±0,06, SD): OG>OD=B (p<0,01).

Les adultes typiques passent significativement plus de temps sur chacune des ROI en comparaison aux 3 autres groupes (p<0,000), sauf en comparaison des adultes avec TSA, concernant la bouche.

Les 2 groupes avec TSA passent significativement moins de temps que les groupes au développement typique pour la zone de l'Oeil Droit (p<0,000), mais les résultats ne montrent pas de différences entre enfants (typique et TSA) concernant l'Oeil Gauche et la bouche.

4-4-3 Décours temporel de l'exploration

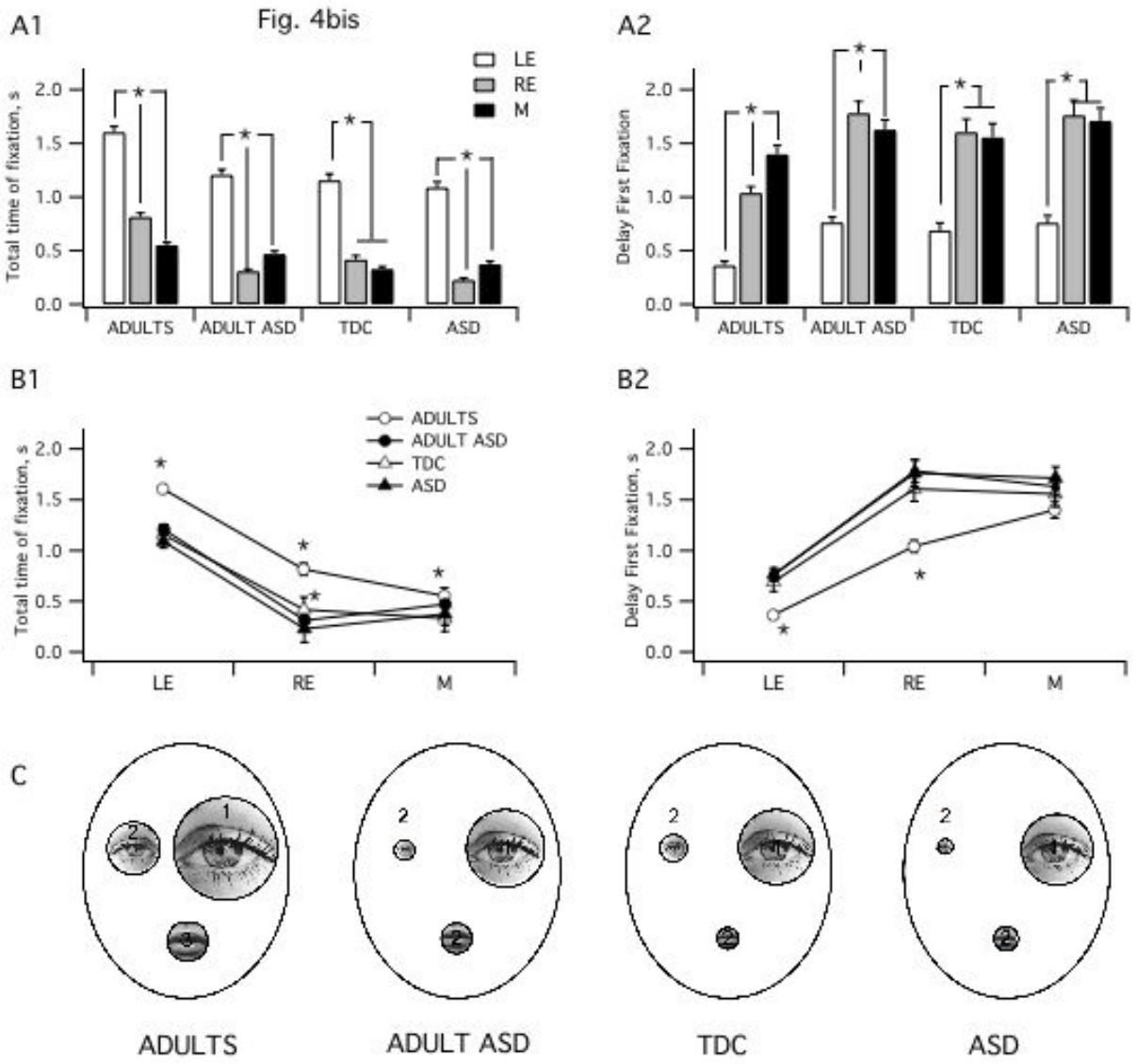
L'analyse de l'ordre des ROI et des délais à la première fixation dans chaque ROI montre que les adultes au développement typique explorent successivement les 3 ROI dans l'ordre suivant: OG puis OD puis Bouche (p<0,000). Les enfants au développement typiques regardent eux d'abord l'OG puis indifféremment l'OD ou la Bouche.

Les Adultes avec TSA regardent également en premier l'OG puis secondairement la Bouche pour finalement explorer l'OD : OG-B-OD (p<0,001) alors que les enfants avec TSA regardent d'abord l'OG puis indifféremment la Bouche ou l'OD.

Dans les 2 groupes adultes, le délai à la première fixation était significativement différent entre les 3 ROI et pour les 2 groupes d'enfants les séquences suivaient la même hiérarchie que les temps de fixation moyens par ROI.

Le délai à la première fixation dans la zone de l'OG était significativement différent de celui à la première fixation dans l'OD chez l'adultes typique (OG M=0,36±0,01; OD: B= 0,8±0,01 SEM) et significativement plus court que pour les enfants typiques (OG: B=0,78±0,07; OD M= 1,6±0,09 SEM) ou pour les 2 groupes avec TSA : adultes (OG: B=0,73±0,04; OD: M= 1,9±0,1 SEM) ou enfants (OG: M=0,74±0,06; OD:M=1,6±0,14, SEM).

Figure 35 : Temps moyen et délais à la première fixation par ROI.



4-4-4 Comparaison entre groupes: zone visage et la région des yeux (OD+OG)

L'analyse des résultats du tableau 6 montre que les adultes typiques passent en moyenne 87% du temps d'exploration d'une image sur les visages, alors que les adultes avec TSA ne passent que 70% de leur temps sur les visages (soit 84% du temps total d'exposition disponible). Les adultes typiques passent significativement plus de temps que les 3 autres groupes sur les visages (M=4,1, SEM=0,05; p<0,00 ; F (3, 1077)=21,7).

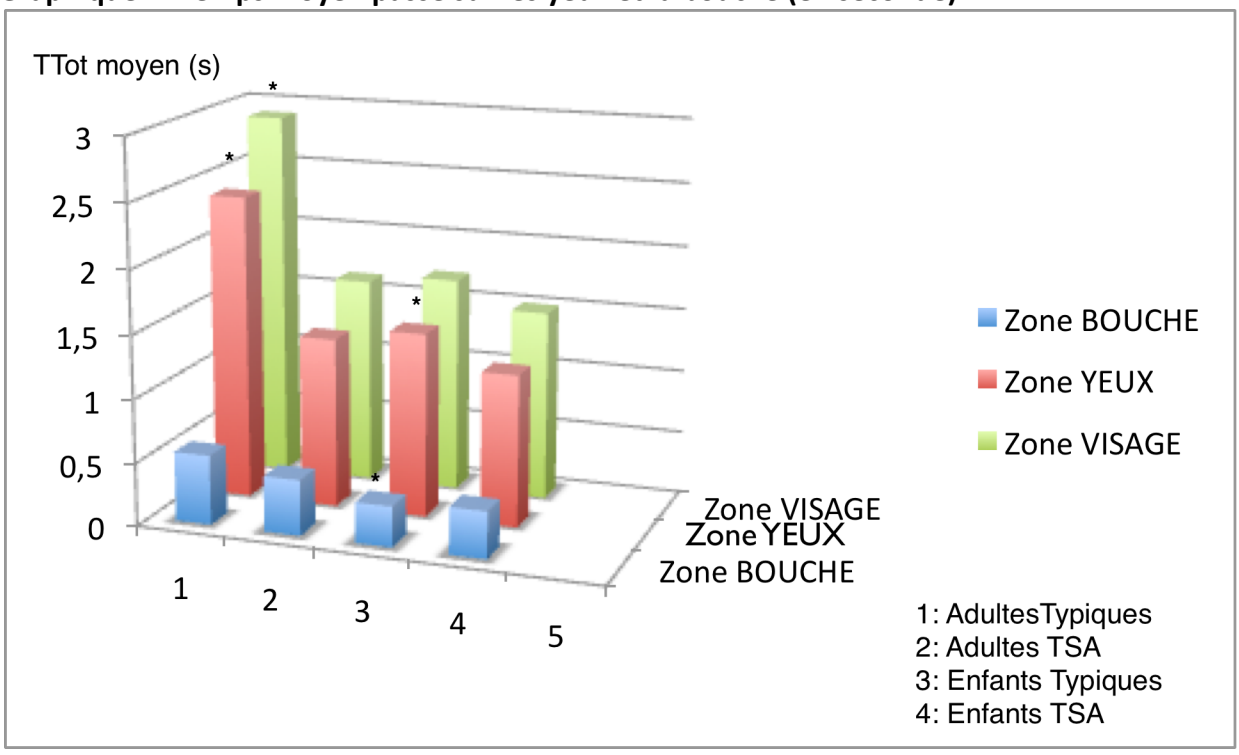
Si l'on considère le temps total à disposition, seulement 66% des 5s de présentation sont investis en exploration des visages chez les enfants avec TSA, mais si l'on évalue la proportionnalité en fonction de leur temps moyen à regarder une image (4,3s en moyenne), ils passent la même proportion de temps que les adultes avec TSA sur les visages soient 77%. Il n'existe pas non plus de différence significative entre les temps moyen passés sur les visages des enfants typiques et des enfants avec TSA.

Les adultes avec TSA passent en moyenne le même temps sur les visages (M=3,5, SEM =0,07) que les 2 groupes d'enfants.

Lors des analyses à postériori des 22 visages non familiers, nous avons observé que les adultes typiques passent significativement plus de temps sur la zone des yeux (M= 2,4 SEM=0,11) que les adultes avec TSA (M=1,4 ;SEM=0,13) ; $p<0,01$ ou que les enfants typiques (M=1,53 ; SEM=0,10) ou avec TSA (M=1,21; SEM=0,10), et que les enfants typiques regardent plus la zone des yeux que les enfants avec TSA ($p<0,05$).

En ce qui concerne le temps moyen passé dans la zone de la bouche, nos résultats ne retrouvent aucune différence entre sujets présentant un TSA et sujets typiques, mais les enfants typiques regardent statistiquement significativement moins la bouche (M=0,34; SEM+0,02) que les adultes typiques (M=0,55; SEM=0,04).

Graphique 1: Temps moyen passé sur les yeux et la bouche (en seconde)



4-4-5 Recherche d'un effet du genre chez l'adulte

L'analyse des résultats ne montre pas de différence significative entre les temps moyens passés par ROI ni les séquences temporelles d'exploration entre les 2 groupes d'adultes: hommes et femmes, au développement typique.

4-4-6 Corrélation entre le temps passé sur la zone des Yeux et les compétences sociales

Le temps moyen passé sur la zone des yeux (OD+OG) est significativement inversement corrélé au **sous-score d'anomalies des Interactions Sociales Reciproques de l'ADI-R dans la population globale de sujets présentant un TSA** (lorsque sont analysés les résultats des enfants avec TSA associés aux adultes avec TSA) (Corrélation de Pearson : 0,446, p=0,02). Plus les sujets avec TSA regardent les yeux, moins ils ont un score d'anomalies des Interactions Sociales Réciproques élevé.

Nos résultats rapportent une corrélation entre **le temps passé sur la zone Bouche et le score total de l'ADOS, dans la population globale de TSA (**Corrélation de Pearson : 0,407, p=0,039). Plus les sujets avec TSA regardent la bouche, plus ils ont un score total regroupant les anomalies de la communication et des interactions sociales élevé.

Dans notre population d'étude, nous avons également retrouvé une corrélation entre les score total de l'ADOS et le sous-score d'anomalies des Interactions Sociales Réciproques de l'ADI (corrélation de Pearson : 0,431, p=0,025) ainsi qu'une corrélation entre le sous-score d'interaction sociale de l'ADOS et le score Total de l'ADOS (corrélation de Pearson : 0,922, p<0,00)

Pour conclure :

- Les résultats indiquent que les adultes typiques et les 3 autres groupes présentent des patterns d'exploration des visages différents (Figure C).

- Les adultes typiques possèdent un pattern automatisé dans le temps et l'espace autour des 3 ROIs : Œil Gauche puis Œil droit et Bouche du visage observé. Ce pattern n'est pas retrouvé chez l'enfant typique.

- Il existe donc un effet développemental des patterns d'exploration des visages non familiers, qui s'automatisent à l'âge adulte. Cette automatisation de l'exploration n'est pas retrouvée chez les adultes avec TSA.

- Les patterns des enfants typiques et des 2 groupes enfants et adultes TSA sont similaires avec une zone d'intérêt privilégiée autour de l'oeil Gauche qui est regardé en premier et plus longtemps que les autres zones. La proportion de temps passé sur les visages par rapport au temps passé sur les images est similaire entre ces 3 groupes : les sujets avec TSA ont un temps dédié au visage similaire aux enfants typiques mais plus faible que celui des adultes typiques.

- Si on considère l'ensemble de la zone des yeux (OD+OG) les sujets avec TSA quel que soit leur âge, fixent moins longtemps les yeux que leur équivalent développemental typique et ceci en lien avec l'absence ou faible d'intérêt pour le second oeil.

- La zone de la bouche n'est pas signifiante entre groupes, par contre l'autre région des yeux (Œil Droit) permet de différencier les groupes cliniques et les groupes typiques adultes et enfants qui donnent plus d'importance à cette seconde zone des yeux lors de l'exploration des visages.

- Nos résultats retrouvent une corrélation entre le temps passé sur la zone des yeux et les compétences sociales cliniquement évaluées, par le sous-score de l'ADI-R des Anomalies des Interactions Sociales Réciproques, ainsi qu'entre le temps passé sur la Bouche et le score total de l'ADOS.

Nous ne retrouvons pas d'effet de genre chez l'adulte typique.

4-5 Analyse de la valence social des visages et du type de visage

Les avatars et les robots comme intermédiaires entre le visage et l'objet : effet de la virtualisation

Les animaux comme stimulus social non humain: effet de l'espèce

Les visages familiers comme révélateur de compétences sociales : effet de la familiarité

Dans un second temps, l'analyse des résultats s'est portée sur le type de stimuli visages caractérisé par 5 conditions :
-4 visages Familiers
-4 visages d'Animaux
-4 visages d'Avatars
-4 visages de Robots
-4 visages Non Familiers

4-5-1 Analyse des résultats du temps moyen passé par ROI pour chaque condition

(interaction zone x condition)

On retrouve une interaction zones x sujets x conditions ($F(73, 11716)= 3,2$ ($p<0,00$)), une interaction zones x conditions ($F(19, 11716)= 2,4$ ($p<0,00$), zones x sujets ($F(19, 11716)= 16,3$ ($p<0,00$)) et conditions x sujets ($F(16, 11716)=16,4$ ($p<0,00$).

Tableau 6: Diamètre pupillaire (pixels)

	Adultes typiques	Enfants Typiques	Adultes TSA	Enfants TSA
Non fam	48 (0,7)	43 (1,7)*	44 (1,5)*	46.2 (1,9)
Animaux	49 (0,7)	43 (1,0)*	47,7(1,4)	47.9 (2,4)
Avatars	49 (0,6)	46.4 (2,0)	46,5 (1,5)	44.3 (2,6)
Robots	47 (0,1)	45.4 (2,1)	46,2 (1,6)	44.5 (2,8)
Visages familiers	45(1,1)	46.7 (2)	43,9 (1,3)*	50,1(4) *

Tableau 7: Données par groupes et par types de visages

Tps /ROI (s)	Animaux				Avatars				Robots				Visages familiers				Visages non familiers			
	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA
OD	1,0	0,9	0.7	0.2	0,8	0,4	0.7	0.3	0,8	0,3	0.6	0.2	0,9	0,5	0.2	0.3	0,8	0,3	0.3	0.2
	0,07	0,08	0.1	0.05	0,05	0,05	0.1	0.05	0,09	0,05	0.08	0.06	0,07	0,07	0.04	0.08	0,07	0,05	0.06	0.03
OG	1,6	1,7	0.6	0.4	1,5	1,3	1.2	0.6	1,2	1,1	1.2	0.9	1,7	1,2	1.5	0.8	1,5	1,0	0.9	1.0
	0,1	0,1	0.09	0.08	0,06	0,1	0.2	0,09	0,1	0,1	0.1	0.2	0,1	0,1	0.3	0.2	0,1	0,1	0.08	0.09
OD+OG	2,5	2,3	1,4	0,7	2,1	1,6	2	0,9	2,0	1,5	1,8	1,1	2,5	1,7	1,1	1,1	2,3	1,2	1,2	1,2
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Bouche	0,2	0,4	0.5	0.3	0,5	0,3	0.6	0.3	0,3	0,3	0.5	0.5	0,7	0,1	0.1	0.2	0,4	0,3	0.4	0.4
	0,04	0,05	0.1	0.06	0,04	0,03	0.1	0.06	0,05	0,04	0.1	0.1	0,08	0,04	0.06	0.06	0,04	0,06	0,04	0.06
Visage	2,7	2,6	1,6	0,7	3,5	1,9	2,4	1,1	2,3	1,5	2,2	1,4	3,1	1,7	1,7	1,2	3,1	1,5	2,2	1,4
	0,1	0,15	0.1	0.1	0,1	10,1	0.2	0.1	0,2	0,1	0.2	0,2	0,1	0,2	0.2	0,2	0,1	0,1	0.1	0.1
Visage/ à priori	4.6	4.4	4.3	3.8	4.5	3.8	4.2	3.1	4.5	3.5	3.9	3.0	4.2	3.1	3	2.6	4.6	3.4	3.4	3.2
	0.03	0.03	0.07	0.06	0.02	0.08	0.07	0.08	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.07	0.07	0.04
Proportion Y/Visage a priori	59 %	52 %	37 %	18 %	**46 %**	26 %	47 %	30 %	44 %	64 %	46 %	36 %	60 %	53 %	36 %	42 %	50 %	35 %	35 %	37 %
Proportion ROI/tps tot a priori	54 %	52 %	32 %	14 %	70 %	38 %	48 %	22 %	46 %	30 %	44 %	28 %	70 %	34 %	34 %	24 %	67 %	44 %	44 %	44 %
Dehors visage	0,48%	0,612 %	0,714 %	1,224 %	0,510 %	1,224 %	0,816 %	1,938 %	0,510 %	1,530 %	1,122 %	240 %	0,816 %	1,832 %	240 %	2,448 %	0,48 %	1,632 %	1,632 %	1,836 %

Tableaux 8 : Temps moyen par ROI (s)

	NON FAM			FAMILIER			AVATARS			ROBOTS			ANIMAUX		
Temps moy (s) Erreur Standard															
Adultes	**1.5** 0.1	**0.9** 0.07	**0.4** 0.04	**1.7** 0.1	**0.7** 0.08	**0.43** 0.07	**1.5** 0.06	**0,8** 0.05	**0.5** 0.04	**1.2** 0.1	**0.8** 0.09	**0.3** 0.05	**1.6** 0.1	**1.0** 0.07	**0.24** 0.04
	OG>OD>B **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p<0.00**			**OG>OD>B** **p<0.00**			**OG>OD>B** **p=0.006/p>0.00**			**OG>OD>B** **p<0.00**		
Enfants	**0.7** 0.08	**0.3** 0.06	**0.3** 0.04	**1.5** 0.03	**0.2** 0.04	**0.2** 0.05	**1.2** 0.2	**0.7** 0.1	**0.6** 0.1	**1.2** 0.1	**0.6** 0.08	**0.5** 0.1	**0.6** 0.09	**0.8** 0.1	**0.6** 0.1
	OG>(OD=B) **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p=0.007/p=0.003**			**OG>(OD=B)** **p=0.04**			**OG=OD=B**		
TSA (A)	**0.9** 0.1	**0.3** 0.05	**0.3** 0.06	**1.2** 0.1	**0.5** 0.07	**0.1** 0.04	**1,3** 0.1	**0.4** 0.05	**0.3** 0.03	**0.8** 0.09	**0.3** 0.06	**0.3** 0.4	**1.7** 0.1	**0.9** 0.08	**0.4** 0.05
	OG>(OD=B) **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p<0.00**			**OG>(OD=B)** **p<0.00**			**OG>OD>B** **p<0.00**		
TSA (E)	**1.0** 0.09	**0.2** 0.03	**0.4** 0.06	**0.8** 0.2	**0.3** 0.08	**0.2** 0.06	**0.6** 0.09	**0.3** 0.05	**0.3** 0.06	**0.9** 0.02	**0.2** 0.06	**0.5** 0.1	**0.5** 0.08	**0.3** 0.05	**0.3** 0.06
	OG>(OD=B) **p<0.00**			**OG=OD=B**			**OG=OD=B**			**OG>(OD=B)** **p=0,03**			**OG=OD=B**		

 **: Œil Gauche**  **: Œil Droit**  **: Bouche**

On retrouve des différences significatives entre le temps passé dans chaque ROI dans la population d'adultes typiques (p<0,00) pour les visages non familiers, (p<0,00), les visages d'avatars (p<0,00), les visages de robots (p=0,006 et p<0,00), et pour les visages d'animaux (p<0,00) : OG>OD>B.

Par contre, les adultes au développement typique regardent autant l'œil droit que la Bouche des visages familiers.

Les enfants typiques et les adultes avec TSA regardent plus longtemps l'œil Gauche en comparaison des 2 autres ROI des visages familiers, et des visages humanoïdes (avatars et robots) (p<0,00). Il n'y a pas de différence entre le temps passé sur les 3 ROI concernant les visages d'animaux, dans le groupe des enfants typiques, alors qu'il existe une différence significative entre les 3 ROI dans le groupe d'adultes avec TSA (p<0,00) puisque les Adultes avec TSA fixent significativement plus l'œil gauche, puis l'œil droit puis la bouche (p<0,001) des visages d'animaux.

Dans le groupe d'enfants avec TSA, on ne retrouve des différences significatives qu'entre ROI des visages humains : non familiers et familiers pour lesquels le temps passé sur l'œil Gauche est significativement supérieur au temps passés sur les 2 autres ROI (p<0,00).

4-5-2 Analyse des décours temporels des ROI

Tableau 9: délai à la première fixation par ROI (s)

Délai 1ère fixation /ROI (s)	Animaux				Avatars				Robots				Visages familiers				Visages non familiers			
	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA	A	AA	E	EA
OD	0,8	1,3	1,7	2.5	0,9	1,2	1.0	1.0	1,1	1,7	1.1	1.7	0,9	1,6	2	1.9	1,1	1,4	1.4	1.6
	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0.3	0,2	0,3	0,3	1.4	0,1	0,2	0,7	0,4	0,1	0,3	0,2	0,3
OG	0,5	0,5	0.8	1.8	0,4	0,7	0.6	1.1	0,3	0,9	0.9	1.5	0,4	0,8	0.5	1,1	0,5	0,6	1.1	0.8
	0,1	0,1	0.1	0,3	0,06	0,1	0.1	0,2	0,1	0,1	0,3	1.3	0,08	0,1	0.2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
OD+OG	0,3	0,3	0.5	1.6	0,7	0,7	0.4	0,9	0,2	0,2	0.3	0,9	0,2	0,7	0.7	0.8	0,3	0,6	0,9	0.9
	0,04	0,05	0,1	0,2	0,1	0,1	0,07	0,7	0,06	0,06	0,06	0,2	0,05	0,1	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	0,1
Bouche	2,0	1,6	1.6	1,6	1,2	1,8	1.6	1.3	1,6	2,2	2.0	0.8	1,2	2,0	1.2	1.6	1,7	2,0	1.4	1.4
	0,3	0,2	0,3	0,3	0,09	0,2	0,3	0.2	0,2	0,3	0,4	0.9	0,2	0,9	0,5	0.5	0,2	0,3	0,2	0.2
Face	0,3	0,3	0.5	1.3	0,1	0,6	0.3	0.7	0,2	0,6	0.2	0.2	0,2	0,7	0.5	0.8	0,3	0,6	0.8	0.7
	0,04	0,04	0.6	0,2	0,04	0,1	0.06	0.2	0,06	0,1	0,08	0.3	0,03	0,2	0,1	0.2	0,05	0,1	0,1	0.1

Les adultes au développement typique regardent significativement en premier l'œil Gauche puis l'œil Droit (p=0,004) et enfin la Bouche (p=0,031 et p<0,00) des visages **Non Familiers**, et des **Avatars** (p<0,00 ; p=0,3 ; p<0,00),
OG > OD > B

Les adultes au développement typique regardent significativement en dernier la bouche (p<0,00) des visages d'**Animaux** mais indifféremment l'œil Gauche ou l'œil Droit en premier.
OG/OD > B

Les adultes au développement typique regardent significativement en premier l'œil Gauche (p=0,045 ; p<0,00) des visages **Familiers**, et des visages de **Robots** (p<0,00)
OG > OD/B

Les adultes avec TSA regardent significativement en premier l'œil Gauche (p<0,00) des visages **Non Familiers**, Familiers, des visages d'**Animaux** et des visages de **Robots** (p<0,05)
OG > OD/B

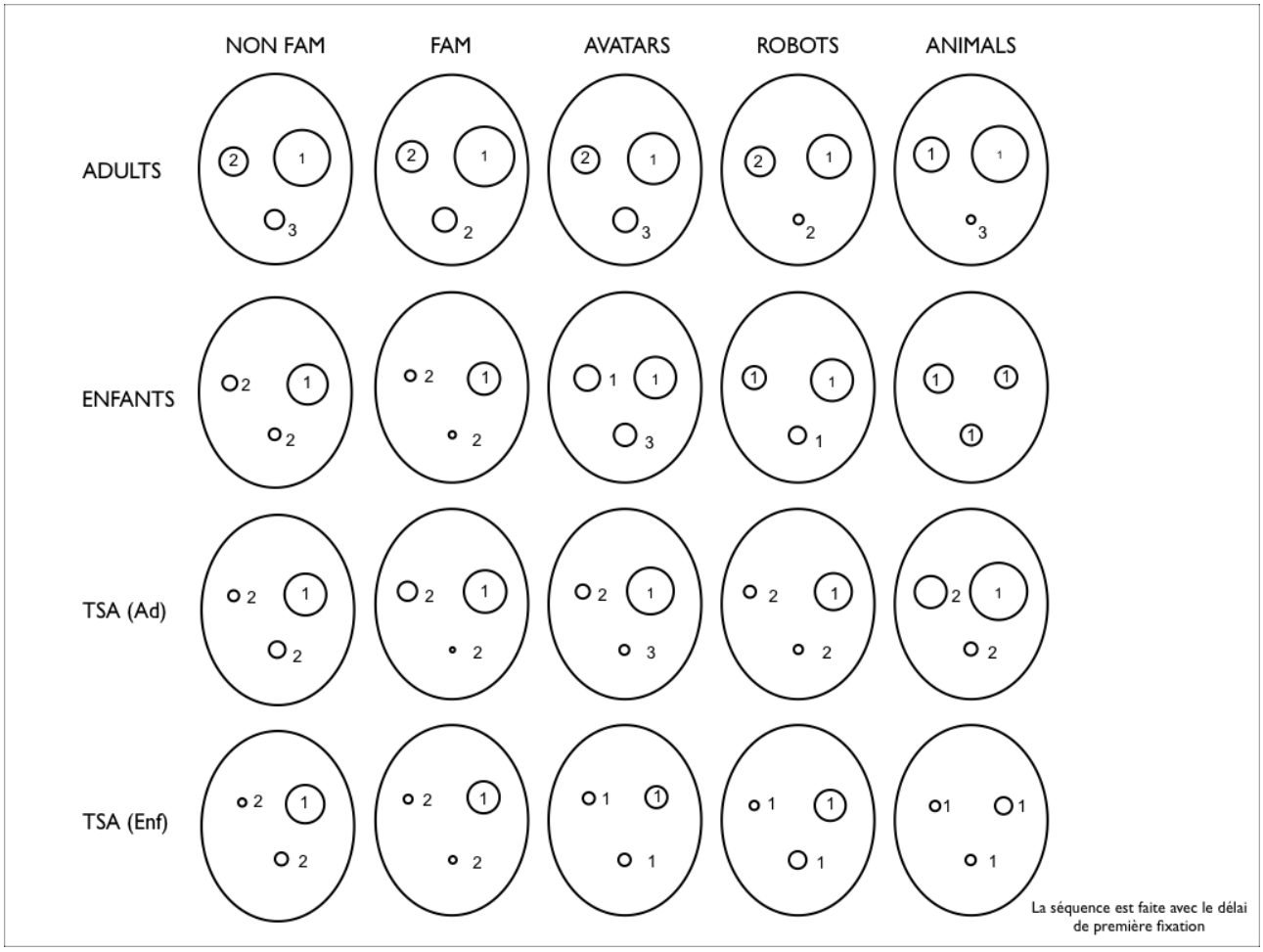
Les adultes avec TSA regardent significativement en premier l'œil Gauche puis l'œil Droit (p=0,048) et enfin la Bouche (p=0,034 et p<0,00) des visages d'**Avatars**,
OG > OD > B

Les enfants au développement typique regardent significativement en premier l'œil Gauche (p<0,00) des visages **Non Familiers (p<0,00)** et **Familiers (p<0,05)**
OG > OD/B.
Ils regardent en dernier la bouche des visages **d'Avatars (p<0,05)**
OD/OG > B
Ils n'ont pas de choix préférentiel pour la séquence des ROI lors de l'exploration des visages de **Robots** et des **Animaux.**

Les enfants avec TSA regardent significativement en premier l'œil Gauche des visages **Non Familiers** (p<0,00) et **Familiers** (p<0,05) mais indifféremment l'œil Droit ou la Bouche en dernier.
OG > OD/ B
Ils n'ont pas de choix préférentiel pour la séquence des ROI lors de l'exploration des 3 autres visages non humains.

4-5-3- Comparaison entre types de visages: interaction sujets x conditions

Figure 36: Résumé des stratégies de balayage



Adultes Typiques

Le temps moyen passé sur la bouche des visages familiers est significativement supérieur au temps moyen passé sur la bouche des Robots (p=0,013) et des animaux (p<0,00) et des visages non familiers (p=0,04) et celui passé sur la bouche des animaux est significativement inférieur à celui passé sur les visages humains (Familiers et Non Familiers, p<0,00)) et des avatars (p<0,00).

Le diamètre pupillaire est significativement inférieur lors de l'exploration des visages familiers (p<0 ,05), comparé aux autres visages excepté les visages de Robots.

Il n'y a pas de différence entre les différents visages sur le temps passé sur les yeux ou sur les visages a priori. Le temps passé sur les visages a posteriori (3ROI) est statistiquement inférieur pour les visages non humains d'animaux et de robots.

La proportion de temps total moyen passé sur les ROI par rapport au temps moyen passé sur les visages, est moins importante sur les visages de Robots et d'Animeaux la dispersion des fixations sur ces 2 visages est plus importante que pour les autres visages

Tableau 10: Temps moyen par ROI pour les Adultes typiques (s)

Tps /ROI (s)	Animaux	Avatars	Robots	Visages familiers	Visages non familiers
OD+OG	2,5	2,1	2	2,5	2,3
Bouche	0,2 *	0,5	0,3	0,7 *	0,4
Visages/ à priori	4,6	4,5	4,5	4,2	4,6
Visage (ens des 3ROI)	2.7*	3.5	2.3*	3.1	3,1
Proportion Y/Visages à priori	59%	46%	44%	60%	50%
Proportion ROI/tps tot moy a priori	54%	70%	46%	70%	67%
Tps en dehors visage à priori	0,5	0,6	0,5	0,9	0,4

Enfants typiques

Le temps passé sur les visages et sur les yeux en particulier est significativement inférieur pour les visages non familiers et familiers en comparaison aux visages non humains d'Animaux ($p<0,01$; $p=0,04$), d'Avatars ($p=0,001$) et de Robots ($p<0,01$; $p<0,01$). Ils passent significativement moins de temps sur les visages humains que sur les visages non humains.

Le temps passé sur la bouche est significativement inférieur sur les visages familiers ($p>0,01$) que sur les autres visages.

Le diamètre pupillaire est significativement inférieur lors de l'exploration des visages d'animaux, comparé aux 2 autres visages non humains et au visages Familiers ($p>0,05$).

La proportion de temps total moyen passé sur les ROI par rapport au temps moyen passé sur les visages a priori est moins importante sur les visages d'Animaux et sur les visages Familiers: la dispersion des fixations sur ces 2 visages est la plus importante.

Tableau 11: Temps moyens par ROI pour les Enfants typiques (s)

Tps /ROI (s)	Animaux	Avatars	Robots	Visages familiers	Visages non familiers
OD+OG	1,4	2	1,8	1,1*	1,2*
Bouche	0.5	0.6	0.5	0,1*	0,4
Visages/ à priori	4.3	4.2	3,9	3 *	3,4 *
Visage (ens des 3ROI)	1.6*	2.4	2.2	1.7*	2,2
Proportion Y/Visages à priori	32%	47%	46%	36%	35%
Proportion ROI/tps moy visage a priori	32%	48%	44%	34%	65%
Tps en dehors visage à priori	0,8	0,8	1,2	2,2	1,5

Adultes TSA

Le temps passé sur les visages et sur les yeux en particulier est significativement supérieur pour les visages d'Animaux en comparaison aux 4 autres visages ($p<0,00$).

Le temps passé sur les visages Familiers est significativement inférieur au temps passé sur les visages d'Animaux et d'Avatar ($p=0,47$) et Robots ($p=0,45$) et a une tendance à la significativité par rapport aux visages Non Familiers ($p=0,065$).

Le temps passé sur la bouche des visages familiers est significativement inférieur à celui passé sur la bouche des visages d'animaux ($p=0,04$).

Le diamètre pupillaire est significativement inférieur lors de l'exploration des visages humains (Familiers ou Non Familiers), comparé aux 3 autres visages ($p<0,05$),

La proportion de temps total moyen passé sur les ROI à postériori versus le temps passé sur les visages est la plus importante sur les visages d'Animaux : la dispersion des fixations sur ces visages est moins importante que pour les autres.

Les adultes avec TSA passent 53% de leur temps sur les yeux des visages qui leur sont familiers. On ne retrouve pas de différence significative sur le temps total moyen passé sur les yeux des familiers par rapport aux non familiers, mais une tendance à la significativité ($p=0,07$).

Tableau 12: Temps moyens par ROI pour les Adultes avec TSA (s)

Tps /ROI (s)	Animaux	Avatars	Robots	Visages familiers	Visages non familiers
OD+OG	2,3 *	1,6	1,5	1,7	1,2
Bouche	0,4	0,3	0,3	0,1 *	0,3
Visage/ à priori	4,4 *	3,8	3,5	3,1 *	3,4
Visage (ens des 3ROI)	2.6 *	1.9	1.7	1.8	1.5
Proportion Y/Visages à priori	52%	42%	43%	53%	35%
Proportion ROI/tps moy a priori	60%	50%	48%	56%	44%
Tps en dehors visage à priori	0,5	1,2	1,5	1,9	1,6

Enfants TSA

Le temps passé sur les visages d'Animaux est significativement supérieur en comparaison aux 4 autres visages ($p<0,00$). Le temps passé sur les Yeux est significativement inférieur pour les visages d'Animaux en comparaison aux visages de Robots et aux visages Humains: familiers et non familiers ($p<0,01$). La proportion de temps total moyen passé sur les ROI par rapport au temps moyen sur les visages a priori est la moins importante sur les visages d'Animaux donc la dispersion des fixations sur ce visage est la plus importante que pour les autres visages.

Le diamètre pupillaire est significativement supérieur lors de l'exploration des visages Familiers comparé aux 4 autres visages ($p<0,05$).

Tableau 13: Temps moyen par ROI pour les Enfants avec TSA (s)

Tps /ROI (s)	Animaux	Avatars	Robots	Visages familiers	Visages non familiers
OD+OG	0,7 *	0,9	1,1	1,1	1,2
Bouche	0,2	0,3	0,5	0,2	0,4
Visages/ a priori	3,8 *	3,1	3	2,6	3,2
Visage (ens des 3ROI)	0.7 *	1.1	1.4	1.2	1.4
Proportion Y/Visages a priori	18%	30%	36%	42%	37%
Proportion ROI/tps moy tot visage a priori	18% *	35%	46%	46%	44%
Tps en dehors visage à priori	1,2	1,9	2,1	2,5	1,8

Comparaisons entre groupes

Les enfants avec TSA fixent significativement moins les yeux des animaux, des visages humanoïdes (robots et avatars) que les 3 autres groupes ($p<0,05$). Les enfants typiques fixent également significativement moins les yeux des animaux que les 2 groupes d'adultes ($p<0,05$).

Les 2 groupes avec TSA fixent significativement moins les visages humanoïdes de robots et d'avatar que les 2 groupes au développement typique ($p<0,05$), alors qu'il y a une différence significative entre les adultes typiques et les 3 autres groupes pour les visages humains ($p<0,00$). Les enfants au développement typique ne différent pas des 2 groupes avec TSA concernant le temps total passé sur les visages humains.

Les deux groupes d'adultes : typique ($p<0,00$) et avec TSA ($p<0,05$) fixent significativement plus les yeux des visages familiers que les enfants, même si les adultes typiques fixent significativement plus également les yeux des familiers que les adultes avec TSA ($p<0,00$).

Les adultes typiques fixent plus la bouche des visages familiers que les 3 autres groupes ($p<0,01$).

La dispersion des fixations sur les visages des animaux est plus importante pour les 2 groupes d'enfants que pour les 2 groupes d'adultes.

Le diamètre pupillaire est significativement supérieur lors de l'exploration des visages familiers par les enfants TSA, comparé aux 3 autres groupes ($p<0,05$).

Le diamètre pupillaire est significativement inférieur lors de l'exploration des visages d'animaux par les enfants au développement typique, comparé aux 3 autres groupes ($p<0,05$).

Le diamètre pupillaire est significativement inférieur lors de l'exploration des visages familiers par les adultes avec TSA au développement typique, comparé aux 3 autres groupes ($p<0,05$).

4-6 Résumé

4-6-1 Objectif : Evaluer l'effet de la virtualisation. Les avatars et les robots comme intermédiaires entre le visage et l'objet.

- Sur les sujets Typiques:

La proportion de temps passé respectivement sur les 3 ROI est conservée pour les visages d'AVATAR et les ROBOTS chez les adultes typiques et la séquence est conservée pour les visages d'AVATAR.

Les adultes gardent pour les visages « humanoïdes » la même routine que celle instaurée pour les visages humains, hormis une désautomatisation de la séquence pour le visage le moins humanisé (Robot). Ce résultat est renforcé par l'analyse de la « dispersion » des fixations qui est traduite par la proportion temps passé sur les ROI (méthode à posteriori) versus temps passé sur le visage avec la méthode à priori. Nos résultats nous permettent de conclure qu'il n'y a pas de différence entre le temps passé et la distribution de ce temps passé à explorer un visage humain et celui à explorer un visage humanoïde chez l'adulte typique.

Les enfants typiques eux passent plus de temps sur ces visages humanoïdes par rapport aux visages humains, et ils gardent également la même proportion de temps sur les 3 ROI, que celle retrouvée pour les visages humains. Par contre la séquence « automatisée » entre les ROI des visages humains a disparu, mais la dispersion des points est moins importante, et rejoint celle des visages non familiers.

- Sur les sujets avec TSA:

Les adultes ou enfants avec TSA n'explorent pas quantitativement différemment les visages humanoïdes que les visages humains. Le temps passé sur les ROI ne diffère pas entre ces conditions. La priorité temporelle donnée à l'œil gauche dans l'exploration des visages humains disparaît par contre lors de la virtualisation.

Par contre, en comparaison du groupe des adultes (TSA et Typiques) mais également des enfants typiques, les enfants avec TSA fixent moins la zone des yeux.

En conclusion

Nos résultats ne retrouvent **pas d'effet de la virtualisation** chez les sujets adultes ou enfants avec TSA, ni chez les sujets typiques adultes en ce qui concerne les temps moyens passés par ROI.

Les sujets typiques adultes n'explorent pas différemment les visages humanoïdes que les visages humains mais les enfants perdent leur automatisation séquentielle, mais non l'attention pour les ROI d'intérêt.

Il existe un **effet développemental** touchant le temps porté au stimulus visage, chez les enfants typiques puisqu'on retrouve un temps d'exploration plus long que pour les visages humains et un ordre plus aléatoire dans les ROI.

Les enfants avec TSA ne marquent pas cette augmentation d'intérêt développemental retrouvé chez les enfants typiques, et si on compare le temps de fixation sur les yeux, ils fixent significativement moins longtemps cette zone que leur contrôle développemental respectif typique. Ce qui n'était pas retrouvé pour les visages humains.

Il existe par contre un effet de la virtualisation sur la séquence des fixations. Les adultes avec TSA semblent récupérer une séquence « humaine » avec l'alternance des ROI retrouvées chez l'adulte typique lors de l'exploration des visages humains. Par contre les 2 groupes d'enfants perdent eux le début de séquence qu'ils avaient utilisé pour l'exploration des visages humains.

4-6-2 Objectif: Evaluer l'effet de l'espèce. Les animaux comme stimuli social non humain.

- Sur les sujets Typiques:

Les adultes gardent la même proportion de temps passé dans chaque ROI, mais ne différencient pas en séquence temporelle l'OG et l'OD. Ils regardent moins la bouche et la dispersion de leurs fixations est plus grande sur ce type de visage.

Les enfants typiques eux, ont un diamètre pupillaire plus petit lorsqu'ils regardent les visages d'animaux par rapport aux autre visages et ils passent plus de temps à les explorer et ce, sans préférence pour les ROI puisque leur dispersion de fixations est très importante.

- Sur les sujets TSA:

Les adultes avec TSA regardent plus les visages d'animaux et plus spécifiquement la zone des yeux que les visages humains. Ils commencent l'exploration par la zone de l'OG comme pour l'exploration des visages humains et ont une exploration identique à l'exploration des adultes typiques dans la répartition du temps passé entre les 3 ROI lorsque ceux-ci regardent les visages humains : OG>OD>Bouche.

De la même manière, les enfants avec TSA regardent plus longtemps les visages d'animaux mais significativement moins la zone des yeux, que les enfants typiques et les 2 groupes adultes et que les autres types de visages. De la même manière que les enfants typiques, ils ne marquent pas de préférences entre les 3 ROI, même si ils passent également plus de temps sur les 2 yeux que sur la bouche. La dispersion de leurs fixations sur ce visage est très importante.

En résumé,

Il existe un effet d'espèce. Les sujets typiques n'explorent pas de la même manière les animaux et les humains et cette exploration répond à des aspects développementaux puisque les enfants et les adultes ne présentent pas les même caractéristiques d'exploration.

Même si les zones d'intérêt internes aux visages sont les mêmes, avec la même importance hiérarchique en terme de temps passé dans chaque ROI (OG> OD> Bouche), les adultes typiques regardent différemment les visages d'animaux avec un évitement de la bouche, plus de dispersion de fixations et une perte de l'alternance OG/OD. Les adultes avec TSA présentent les mêmes caractéristiques hormis l'évitement de la bouche.

Les enfants ne traitent pas les visages d'animaux comme les visages humains, les zones d'intérêt ne ressortent pas en terme hiérarchique, la dispersion des fixations est très importante pour ces visages, même si la zone des yeux est fixée préférentiellement par rapport au reste du visage. Ils n'évitent pas à la différence des adultes, la zone de la bouche. Ils marquent une valence émotionnelle lors de l'exploration de ces visages avec une nette diminution du diamètre pupillaire, en comparaison aux autres types de visages non humains et également en comparaison aux autres groupes adultes et TSA.

Il existe donc principalement un effet développemental sur l'intérêt donné aux yeux des animaux: l'intérêt porté à cette zone croit avec l'âge dans les 2 groupes: avec TSA et avec développement typique.

On retrouve cet effet d'espèce chez les sujets adultes avec TSA, qui ont la même exploration des visages d'animaux que les sujets typiques appariés en âge. Les adultes avec TSA présentent peu de dispersion sur ces visages et un temps passé sur les différents ROI équivalent à celui des adultes typiques.

Les enfants avec TSA marquent des particularités de fixation pour ces visages, avec un manque d'intérêt marqué pour la zone des yeux malgré un temps total et une dispersion importants lors de l'exploration de ces visages en comparaison aux autres visages.

4-5-3 Objectif : Evaluer l'effet de familiarité

- Sur les sujets Typiques

Les Adultes typiques fixent plus longtemps la bouche des visages qui leur sont familiers, alors que les enfants typiques fixent eux significativement moins la bouche de ce type de visage comparé au non familier. La dispersion de leurs fixations sur ce type de visage est également, la plus importante. L'automatisation temporelle du décours de fixation des ROI disparaît, avec une seule priorité donnée temporellement et quantitativement à la zone de l'œil Gauche. Les enfants typiques ont un diamètre pupillaire significativement plus grand pour ce visage que pour les visages non familiers.

- Sur les sujets TSA:

Les sujets adultes avec TSA fixent comme les enfants typiques significativement moins la bouche des visages familiers en comparaison aux autres visages et ils montrent un intérêt particulier pour les yeux de ces visages. Même si la comparaison du temps moyen passé sur cette zone a seulement une tendance à la significativité par rapport aux autres conditions, c'est la seule condition où ils passent plus de 50% de leur temps d'exploration des visages sur la zone des yeux.

Les enfants TSA ont eux un diamètre pupillaire qui s'agrandit significativement, en comparaison aux autres types de visages ($p<0,005$) et en comparaison aux autres groupes ($p<0,005$).

En résumé,

Il existe un effet familiarité sur les patterns d'exploration dans la population au développement typique. Cet effet interagit avec le développement et concerne la zone de la bouche puisque l'enfant ne prête pas attention à cette zone lorsqu'il est face à un visage hyper familier, alors que l'adulte, lui sur-investit cette zone par rapport à son exploration des autres types de visages.

Les adultes avec TSA marquent le même effet que l'enfant typique en désinvestissant la zone de la bouche, les enfants avec TSA ne modifient pas leurs caractéristiques d'exploration mais le diamètre pupillaire est plus grand face à ces stimuli et en comparaison aux autres groupes.

5 Discussion générale sur l'expérimentation en Eye tracking

La question des biais méthodologiques

Dans un premier temps, notre méthode de traitement des données de fixations a permis de s'affranchir des biais méthodologiques retrouvés dans la littérature en Eye tracking. En harmonisant la construction des ROI par l'intermédiaire d'un avatar visage et en conservant pour l'analyse spatiale uniquement les clusters statistiquement significatifs nous avons eu l'opportunité d'analyser sans « pré-jugement » la distribution des points de fixation en privilégiant l'analyse des points de fixation "communément partagés entre sujets". Cela nous a permis de mettre en évidence un pattern qui n'apparaissait pas avec l'analyse classique à priori qui dessinait les ROI selon les repères anatomiques.

La méthode Voronoi que nous avons utilisée et qui permet de mesurer la densité des points de fixations par une analyse spatiale de la distribution des points avait déjà été proposée par Over et coll. (2006), sur des stimuli objets ou paysages chez une population d'adultes typiques.

Quelques rares autres équipes ont proposé, dans le même état d'esprit, des méthodes d'analyses présentant les mêmes exigences, à savoir: s'affranchir de tout processus de segmentation subjective à priori par l'expérimentateur. Roberto Caldara & Sébastien Miellet ont développé la méthode i-map (2011), permettant de traiter les données X :Y des fixations par une méthode s'inspirant de celle utilisée en IRM, en générant des cartes de fixations 3D, par l'intermédiaire de la méthode statistique : RFT (Random Field Theory) permettant de garder les points significatifs par la méthode de superposition/ soustraction des cartes. Après post traitement des images stimuli, celles-ci étaient découpées en élément de volume (ou voxel) qui étaient associées à une statistique (par exemple simplement un z-score ou un T de student) qui représentait de manière quantifiable l'implication de ce voxel dans l'activité de scanning étudiée.

Quelques autres équipes ont proposé de s'affranchir de la subjectivité de la segmentation des ROI, en proposant des modélisations permettant de définir des cartographies de points de fixations, avec l'objectif d'avoir des « négatifs de stimuli » constitués des zones d'intérêts sur lesquelles se sont portées les fixations.

Ces procédés proposent des cartographies de fixations pour chaque individu avec des niveaux de couleur/ chaleur en fonction de la durée des fixations ou du nombre de fixations (Bruce & Tsotsos, 2009; Buchan et al., 2007; Hsiao & Cottrell, 2008; Kita et al., 2010; van Belle et al., 2010; Wooding, 2002).

Elles ont néanmoins les limites d'être souvent rattachées à une série de stimuli et à une expérimentation. Plus récemment certaines expérimentations ont tenté d'inclure la notion d'analyse temporelle, de séquences de scan path afin de s'affranchir des ROI et traiter le scan path en eux mêmes (pour exemple Cristino, Mathôt, Theeuwes, & Gilchrist, 2010; Jack, Caldara, & Schyns, 2012).

La question du pattern spécifique d'exploration des visages

Dans le cadre de nos travaux expérimentaux, la technique de l'Eye tracking couplée à notre méthode d'analyse des points de fixation en statistique spatiale a permis de mettre en évidence l'existence d'un pattern d'exploration des visages neutres statiques qui engageait non seulement une routine spatiale autour des traits internes des visages mais également une routine temporelle dans la population au développement typique.

Cette stratégie d'exploration semble donc automatisée avec l'utilisation sélective de l'information issue des yeux incluant un balayage alterne de l'œil Gauche puis Droit avant de rechercher l'information issue de la bouche.

Rejoignant les données consensuelles de la littérature dans le domaine, l'attention se fixe prioritairement et principalement sur les yeux, reconnus comme étant l'attribut prédominant du visage car jouant le rôle central dans le processus de reconnaissance (G. Davies et al., 1977; Fraser et al., 1990; Haig, 1985; J. W. Tanaka et al., 1993; Vuilleumier, 2005; Walker-Smith et al., 1977) et d'attribution d'intention à autrui.

Qu'un tel attribut accapare l'attention d'une manière aussi dominante et précoce, supporte l'hypothèse de l'intervention d'un mécanisme d'exploration régi par une voie descendante dans le but de cibler la position la plus informative. Cette hypothèse défendue par Senju & Jonhson (2009) avec le modèle de la perception du contact oculaire: **le « Fast-Track modulator model »** qui impliquerait une voie sous-corticale avec des connexions corticales modulant l'activation du cerveau social, peut être éclairée par l'observation de cette "Routine attentionnelle des Visages" qui a pu se dégager de nos résultats, même si ceux-ci mériteraient, pour aller plus loin dans ce sens, d'être couplés à des données temporelles plus précises en électro physiologie.

La maximisation de l'information viendrait justifier le déplacement de l'attention à partir de l'oeil gauche vers l'autre oeil, faisant écho également aux données les plus récentes en Eye tracking, qui en explorant plus finement les premières fixations ont conclu qu'au delà du caractère hautement social de la zone des yeux, cet attribut d'un point de vue exclusivement de la dynamique de prise d'information spatiale, se situait au centre de gravité du visage et permettait donc d'avoir un accès rapide au maximum d'informations spatiales disponible sur les visages.

En effet, lorsque nous avons analysé le pattern correspondant à l'ensemble des fixations statistiquement les plus regardées sur les visages, nous avons mis en évidence que les ROI caractérisant la zone œil (droit ou gauche) et la zone bouche n'étaient pas centrées sur les repères anatomiques, mais plus bas et légèrement sur la droite. La zone de l'œil Gauche correspond donc à une zone infra-orbital Gauche, la même zone retrouvée par Van Belle et coll (2010), qui en étudiant la première fixation sur des visages neutres statiques également, mettaient en évidence une **zone infra-orbitale gauche (sous l'œil gauche du visage)**, qu'il identifiait non pas au centre de gravité géométrique du visage mais au « centre de masse ».

Nos résultats montrent donc que la routine commence par une position « stratégique » infra-orbital gauche que nous avons appelé œil gauche, mais qui peut également caractériser au-delà de la nomination anatomique qu'on lui prête, une position optimale sur le visage permettant de percevoir l'ensemble des traits comme un tout intégré. En fixant le regard sur ce point péricentral du visage, nous percevons l'ensemble des traits situés à distance, et pouvons dans ce cadre, utiliser l'information au niveau des yeux par exemple pour identifier ces visages, en cohérence avec la théorie de la perception holistique des visages (Sæther et al., 2009). En effet, lorsque le visage apparaît en position centrale, cette première fixation au niveau infra-orbitale, permet la détection et l'identification, de façon dite globale ou holistique.

Par ailleurs, le balayage entre « l'œil gauche puis l'œil droit » qui est automatisé dans notre routine, renforce également l'hypothèse de l'exploitation possible d'un indice configural, qui serait soit la relation spatiale entre les yeux soit la déviation entre cette relation spatiale et celle observée chez une structure de référence tenant compte de la variation habituelle de cette information dans les visages.

Cette alternance est aussi repérée dans la même étude de Van Belle qui objectivait l'alternance Gauche droite puis encore Gauche lors de l'exploration des visages familiers et non familiers, chez des adultes typiques.

Ces résultats pourraient donc permettre d'illustrer la théorie de traitement holistique/ configural des visages (Chance, Turner, & Goldstein, 1982; G. Rhodes, 1988; G. Rhodes, Brennan, & Carey, 1987; Valentine, 1988). Cependant, ce constat amène également à la prudence, car le seul fait que l'information des deux yeux apparaisse simultanément dans la routine attentionnelle exploratoire des visages ne suffit pas à affirmer qu'il y ait eu traitement configural. Pour cela, une des perspectives pourrait être d'étudier l'effet d'inversion sur la routine.

Nous retrouvons donc l'oeil Droit en seconde position privilégiée et automatisée de cette routine. Ce résultat est cohérent avec celui de Van Belle (2010) qui retrouvait la seconde fixation, sous l'œil Droit dans le cas des visages neutres de face, indépendamment de la familiarité. Pour cet auteur, cette seconde localisation sur le côté droit du visage regardé, est à mettre en lien avec le biais visuel Gauche décrit dans la littérature (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; Everdell, Marsh, Yurick, Munhall, & Paré, 2007; Hsiao & Cottrell, 2008; Leonards & Scott-Samuel, 2005; Mertens et al., 1993) ou à la préférence pour le côté droit des visages chimériques ou les tâches de reconnaissances (Brady et al., 2005; Gilbert & Bakan, 1973; Gosselin & Schyns, 2001).

Nos résultats confortent l'hypothèse de la maturation développementale du module d'exploration perceptif attentionnel des visages, puisque cette routine retrouvée chez l'adulte n'est pas présente chez l'enfant. La zone des yeux reste la zone privilégiée chez l'enfant, mais on ne retrouve pas de pattern temporel, qui pourrait être la marque du développement de l'expertise face au stimulus visage.

Nous avons également pu voir une augmentation du temps à explorer l'ensemble des stimuli avec l'âge. Plus l'âge augmente, plus les sujets typiques accordent de temps aux stimuli en général, ce qui est une donnée déjà décrite dans les expérimentations en Eye tracking s'intéressant à des tranches d'âges différentes. Plus les sujets sont âgés, plus ils sont capables d'orienter leur attention sur les images, d'autant plus que la tâche s'effectue dans un contexte d'exploration passive de ces images.

Peu de donnés sont disponibles quant à cette notion de maturation développementale chez les sujets avec TSA (Falck-Ytter & Hofsten, 2011b).

Par rapport à notre population clinique, le résultat intéressant réside en la similarité du pattern retrouvé, avec celui des enfants typiques.

En effet, le pattern temporel et spatial de l'exploration des adultes avec TSA ne diffère pas de celui des enfants typiques. Le temps moyen passé dans les zones ou l'ordre de fixation de ces zones d'intérêts est similaire. La zone privilégiée demeure encore la zone des yeux même si l'intérêt pour l'alternance entre les 2 yeux semble moindre, et même si l'attrait pour la bouche est effectivement présente. Cela ne différencie toutefois pas les 2 groupes enfants typiques/ adultes avec TSA, ni enfants typiques/ enfants avec TSA. En accord avec les données les plus récentes de la littérature (Falck-Ytter & Hofsten, 2011b), nos résultats ne vont pas dans le sens de « l'exces mouth and diminued eye fixation pattern » lors de l'exploration des visages par les sujets avec TSA, en cohérence avec d'autres résultats récents (Best, Minshew, & Strauss, 2010; Fletcher-Watson et al., 2009; van der Geest et al., 2002b).

Les temps de fixations globaux sont en moyenne moindre dans chacune des zones, mais la différence entre enfants typiques et avec TSA réside sur le moindre intérêt pour le second oeil, non pour la bouche. Au delà de l'hypothèse de particularités originelles ou innées dans l'orientation sociale ("lack of social motivation") ou de l'évitement du regard, ces résultats rejoignent d'autres données de la littérature qui évoqueraient l'hypothèse d'un blocage développemental, de ce module exploration des visages. Le pattern restant figé dans un pattern immature non automatisé, similaire à celui retrouvé dans la population typique d'enfants. D'autres résultats ont mis en évidence que les différences en terme d'attention au stimuli visage entre enfants TSA et typiques se retrouvaient surtout avant 12 ans (Burack, 1994; Courchesne et al., 1994; Plaisted, O'Riordan, & Baron-Cohen, 1998). Ce déficit attentionnel semble disparaître avec l'âge étant donné que dès l'âge de 13 ans les résultats des deux groupes sont comparables. Nous pouvons supposer que le déficit attentionnel correspondrait plutôt à un retard maturationnel. Une autre hypothèse pouvant expliquer cette amélioration de l'attention au cours du temps pourrait être tout simplement celle des effets des prises en charges et des interventions dont l'ensemble des sujets de 12 ans ont bénéficié.

Les résultats de nos études ne permettent pas de trancher sur l'implication de l'expérience/ expertise dans l'automatisation et donc la maturation du processus et celui de l'atypie neuro-développementale sous jacente possible à ce blocage. Soit l'individu avec TSA manque d'expérience avec les visages lui permettant d'automatiser son exploration, soit l'automatisation permise par un substrat neuro-développemental couplé à l'expertise est déficient initialement et ne lui permet pas une routine visuelle typique.

La question de la pertinence du marqueur oculométrique pour la clinique

L'un des résultats important de notre travail est la corrélation retrouvée entre le temps moyen passé dans la zone des yeux et les scores cliniques, marqueurs grossiers mais importants des habiletés et compétences en interaction sociale. En effet, si la stratégie déployée, même atypique n'était pas corrélée aux scores de comportements sociaux, les conséquences de cette atypie exploratoire n'aurait pas d'intérêts ni dans l'explication ni dans la pratique interventionnelle. Les corrélations entre la variable endophénotypique "temps moyen passé sur les yeux" et scores d'anomalies des interactions sociales sont des enjeux pour les interventions précoces qui visent à réorienter précocement l'attention des enfants à haut risque et des sujets avec TSA vers le regard de leurs interlocuteurs. Ainsi, l'un de ces modèles, le modèle de DENVER, a récemment montré son intérêt par l'intermédiaire de l'indice oculométrique « temps passé sur les yeux » (Eye tracking), après 2 ans de prise en charge (en préparation: Schaer et coll).

La question du Biais visuel Gauche dans l'exploration des visages

Il a habituellement été rapporté que l'exploration d'une image commence par le quart supérieur gauche de l'image en raison d'un traitement préférentiel de l'information spatiale par l'hémisphère droit chez les droitiers (Kimura, 1973). Le champ visuel gauche pourrait être privilégié surtout lors de la perception des visages (Yovel, Levy, Grabowecky, & Paller, 2003). De plus la lecture des images aurait pu dépendre de nos habitudes de lecture de l'écriture. Des études ont montré que les droitiers présentaient une préférence pour des images ayant une directionnalité orientée de la gauche vers la droite (Beaumont, 1985; Levy & Reid, 1976; McLaughlin, 1986) mais uniquement chez les individus ayant appris la lecture de la gauche vers la droite (Chokron & De Agostini, 2000).

Plusieurs études ont ainsi suggéré qu'il existait un biais perceptif visuel pour la partie gauche du stimulus (champ visuel Gauche) lors de l'exploration des visages, en évoquant même l'hypothèse d'un biais spécifique aux stimuli visage en lien avec la latéralité hémisphérique de la zone dédiée au traitement des visages (Brady et al., 2004; 2005; Burt et al., 1997; Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a; Guo et al., 2012).

Ces résultats reposent sur l'évaluation de 2 variables choisies: probabilité que la première fixation se fasse dans l'hémi champ visuel Gauche et nombre total de fixation faites dans l'hémi champ gauche au cours de la fixation. Les populations d'études étaient uniquement des adultes.

Nos résultats n'ont pas permis de conforter cette première hypothèse, puisque nous ne retrouvons pas de biais perceptif visuel Gauche dans notre population typique d'adulte ou d'enfant. Nous ne retrouvons pas non plus de corrélation avec la dominance oculaire, ce qui avait par contre été rapporté par Hernandez et coll. (Hernandez et al., 2009) qui avaient suggéré que la lecture des stimuli visuels tel que les visages était davantage lié à des facteurs innés comme la dominance oculaire (M. R. Reiss, 1997) ou la latéralité hémisphérique, qu'à des facteurs culturels acquis, puisque leurs sujets adultes ayant une dominance oculaire droite débutaient leur exploration dans l'hémi champ gauche, et que les sujets ayant une dominance oculaire gauche la débutaient dans l'hémi champ droit. Nos résultats sont en en faveur d'un début d'exploration indifféremment dans l'hémi champ gauche ou droit puisque 51% de nos sujets adultes typiques débutent leur fixations dans l'hémi champ gauche, mais suggèrent par contre un biais global "d'attention perceptive" pour l'hémi champ droit (ce qui correspond à l'hémi visage gauche du visage regardé) caractérisé par un temps d'exploration de cet hémi champ significativement supérieur à celui de l'hémi champ controlatéral. Ce bais n'est pas retrouvé pour les paysages, en cohérence avec la littérature, qui différencie bien les 2 types de stimuli (objet/ visage) (Guo et al., 2009; Leonards & Scott-Samuel, 2005).

Nos résultats ne répliquent donc pas les résultats des expérimentations sous jacentes à l'hypothèse du Biais perceptif de *scanning* Visuel Gauche pour les visages retrouvé chez les adultes au développement typique. Il semble important de souligner à nouveau que cette hypothèse provient principalement d'études utilisant les chimères des visages ou la méthodologie des bubbles (Butler, Gilchrist, Burt, Perrett, & Jones, 2005a) qui s'intéressaient en réalité à un biais de *jugement* pour les informations issues du champ visuel Gauche.

En considérant l'implication de la dominance oculaire, nos résultats sont en cohérence avec Leonards and Scott-Samuel (2005), qui avaient eux conclu en une indépendance de l'intérêt pour le champ visuel Gauche lors de la perception des visages et la dominance oculaire ou la latéralité manuelle.

Par ailleurs, même si les résultats concernant le biais de jugement perceptif pour la gauche semblent consistants dans le cadre des expérimentations utilisant les images chimériques (pour revue: Butler, 2005), il semble que les résultats soient encore insuffisants pour documenter un biais dans le pattern d'exploration des visages entiers (Grega, Sackeim, Sanchez, Cohen, & Hough, 1988).

En effet, il semble que les adultes prennent en compte de manière privilégiée l'information visuelle des visages qui se trouvent dans le champ Visuel Gauche pour prédire le genre, le type, ou décrire l'émotion, mais l'existence sous jacente d'un biais d'exploration privilégiée du même hémi champ serait à répliquer par d'autres expérimentations afin de conclure. Les visages utilisés sont artificiellement construits et peuvent induire un biais perceptif non retrouvé dans le cadre d'une image de visage non chimérique.

En revanche, nous trouvons un effet du genre sur cette asymétrie attentionnelle/exploratoire. Notre population d'adultes femmes typiques ne marque pas de biais perceptif attentionnel pour les visages. Les études d'Hernandez (2009) et Kun Guo, (2012) sont les seules études à notre connaissance qui se sont intéressés au Biais visuel en oculomotricité pour les visages non chimériques et en situation d'exploration libre sans tâches d'identification de genre ou de visages. L'étude de Guo (2012) renseignait les résultats d'un échantillon constitué de 2/3 de femmes, le temps de présentation était de 3s et leurs critères d'évaluation étaient la probabilité de première saccade à gauche (66%) et le nombre total fixation à Gauche (57%). Ils montrent une indépendance entre le type de tâche et l'existence du biais de balayage vers la gauche, mais la question du genre et de la dominance oculaire, ne sont pas abordés dans cette étude.

Notre évaluation porte sur le temps total passé sur l'un des hémi visages. La population d'adultes hommes marque dans ce cadre un biais pour l'hémi champ droit, pas notre échantillon féminin qui passe autant de temps à explorer l'hémi champ droit ou gauche. Par ailleurs, concernant la probabilité de première fixation: nous retrouvons une absence de bais, concernant les hommes ou les femmes.

Au delà de la question du genre ou de la dominance oculaire, la question de la première saccade qui est retenue dans les études suscitées méritent d'être définie, afin de pouvoir comparer et vérifier que la première saccade (caractérisée par la valeur du délai à la première fixation) signifie bien pour chaque expérimentateur et donc chaque étude, la première fixation dans la ROI. En effet, Van de Belle retrouve de la même manière que nous, une position de la seconde fixation significativement plus importante dans l'hémi champ Gauche, au niveau de l'œil Droit du visage regardé, cohérent dans ce cadre à l'idée d'un biais visuel pour la Gauche. Le temps total induit lui un biais lié à l'hétérogénéité des temps de présentation dans les différentes études. Nos résultats poussent à interroger ces pistes avec des études supplémentaires afin de contrôler les bais évoqués.

La question développementale de ce bais de balayage visuel a été abordée à un niveau très précoce chez des nourrissons de 6 et 11 mois, en oculométrie. Les résultats des études chez les nouveau-nés et nourrissons mettent en évidence soit une instabilité de ce biais pour le champ visuel Gauche lors de la présentation de visages familiers et non familiers, avec la mise en évidence de 2 sous groupes de nourrissons : ceux qui présentent un biais visuel pour la Gauche et un autre groupe clairement orienté spécifiquement vers le champ visuel Droit, soit une grande variance des profils de fixations entre les nourrissons qui entraine des tendance à la significativité mais pas de résultats robustes pour la gauche (S. Liu et al., 2011; Wheeler et al., 2010) (E. Dundas et al., 2012). Nos résultats qui sont les seuls à notre connaissance à explorer ce biais exploratoire chez les enfants et adolescents, suggèrent eux, un pattern d'exploration chez les sujets typiques privilégiant en temps total, l'hémi champ visuel Droit.

Ce résultat n'est pas contradictoire, au contraire, avec l'idée de la spécialisation hémisphérique puisque privilégier les fixations dans l'hémi visage gauche qui est situé dans la partie droite de l'écran lorsque le visage est en position centrale permet de situer le maximum du visage dans l'hémi champ visuel Gauche et donc de privilégier un traitement hémisphérique Droit.

Dans la seule étude chez l'adulte avec TSA (E.Dundas et al., 2011) les stimuli étaient constitués à nouveau d'images chimériques et composites, dans une tâche d'identification de genre.

Cette étude ne retrouve pas de différence en terme de pourcentage de fixation sur l'hémi visage droit ou gauche dans la population des adultes avec TSA. Nos résultats ne répliquent pas ces résultats puisqu'un biais pour l'hémi champ droit est retrouvé quelque soit l'âge du sujet.

La question de la variable retenue pour identifier ce bais (pourcentage de la première fixation, temps passé total, délai à la première fixation), la question de l'artificialité des images chimériques et le rôle de la consigne d'identification et du type de stimuli (vidéo de 30s ou image statique), dans les différents protocoles entraînent des biais de comparaison, qui se reposent dans le cadre des TSA dans les mêmes termes que ceux soulevés dans la population au développement typique.

Ces résultats sont à confronter à de nouvelles expérimentations, afin de tenter de répondre à la question du biais visuel perceptif d'exploration des visages et ses liens avec les biais de traitement (identification, émotion, genre…), avec la spécialisation hémisphérique et/ou l'expérience. En effet, l'implication de l'expérience rentre à nouveau en jeu ici avec les résultats de travaux sur le portage à gauche des nourrissons, qui ont évoqué une piste alternative à la spécialisation hémisphérique pour l'explication du biais de traitement notamment des émotions des visages en privilégiant hémi visage Gauche, liée à l'expérience des nouveaux nés.

La question de l'effet de la virtualisation sur l'exploration des visages

En ce qui concerne l'évaluation de la virtualisation des visages, nos résultats ne sont pas en faveur d'un effet de la virtualisation sur la répartition et le temps passé sur les régions d'intérêts lors de l'exploration d'un visage, que se soit chez les sujets typiques ou avec TSA. Seule une différence est retrouvée chez les enfants typiques avec un temps plus long d'exploration et un ordre plus aléatoire dans les 3 régions d'Intérêt. Ces résultats concordent avec ceux d'Hernandez et coll., (2008 ; 2009) qui retrouvait un effet d'âge sur la comparaison entre exploration visage humain et avatar puisque les sujets testés de 4-6 ans et les sujets de moins de 12 ans passaient plus de temps sur les avatars que sur les visages humains, alors que les sujets adultes passaient autant de temps sur les 2 types de visages, mais pas d'effet notable dans le groupe avec TSA qu'ils avaient évalué.

Nos données suggèrent que les visages humanoïdes, des avatars et de robots qui se distinguent de part une configuration similaire à un visage et une texture « plutôt synthétique », constituent des outils d'attrait au moins identique à un visage réel, puisqu'ils permettent un pattern d'exploration "humain" chez les sujets typiques. Les adultes avec TSA ont par contre montré une différence notable dans la réactivité du diamètre pupillaire par rapport à ce type de visage (humanoïdes) en comparaison aux visages humains, résultat qui est retrouvé également chez les enfants au développement typique.

Nos résultats ne permettent pas d'identifier par contre un intérêt supplémentaire, puisque nous ne retrouvons pas d'augmentation du temps d'exploration ou d'augmentation du temps d'attention vis à vis de ce type de stimuli par rapport à un visage réel, néanmoins, la principale faiblesse de notre évaluation provient de son caractère statique. En effet, il semblerait intéressant d'évaluer l'intérêt de ce type de visage dans le cadre de l'entraînement à la reconnaissance des émotions faciales ou lors de conversation réciproque, en dynamique afin de quantifier le gain d'attention sur ce type de stimulus en mouvement. Nos résultats suggèrent que ces stimuli sont au moins traités de manière similaire aux visages en situation la moins écologique (statique), ce qui est plutôt favorable à leur investissement en dynamique dans un cadre d'intervention thérapeutique ou de remédiations.

La question du diamètre pupillaire

En ce qui concerne les diamètres pupillaires, nos résultats ne suggèrent pas de différences entre le diamètre pupillaire de base des 2 groupes d'enfants, en cohérence avec Fan et coll (2009), mais à la différence de Martineau et coll (2011). Nous retrouvons par contre une différence significative entre les 2 groupes d'adultes. Les adultes avec TSA présentaient un diamètre pupillaire de base inférieur non seulement aux adultes typiques mais aussi aux enfants avec TSA lors de l'exploration des visages, mais ce résultat est à pondérer au vue de l'écart type important dans les groupes.

Cette différence entre population typique et TSA avait été retrouvée entre 2 groupes d'enfants dans l'étude de Martineau et coll. (2011), mais les auteurs soulignaient la relativité de ces résultats dans la mesure ou la variabilité de la réactivité pupillaire et les écarts types de leurs groupes d'enfants étaient importants, ce qui est également le cas de notre étude.

La question de l'effet de la familiarité sur l'exploration des visages

Nos résultats concernant l'incidence de la familiarité sur les patterns de fixations dans nos 2 populations rejoignent les résultats de la littérature, à savoir que nous retrouvons comme d'autres études, une place privilégiée pour les yeux et cela pour les toutes premières fixations (Heisz & Shore, 2008) mais pas de différence sur le temps total passé sur les différents attributs du visage. Nos résultats chez l'adulte typique qui montrent une perte de la séquence temporelle et une dispersion particulièrement importante des fixations sur ce type les visages familiers, vont dans le sens des conclusions données par les auteurs (Althoff & Cohen, 1999; Heisz & Shore, 2008) à savoir, considérer que la familiarité influe plus le pattern "automatique" d'exploration que le temps respectif donné aux différents attributs, avec la caractérisation de pattern de fixation plus idiosyncrasique que pour des visages non familiers. La supériorité du temps passé sur la bouche des visages familiers versus non familiers chez l'adulte va dans le sens d'un investissement socio-émotionnel de ces visages, puisqu'il est décrit une redistribution du temps attentionnel d'exploration des visages sur la bouche lors de l'évaluation émotionnelle, dans les tâches de reconnaissance émotionnelle par exemple. L'aspect développemental de l'effet de familiarité sur l'exploration des visages, a été peu étudié en Eye tracking dans la population typique. Notre population présentant un trouble du Spectre Autistique présente les même modalités d'exploration des visages familiers que les enfants typiques, ce qui est en cohérence avec l'absence d'effet de familiarité retrouvé dans les indices d'oculométries retenus par Dalton et coll. (2007). Par ailleurs, les adultes semblent montrer un intérêt particulier pour la zone des yeux. Même si le temps passé sur les yeux des visages familiers, n'est pas significativement différent du temps passé sur les yeux des visages non familiers, ils passent plus de 50% de leur temps d'exploration des visages sur cette zone. Ce type de visage pourrait donc avoir un intérêt dans le cadre de rééducation de l'intentionnalité et des émotions. Par contre les résultats des 2 groupes au développement typique engagent paradoxalement également à la prudence dans l'utilisation de ce type de visages pour la rééducation, car ces visages familiers ont également comme caractéristiques principales, d'entrainer une idiosyncrasie d'exploration avec perte des modalités automatiques, ce qui pourrait engendrer des freins à la généralisation. D'autres travaux plus spécifiques d'évaluation des types de visages utilisés cette fois, dans un cadre rééducatif et leur potentiel à la généralisation, pourraient répondre à cette question.

La question de l'effet d'espèce sur l'exploration des visages

Nous avons vu que nos travaux sont en faveur d'un effet d'espèce lors de l'exploration des visages statiques, dans la population typique et de manière corrélée en âge dans la population avec TSA.

Cet effet répond à des aspects développementaux, puisque les enfants et les adultes ne présentent pas les mêmes caractéristiques d'exploration et que les enfants répondent surtout à des caractéristiques idiosyncrasiques. Chaque individu typique présente une dispersion de l'attention et des fixations qui lui est propre, même si les yeux restent pour les adultes la zone de fixation privilégiée en terme de temps passé et de délai à la première fixation. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de Kano (2010) en population typique, qui retrouvait la persistance d'un pattern de fixation privilégiant les yeux versus la bouche (tout particulièrement pour les chimpanzés) et des patterns de fixations nettement plus éparpillées en dehors des traits internes du triangle classique : yeux, bouche pour les visages d'animaux en général (lions, chat ect…).

On retrouve cet effet d'espèce chez les sujets avec TSA, qui ont la même exploration des visages d'animaux que les sujets typiques appariés en âge.

Ces résultats renforcent malgré les biais d'effectif de chaque étude et la question du dessin des ROI, les résultats qui paraissaient contradictoires des 2 études que nous avions retrouvées évaluant en Eye tracking les visages d'animaux. En effet, concernant cette zone des yeux, l'étude de Bielczyk (2013) chez 6 adultes avec TSA retrouvait que le temps passé sur la zone des yeux des animaux était supérieur à celui passé sur la zone des yeux des visages humains, alors que (Bayram et al., 2013) qui s'intéressait cette fois à des enfants avec TSA sur un visage de chien montrait que les enfants avec TSA passaient significativement moins de temps sur les yeux des animaux versus les yeux humains. Nos résultats sont en faveur de cette distinction développementale qui renseigne un intérêt inférieur (évitement?) pour la zone des yeux chez les enfants lors de l'exploration des visages d'animaux et un intérêt supérieur à l'âge adulte.

Ces résultats, mis en parallèle avec les propos de Temple Granding adulte présentant un TSA, et qui écrivait dans un de ses livres qu'elle présentait une réaction aversive pour le contact oculaire œil/œil, mais que par contre, elle nouait plus facilement relation avec des animaux qu'avec des humains (Grandin & Johnson, 2009) permettent d'envisager ce type de visage comme potentiel intermédiaire visage pour l'entrainement des émotions et au travail sur l'intentionnalité en nuançant cette utilisation à la population adulte.

La distinction entre les résultats des enfants et des adultes permet d'illustrer avec ce type de visages, la possibilité de développement d'un module de balayage des visages qui même si il n'est pas automatisé dans le temps (absence de séquence) est plus net dans l'organisation spatiale pour les adultes avec TSA. Ceux ci ont développé pour ce seul type de visages une exploration équivalente à celle des adultes typiques, et ceci avec une distribution selon les attributs classiques.

L'organisation perceptive du balayage semble donc possible dans le développement des sujets avec TSA. "L'aversion du contact oculaire" ou tout du moins, son corrélat oculométrique caractérisé par la diminution d'intérêt portée aux yeux, pourrait être accentuée chez les personnes avec TSA particulièrement pour les visages humains au cours de leur développement.

Nos résultats des mesures des diamètres pupillaires moyens, qui montrent une différence significative avec un diamètre plus faible lors de l'exploration des visages humains (familiers ou non) chez les adultes avec TSA, même diminution que l'on retrouve chez les enfants typiques lors de l'exposition aux visages d'animaux, vont également dans ce sens. Un niveau élevé de stress est corrélé habituellement à une diminution du diamètre pupillaire et pourrait être responsable de l'évitement ou désautomatisation du parcours d'exploration des visages humains chez les sujets adultes avec TSA (Dalton et al., 2005).

Les limites de notre expérimentation

Les limites de nos travaux sont importantes à considérer afin de relativiser les résultats évoqués. En effet, nos évaluations se centrent sur des images statiques ce qui limite les hypothèses en situation de vie réelle et l'impact de nos résultats sur les enjeux thérapeutiques en situation de rééducation.

Les critiques évoquées dans la partie I concernant les résultats contradictoires de la littérature illustrent les précautions à prendre lors de l'interprétation de comportements considérés comme témoins de compétences ou défaillances sociales en situation expérimentale, et notamment statique. Il semble indispensable de proposer ces évaluations en situation dynamique voir plus écologique en « face to face ».

Un autre biais concerne nos effectifs qui sont modérés. Par ailleurs, nos critères d'inclusions ne nous ont permis d'obtenir que 2 points de références d'âges : adulte et enfants âgés de plus de 12 ans. Il aurait été intéressant de pouvoir avoir un troisième échantillon d'enfants typiques et avec TSA plus jeune (<12 ans) afin de rendre compte de manière plus précise des doubles enjeux développementaux et d'exposition. Nous avons vu, que dans le cadre des hypothèses développementales du module de reconnaissance des visages, celui-ci semble mature à 12 ans. Il aurait été également intéressant de pouvoir évaluer les patterns d'exploration chez des enfants et adultes avec un diagnostic d'anxiété sociale (posé dans les deux cas dans l'enfance) afin d'avoir un indice de réactivité émotionnelle à l'exposition aux visages et le possible impact sur le développement d'un pattern d'exploration.

CONCLUSION et PERSPECTIVES

Dans l'environnement de l'enfant en développement, le visage et la richesse de l'information qu'il concentre reste un stimulus clé dans l'émergence de compétences qui seront définies plus tard comme indispensables à une intégration sociale de qualité. Indispensables à la gestion des informations complexes qui permettront le maximum de flexibilité et d'ajustement au contexte social mais également indispensables à l'épanouissement des individus dans leur relation à l'autre.

Nous avons vu que le module de reconnaissance des visages a été intensément étudié, selon plusieurs angles de vue et avec l'objectif de définir des contours spécifiques par rapport aux autres stimuli visuels sociaux et non sociaux présents dans l'environnement des individus.

Il semble donc que ce système mette en jeux une multitude de compétences cognitives et de niveau d'intégration cérébrale qui se situent dans un carrefour de contraintes imposées tant par le patrimoine génétique que par l'expérience de l'individu.

Nous avons souhaité dans ce travail aborder ce sujet en tentant de simplifier la question du développement et celle de l'expérience par l'évaluation croisée de groupes d'enfants et de groupes d'adultes dans les deux conditions cliniques relatives aux compétences et difficultés de socialisation. Les sujets avec TSA présentent une pathologie neuro développementale qui peut actuellement être pensée comme prototype d'un défaut de maturation des éléments et processus neurologiques permettant une organisation du « cerveau social » dédié à la compréhension et la participation au monde social. Dans les descriptions cliniques du Trouble Autistique, l'absence de contact oculaire, l'aspect indifférent, amimique des enfants porteurs du trouble et leur manque d'intérêt « formalisé » pour les visages de leurs interlocuteurs a été autant décrit et mis en exergue que leurs difficultés de communication ou leurs stéréotypies et intérêts restreints. Dans les nouvelles classifications (DSMV), on assiste à un regroupement des dimensions d'interaction sociale (qui inclu ces particularités de contact visuel) et de communication qui suggère une causalité initiale unique de ces deux anomalies. Il semble que la question de la modalité d'entrée perceptive des enfants avec TSA dans le monde social soit une réelle donnée relative à l'émergence du trouble. Aujourd'hui, cette modalité perceptive est de plus en plus considérée comme un marqueur endophénotypique des populations dites « à risque » de développer le trouble.

Dans deux premières études comportementales, nous avons montré que l'expérience permettait de moduler la maturation du processus de traitement des visages au long du développement. L'exposition aux visages familiers permet d'affiner la représentation en mémoire de ceux ci. Nous avons également montré que les sujets avec TSA bénéficiaient, du moins dans un rappel implicite, de l'exposition aux visages.

Dans notre second axe d'expérimentation, nous avons montré que couplé à l'exposition, le développement de ce module aboutissait à une automatisation de la prise d'information visuelle dans une situation d'exploration du visage statique chez les sujets au développement typique. Nous avons également montré que cette automatisation suivait les repères internes classiques selon une hiérarchie temporelle et spatiale grâce à un traitement statistique original des données éliminant les biais inhérents à une analyse à posteriori.

Notre évaluation a permis de conclure à la mise en place progressive de ce "tracker automatisé" des visages au cours du développement et à l'absence de maturation de ce même "tracker facial" dans le développement du TSA. Ces résultats ont permis de redéfinir mais également complexifier les hypothèses "d'évitement du regard" et "d'exces mouth diminued eyes contact" proposées pour illustrer les difficultés de lecture du monde social dans ce trouble.

Nos résultats sont favorables à l'hypothèse d'un effet d'espèce et d'un effet de familiarité des visages dans la population typique, sensibles tous deux au développement et présents également dans la population de sujets avec TSA. Les visages virtuels sont eux traités perceptivement comme des visages humains par les sujets avec TSA et par les sujets typiques, avec un léger gain d'intérêt de la part des enfants typiques. Nous ne retrouvons pas d'effet spécifique des visages virtuels.

Pouvoir, en tant que psychiatre clinicien, aborder dans le cadre d'un travail expérimental bien sûr réducteur et focalisé, mais rigoureux et trans-individuel, la question de la prise d'information sociale avec un point de vue cogniticien, permet de réduire les enjeux « internes » dont l'enjeux « motivationnel » qui a longtemps caractérisé l'approche des « troubles du social »et des troubles autistiques en France.

Cette approche permet, en toute connaissance des limites d'un seul angle de vue, d'envisager l'intégration d'une évaluation des modalités perceptives de base dans la pratique d'évaluation individuelle mais peut également engager de nouvelles perspectives thérapeutiques à venir.

Comment rentrons nous en « contact » perceptif avec autrui et à quel point notre développement couplé à notre expertise influe sur cette prise de contact en l'automatisant et la spécifiant ? Poser cette question dans le cadre contraint que nous avons choisi mais également subit du fait de l'organisation technique des expériences en eye tracking, nous a suggéré de nouvelles voies d'études notamment celle d'intégrer une composante de réciprocité dans le traitement de l'information. L'extension des études en eye tracking dans un cadre écologique avec des dispositifs mobiles (Eye tracker sur lunettes en WI FI) pourrait permettre de vérifier que les automatismes d'exploration que nous avons décrits lors de l'exploration des visages statiques restent des modalités perceptives dans le monde plus écologique et dynamique ou si d'autres automatismes « forcés » par le contexte apparaissent.

Au vu des résultats des études suggérant l'augmentation d'intérêt pour la bouche lors de scènes d'interactions avec contenu sonore, nous pourrions imaginer un balayage s'automatisant avec notre 3ème ROI (Bouche) dans un ballet d'aller-retour, ou l'hypothèse inverse, d'un positionnement « automatisé » et fixé sur un Centre de Gravité Occulaire permettant à l'individu de percevoir le plus de modification dynamique du visage et intégrer l'ensemble de ces modifications afin de traiter le tout y compris les modifications dynamiques temporelles et spatiales dans un traitement hautement économique donc procédural.

La question de l'automatisation de cette prise d'information, au delà de son intérêt purement théorique sous tend la question de l'intervention sinon thérapeutique, tout du moins rééducative.

Nos résultats ne permettent pas de répondre à la place respective de l'expérience et du développement car l'étude de nos deux groupes cliniques ne permet pas de s'assurer que les adultes avec TSA et les adultes typiques ont été soumis à la même expérience pour les visages. Mais ce point peut néanmoins être discuté. Le défaut d'automatisation du pattern d'exploration des visages chez les sujets TSA est il du à un défaut d'expertise par sous exposition aux visages ?

Cette position est difficilement tenable dans l'état actuel de nos hypothèses concernant d'une part les processus de maturation qui ne peuvent être exclusifs l'un de l'autre et dans l'état actuel de nos modes de vies, ou à partir du moment ou les individus et c'est le cas de notre groupe d'adultes avec TSA ont une intégration dans le monde social, il semble compliqué de l'imaginer « hypo-exposante » de manière significative dans le cadre d'une vie entière.

Dans nos 2 premières études comportementales, sur la mémoire implicite des visages familiers, on a pu voir que l'exposition aux visages familiers est suffisante pour que les sujets avec TSA (adultes et enfants) non seulement perçoivent les asymétries fines droites/ gauche, mais qu'ils les avaient stocké en mémoire et qu'elles influençaient des manière forte leur rappel implicite. Par contre, leur propre visage n'est pas expertisé.

Ces résultats mis en lien avec les résultats des études comportementales de reconnaissances de genre, d'identification ne corroborent pas l'hypothèse de l'hypo-exposition au stimulius visage comme exclusif en tout cas.

Même si encore peu d'études se sont intéressées à la course développementale du module de reconnaissance des visages en Eye tracking, nous avons vu que l'hypothèse actuellement retenue est celle qui considère que l'expérience visuelle, combinée à certaines règles de maturation du système nerveux permettrait de moduler les réponses ainsi que l'organisation fonctionnelle du cortex à certaines périodes critiques du développement. Etant donné que les catégories de visages auxquelles les nourrissons et les enfants puis les adultes sont exposés restent le plus souvent identiques au fil des années c'est l'environnement qui agirait en réalité comme un filtre et entrainerait la spécialisation progressive des représentations faciales et de leurs outils de traitement. Pour notre population clinique, les règles de maturation qui obéissent à des règles innées, à des périodes clés du développement pourraient être désorganisées, ce qui les prive du socle leur permettant d'engranger l'expérience, qui ne peut donc jouer son rôle de filtre ou de "spécialisateur". Leur exploration resterait immature.

Les enfants avec TSA ne présentent pas d'atypies dans la prise d'information, si on les compare à leurs pairs typiques, hormis une diminution quantitative du temps passé sur les yeux.

L'hypothèse d'un blocage à un stade développemental immature de ce module « perception des visages », dans le cadre de nos travaux, dans son stade basique de "prise d'information perceptive visuelle" rejoint plusieurs autres résultats dans les domaines perceptifs/ sensoriels (par ex auditifs). Dans le cadre de ces résultats il est suggéré que les étapes clés dans le développement (dont la réussite a une double origine: rencontre entre la maturation et l'environnement) soient mal structurées dans le développement de ce trouble.

Une des pistes thérapeutiques pourrait être alors de proposer un "filtre" artificiel et accélérer le processus de maturation qui est défaillant. La technique de "la loupe forcée" en Eye tracking pourrait, dans le cadre initial qui nous intéresse être un outil intéressant à coupler aux méthodes de rééducation. Cette technique permet de mettre l'accent sur une zone ou un aspect de la scène visuelle lorsque celle ci défile pour l'individu, en floutant le reste de l'écran. Elle pourrait permettre d'accentuer et potentialiser l'intégration entre l'information signifiante à retenir, d'un point de vue social, et l'origine de la prise de cette information. Cette technique peut être proposée à l'échelle d'un visage avec des émotions différentes ou non, ou à l'échelle d'une scène d'interaction sociale.

Si comme nous l'avons montré, cette prise d'information s'automatise dans le cadre d'un développement typique et cela probablement dans le cadre d'une économie cognitive, il semblerait intéressant d'évaluer si l'entraînement à l'automatisation d'une exploration dans le cadre d'une rééducation entraîne un gain (de temps et de compétences) pour l'individu en situation sociale, lui permettant de traiter plus de stimulations sociales complexes en même temps et de les intégrer plus facilement pour en tirer un sens social global, contextuel.

De manière plus empirique, il pourrait être intéressant d'évaluer la réactivité de l'exploration et d'autres marqueurs du traitement des visages (capacité à l'identification des émotions) toujours sur le principe de chimères ou morphing faces, mais en se basant sur les résultats de l'effet espèce, en proposant des morphing inter-espèces en privilégiant les zones des yeux d'une autre espèce. Afin d'évaluer la notion d'évitement du regard et en associant avec des enregistrement cérébraux en imagerie fonctionnelle, afin d'évaluer la synchronie et la réactivité de l'amygdale.

En effet, au delà de l'intrication inné/acquis ou intrication au cours du développement de la maturation d'un module programmé et de l'exposition aux visages, un 3ème paramètre semble à prendre en compte et interagir avec la notion d'exposition ou du moins avec la la capacité d'intégration des expériences acquises avec les visages des sujets avec TSA. L'intégration de l'expérience avec les visages au sein d'un dispositif inné qui préprogramme le traitement spécifique des visages (si il existe), doit être permis par des conditions qui se veulent réplicables à 2 niveaux distincts : externe (stabilité des marqueurs du contexte) et interne (stabilité de la réactivité aux stimuli externes). Si la charge émotionnelle est trop intense lors de la rencontre avec le stimulus en question, l'intégration de l'expérience au module de base pourrait être entravée, ou si cela se fait plus tard dans le développement, l'expression du module « balayage perceptif des visages » pourrait être entravée.

Ainsi, la présence de marqueurs émotionnels négatifs illustrés au travers de la diminution du diamètre pupillaire que l'on retrouve seulement à l'âge adulte chez les TSA questionne sur l'implication du stress et au travers de lui sur l'implication de l'amygdale dans l'évitement ou les particularités de balayage des visages humains dans la population des sujets avec TSA.

Bien au-delà du rappel de la nécessité d'intégrer les aspects motivationnels et/ou émotionnels dans leur ensemble dans toute théorisation sur les modalités perceptives ou cognitives d'un individu, cette réflexion appelle surtout à la prise en compte de cette réactivité émotionnelle dans les approches rééducatives quelque soient les outils envisagés.

REFERENCES

Adolphs, R., Sears, L., & Piven, J. (2001). Abnormal processing of social information from faces in autism. *Journal of cognitive neuroscience*, *13*(2), 232–240.

Adrien, J. L., Faure, M., Perrot, A., Hameury, L., Garreau, B., Barthelemy, C., & Sauvage, D. (1991). Autism and family home movies: preliminary findings. *Journal of autism and developmental disorders*, *21*(1), 43–49.

Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., Chabris, C. F., O'Connor, E., & Breiter, H. C. (2001). Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, *32*(3), 537–551.

Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D., & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *9*(5), 415–430.

Althoff, R. R., & Cohen, N. J. (1999). Eye-movement-based memory effect: a reprocessing effect in face perception. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *25*(4), 997–1010.

American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. (4th ed., text revision, Ed.). Washington, DC: American Psychiatric Association.

Amsterdam, B. (1972). Mirror self-image reactions before age two. *Developmental psychobiology*.

Anastasi, J. S., & Rhodes, M. G. (2005). An own-age bias in face recognition for children and older adults. *Psychonomic bulletin & review*, *12*(6), 1043–1047.

Aranda, C., Madrid, E., Tudela, P., & Ruz, M. (2010). Category expectations: a differential modulation of the N170 potential for faces and words. *Neuropsychologia*, *48*(14), 4038–4045. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.10.002

Arizpe, J., Kravitz, D. J., Yovel, G., & Baker, C. I. (2012). Start position strongly influences fixation patterns during face processing: difficulties with eye movements as a measure of information use. *PLoS ONE*, *7*(2), e31106. doi:10.1371/journal.pone.0031106

Ashwin, C., Ashwin, C., Wheelwright, S., Wheelwright, S., Baron-Cohen, S., & Baron-Cohen, S. (2005). Laterality Biases to Chimeric Faces in Asperger Syndrome: What is Right About Face-Processing? *Journal of autism and developmental disorders*, *35*(2), 183–196. doi:10.1007/s10803-004-1997-3

Ashwin, C., van Belle, G., van Belle, G., Wheelwright, S., & Baron-Cohen, S. (2010). Fixation patterns during recognition of personally familiar and unfamiliar faces. *Frontiers in psychology*. doi:10.3389/fpsyg.2010.00020

Atkinson, B. (1984). Milestone for children. *Nursing standard : official newspaper of the Royal College of Nursing*, (372), 5.

Aylward, E. H., Park, J. E., Field, K. M., Parsons, A. C., Richards, T. L., Cramer, S. C., & Meltzoff, A. N. (2005). Brain activation during face perception: evidence of a developmental change. *Journal of cognitive neuroscience*, *17*(2), 308–319. doi:10.1162/0898929053124884

Banks, M. S., & Ginsburg, A. P. (1985). Infant visual preferences: a review and new theoretical treatment. *Advances in child development and behavior*, *19*, 207–246.

Bargh, J. A., & Chartrand, T. L. (1999). The unbearable automaticity of being. *American psychologist*.

Baron-Cohen, S., Baldwin, D. A., & Crowson, M. (1997a). Do children with autism use the speaker's direction of gaze strategy to crack the code of language? *Child Dev*, *68*(1), 48–57.

Baron-Cohen, S., Jolliffe, T., Mortimore, C., & Robertson, M. (1997b). Another advanced test of theory of mind: evidence from very high functioning adults with autism or asperger syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*, *38*(7), 813–822.

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition*, *21*(1), 37–46.

Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., & Williams, S. C. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *11*(6), 1891–1898.

Bartlett, J. C., & Leslie, J. E. (1986). Aging and memory for faces versus single views of faces. *Memory & cognition*, *14*(5), 371–381.

Bartlett, J. C., Searcy, J. H., & Abdi, H. (2003). What are the routes to face recognition. *Perception of faces, objects and scenes: Analytic and holistic processes*, 21–52. doi:10.1111/j.1551-6709.2009.01059.x

Bartneck, C., Croft, E., & Kulic, D. (2008). Measuring the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence and perceived safety of robots, *471*, 37–44.

Barton, J. J., Radcliffe, N., Cherkasova, M. V., Edelman, J., & Intriligator, J. M. (2006). Information processing during face recognition: the effects of familiarity, inversion, and morphing on scanning fixations. *Perception*, *35*(8), 1089–1105.

Bayram, S., Bayram, S., Esgin, E., & Esgin, E. (2013). Patterns of Visual Attention and Gaze to Human and Animal Faces in Children with Autism Spectrum Disorders. *World Journal on Educational Technology*, *4*(3), 165–176.

Bäckman, L. (1991). Recognition memory across the adult life span: the role of prior knowledge. *Memory & cognition*, *19*(1), 63–71.

Beaumont, J. G. (1985). Lateral organization and aesthetic preference: the importance of peripheral visual asymmetries. *Neuropsychologia*, *23*(1), 103–113.

Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently: visual processing in autism. *Trends Cogn Sci*, *10*(6), 258–264. doi:10.1016/j.tics.2006.05.001

Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of cognitive neuroscience*, *8*(6), 551–565. doi:10.1162/jocn.1996.8.6.551

Bentin, S., Taylor, M. J., Rousselet, G. A., Itier, R. J., Caldara, R., Schyns, P. G., et al. (2007). Controlling interstimulus perceptual variance does not abolish N170 face sensitivity. *Nature neuroscience*, *10*(7), 801–2– author reply 802–3. doi:10.1038/nn0707-801

Benuzzi, F., Pugnaghi, M., Meletti, S., Lui, F., Serafini, M., Baraldi, P., & Nichelli, P. (2007). Processing the socially relevant parts of faces. *Brain Research Bulletin*, *74*(5), 344–356. doi:10.1016/j.brainresbull.2007.07.010

Best, C. A., Minshew, N. J., & Strauss, M. S. (2010). Gender discrimination of eyes and mouths by individuals with autism. *Autism research : official journal of the International Society for Autism Research*, *3*(2), 88–93. doi:10.1002/aur.125

Bielczyk, N., Adolphs, R., Gläscher, J., & Kennedy, D. (2013). Are animal eyes avoided by individuals with autism?

Billard, A., Robins, B., Nadel, J., & Dautenhahn, K. (2007). Building Robota, a mini-humanoid robot for the rehabilitation of children with autism. *Assistive technology : the official journal of RESNA*, *19*(1), 37–49. doi:10.1080/10400435.2007.10131864

Bindemann, M., Burton, A. M., Hooge, I. T. C., Jenkins, R., & de Haan, E. H. F. (2005). Faces retain attention. *Psychonomic bulletin & review*, *12*(6), 1048–1053.

Bindemann, M., Scheepers, C., & Burton, A. M. (2009). Viewpoint and center of gravity affect eye movements to human faces. *Journal of vision*, *9*(2), 7.1–16. doi:10.1167/9.2.7

Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2008). Culture Shapes How We Look at Faces. *PLoS ONE*, *3*(8), e3022. doi:10.1371/journal.pone.0003022.s004

Blaney, R. L., & Winograd, E. (1978). Developmental differences in children recognition memory for faces. *Developmental Psychology*, *14*, 441–442.

Bologna, S. M., & Camp, C. J. (1997). Covert versus overt self-recognition in late stage Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *3*(2), 195–198.

Bonner, L., & Burton, M. (2004). 7-11-year-old children show an advantage for matching and recognizing the internal features of familiar faces: evidence against a developmental shift. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *57*(6), 1019–1029.

Bookheimer, S. Y., Wang, A. T., Scott, A., Sigman, M., & Dapretto, M. (2008). Frontal contributions to face processing differences in autism: evidence from fMRI of inverted face processing. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *14*(6), 922–932. doi:10.1017/S135561770808140X

Boraston, Z., & Blakemore, S. J. (2007). The application of eye-tracking technology in the study of autism. *The Journal of Physiology*, *581*(3), 893–898. doi:10.1113/jphysiol.2007.133587

Bornstein, R. A., & Chelune, G. J. (1989). Factor structure of the Wechsler memory scale-revised in relation to age and educational level. *Arch Clin Neuropsychol*, *4*(1), 15–24.

Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect: Overview and meta-analysis of research, 1968-1987. *Psychological Bulletin*, *106*, 265–289.

Bornstein, R. F., & D'Agostino, P. R. (1992). Stimulus recognition and the mere exposure effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, *63*, 545–552.

Boucher, J., & Lewis, V. (1992). Unfamiliar face recognition in relatively able autistic children. *J Child Psychol Psychiatry*, *33*(5), 843–859.

Boucher, J., Lewis, V., & Collis, G. (1998). Familiar face and voice matching and recognition in children with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *39*(2), 171–181.

Brace, N. A., Hole, G. J., Kemp, R. I., Pike, G. E., Van Duuren, M., & Norgate, L. (2001). Developmental changes in the effect of inversion: using a picture book to investigate face recognition. *Perception*, *30*(1), 85–94.

Brady, N., Brady, N., Campbell, M., Campbell, M., Flaherty, M., & Flaherty, M. (2005). Perceptual asymmetries are preserved in memory for highly familiar faces of self and friend. *Brain and Cognition*, *58*(3), 334–342. doi:10.1016/j.bandc.2005.01.001

Brady, N., Campbell, M., & Flaherty, M. (2004). My left brain and me: a dissociation in the perception of self and others. *Neuropsychologia*, *42*(9), 1156–1161. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.02.007

Bredart, S. (2003). Recognising the usual orientation of one's own face: the role of asymmetrically located details. *Perception*, *32*(7), 805–811.

Bremner, J. D., Shobe, K. K., & Kihlstrom, J. F. (2000). False memories in women with self-reported childhood sexual abuse: An empirical study. *Psychological Science*, *11*, 333–337.

Bruce, C., Desimone, R., & Gross, C. G. (1981). Visual properties of neurons in a polysensory area in superior temporal sulcus of the macaque. *J Neurophysiol*, *46*(2), 369–384.

Bruce, N. D. B., & Tsotsos, J. K. (2009). Saliency, attention, and visual search: An information theoretic approach. *Journal of vision*, *9*(3), 5–5. doi:10.1167/9.3.5

Bruce, V. (1982). Changing faces: visual and non-visual coding processes in face recognition. *British Journal of Psychology*, *73*(Pt 1), 105–116.

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *Br J Psychol*, *77 (Pt 3)*, 305–327.

Bruce, V., Burton, A. M., & Craw, I. (1992). Modelling face recognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *335*(1273), 121–7– discussion 127–8. doi:10.1098/rstb.1992.0015

Bruyer, R., & Velge, V. (1981). [Unilateral cerebral lesion and disturbance of face perception. Specificity of the deficit? (author's transl)]. *Acta neurologica Belgica*, *81*(6), 321–332.

Bruyer, R., Galvez, C., & Prairial, C. (1993). Effect of disorientation on visual analysis, familiarity decision and semantic decision on faces. *British Journal of Psychology*, *84 (Pt 4)*, 433–441.

Buchan, J. N., Paré, M., & Munhall, K. G. (2007). Spatial statistics of gaze fixations during dynamic face processing. *Social Neuroscience*, *2*(1), 1–13. doi:10.1080/17470910601043644

Buitelaar, J. K. (1995). Attachment and social withdrawal in autism: Hypotheses and findings. *Behaviour*.

Burack, J. A. (1994). Selective attention deficits in persons with autism: preliminary evidence of an inefficient attentional lens. *Journal of abnormal psychology*, *103*(3), 535–543.

Burt, D. M., & Perrett, D. I. (1995). Perception of age in adult Caucasian male faces: computer graphic manipulation of shape and colour information. *Proc Biol Sci*, *259*(1355), 137–143. doi:10.1098/rspb.1995.0021

Burt, D. M., Burt, D. M., Perrett, D. I., & Perrett, D. I. (1997). Perceptual asymmetries in judgements of facial attractiveness, age, gender, speech and expression. *Neuropsychologia*, *35*(5), 685–693.

Bushnell, I. (2001). Mother's face recognition in newborn infants: Learning and memory. *Infant and Child Development*.

Bushnell, I. W. (1982). Discrimination of faces by young infants. *J Exp Child Psychol*, *33*(2), 298–308.

Bushnell, I. W. S. F. M. J. T. (1989). Neonatal recognition of the mother's face. *Brtitish Journal of Developmental Psychology*, *7*, 3–15.

Butler, S. H., & Harvey, M. (2008). Effects of aging and exposure duration on perceptual biases in chimeric face processing. *Cortex*, *44*(6), 665–672. doi:10.1016/j.cortex.2007.02.001

Butler, S., Gilchrist, I. D., Burt, D. M., Perrett, D. I., & Jones, E. (2005a). Are the perceptual biases found in chimeric face processing reflected in eye-movement patterns? *Neuropsychologia*.

Butler, S., Gilchrist, I. D., Burt, D. M., Perrett, D. I., Jones, E., & Harvey, M. (2005b). Are the perceptual biases found in chimeric face processing reflected in eye-movement patterns? *Neuropsychologia*, *43*(1), 52–59. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.005

Cabeza, R., & Kato, T. (2000). Features are also important: contributions of featural and configural processing to face recognition. *Psychological Science*, *11*(5), 429–433.

Caharel, S., Courtay, N., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2005). Familiarity and emotional expression influence an early stage of face processing: an electrophysiological study. *Brain Cogn*, *59*(1), 96–100. doi:10.1016/j.bandc.2005.05.005

Caldara, R., & Miellet, S. (2011). iMap: a novel method for statistical fixation mapping of eye movement data. *Behavior Research Methods*, *43*(3), 864–878. doi:10.3758/s13428-011-0092-x

Caldara, R., Caldara, R., Zhou, X., Zhou, X., Miellet, S., & Miellet, S. (2010). Putting Culture Under the “Spotlight” Reveals Universal Information Use for Face Recognition. *PLoS ONE*, *5*(3), e9708. doi:10.1371/journal.pone.0009708.s002

Caldara, R., Schyns, P., Mayer, E., Smith, M. L., Gosselin, F., & Rossion, B. (2005). Does prosopagnosia take the eyes out of face representations? Evidence for a defect in representing diagnostic facial information following brain damage. *Journal of cognitive neuroscience*, *17*(10), 1652–1666. doi:10.1162/089892905774597254

Calder, A. J., & Young, A. W. (2005). Understanding the recognition of facial identity and facial expression. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(8), 641–651. doi:10.1038/nrn1724

Campatelli, G., Federico, R. R., Apicella, F., & Sicca, F. (2013). Face processing in children with ASD: Literature review. *Research in Autism …*.

Campbell, R., Pascalis, O., Coleman, M., Wallace, S. B., & Benson, P. J. (1997). Are faces of different species perceived categorically by human observers? *Proc Biol Sci*, *264*(1387), 1429–1434. doi:10.1098/rspb.1997.0199

Carbon, C.-C., & Leder, H. (2005). Face adaptation: changing stable representations of familiar faces within minutes. *Adv. Exp. Psychol*, *1*, 1–7.

Carey, S. (1994). Are faces perceived as configurations more by adults than by children? *Visual Cognition*, *1*, 253–274.

Carey, S., Diamond, R., & Woods, B. (1980). Development of face recognition-a maturationel component? *Developmental Psychology*, *16*, 257–269.

Cavanagh, P., Labianca, A. T., & Thornton, I. M. (2001). Attention-based visual routines: sprites. *Cognition*, *80*(1-2), 47–60.

Celani, G. (2002). Human beings, animals and inanimate objects: what do people with autism like? *Autism*, *6*(1), 93–102.

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.

Chance, J. E., Turner, A. L., & Goldstein, A. G. (1982). Development of differential recognition for own- and other-race faces. *The Journal of psychology*, *112*(1st Half), 29–37. doi:10.1080/00223980.1982.9923531

Chao, L. L., Haxby, J. V., & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature neuroscience*, *2*(10), 913–919. doi:10.1038/13217

Chawarska, Katarzyna, & 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*(12), 1663–1672. doi:10.1007/s10803-009-0803-7

Chen, A. C., German, C., & Zaidel, D. W. (1997). Brain asymmetry and facial attractiveness: facial beauty is not simply in the eye of the beholder. *Neuropsychologia*, *35*(4), 471–476.

Chokron, S., & De Agostini, M. (2000). Reading habits influence aesthetic preference. *Brain Res Cogn Brain Res*, *10*(1-2), 45–49.

Chugani, H. T., Phelps, M. E., & Mazziotta, J. C. (1987). Positron emission tomography study of human brain functional development. *Annals of neurology*, *22*(4), 487–497. doi:10.1002/ana.410220408

Collin, C. A., Collin, C. A., Therrien, M., Therrien, M., Martin, C., Martin, C., et al. (2006). Spatial frequency thresholds for face recognition when comparison faces are filtered and unfiltered. *Perception & psychophysics*, *68*(6), 879–889.

Collishaw, S. M., & Hole, G. J. (2000). Featural and configurational processes in the recognition of faces of different familiarity. *Perception*, *29*(8), 893–909.

Collishaw, S. M., & Hole, G. J. (2002). Is there a linear or a nonlinear relationship between rotation and configural processing of faces? *Perception*, *31*(3), 287–296.

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(3), 201–215. doi:10.1038/nrn755

Corden, B., Chilvers, R., & Skuse, D. (2008). Avoidance of emotionally arousing stimuli predicts social-perceptual impairment in Asperger's syndrome. *Neuropsychologia*, *46*(1), 137–147. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.08.005

Corenblum, B., & Meissner, C. A. (2006). Recognition of faces of ingroup and outgroup children and adults. *J Exp Child Psychol*, *93*(3), 187–206. doi:10.1016/j.jecp.2005.09.001

Costen, N. P., Parker, D. M., & Craw, I. (1994). Spatial content and spatial quantisation effects in face recognition. *Perception*, *23*(2), 129–146.

Coulon, M., Deputte, B. L., Heyman, Y., & Baudoin, C. (2009). Individual recognition in domestic cattle (Bos taurus): evidence from 2D-images of heads from different breeds. *PLoS ONE*, *4*(2), e4441. doi:10.1371/journal.pone.0004441

Courchesne, E., Townsend, J., Akshoomoff, N. A., Saitoh, O., Yeung-Courchesne, R., Lincoln, A. J., et al. (1994). Impairment in shifting attention in autistic and cerebellar patients. *Behavioral neuroscience*, *108*(5), 848–865.

Cristino, F., Mathôt, S., Theeuwes, J., & Gilchrist, I. D. (2010). ScanMatch: A novel method for comparing fixation sequences. *Behavior Research Methods*, *42*(3), 692–700. doi:10.3758/BRM.42.3.692

Crouzet, S. M., Kirchner, H., & Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *Journal of vision*, *10*(4), 16.1–17. doi:10.1167/10.4.16

Crouzet, S., Thorpe, S. J., & Kirchner, H. (2007). Category-dependent variations in visual processing time. *Journal of vision*.

Curby, K. M., Willenbockel, V., Tanaka, J. W., & Schultz, R. T. (2010). Face processing in autism: insights from the perceptual expertise frameworkl Macquarie University ResearchOnline.

Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Alexander, A. L., & Davidson, R. J. (2007). Gaze-Fixation, Brain Activation, and Amygdala Volume in Unaffected Siblings of Individuals with Autism. *Biological psychiatry*, *61*(4), 512–520. doi:10.1016/j.biopsych.2006.05.019

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*(4), 519–526. doi:10.1038/nn1421

Damasio, A. R., Damasio, H., & Van Hoesen, G. W. (1982). Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology*, *32*(4), 331–341.

Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, *9*(1), 28–30. doi:10.1038/nn1611

Dautenhahn, K. (2002). *Socially Intelligent Agents*. Springer.

Dautenhahn, K., & Billard, A. (2002). Games children with autism can play with Robota, a humanoid robotic doll. *Universal access and …*.

Dautenhahn, K., Ogden, B., & Quick, T. (2002). From embodied to socially embedded agents–implications for interaction-aware robots. *Cognitive Systems Research*.

Davies, G., Ellis, H., & Shepherd, J. (1977). Cue saliency in faces as assessed by the “Photofit” technique. *Perception*, *6*(3), 263–269.

Davies, S., Bishop, D., Manstead, A. S., & Tantam, D. (1994). Face perception in children with autism and Asperger's syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*, *35*(6), 1033–1057.

Dawson, G., Webb, S. J., & McPartland, J. (2005). Understanding the Nature of Face Processing Impairment in Autism: Insights From Behavioral and Electrophysiological Studies. *Developmental Neuropsychology*, *27*(3), 403–424. doi:10.1207/s15326942dn2703_6

De Gelder, B., Vroomen, J., & van der Heide, L. (1991). Face recognition and lip-reading in autism. *Journal of Cognitive Psychology*, *3*, 69–86.

De Haan, M., Johnson, M. H., Maurer, D., & Perrett, D. I. (2001). Recognition of individual faces and average face prototypes by 1-and 3-month-old infants. *Cognitive Development*, *16*(2), 659–678.

De Heering, A. (2009). L'émergence, le développement et la plasticité du système de reconnaissance des visages: la thèse holistique.

De Heering, A., de Liedekerke, C., Deboni, M., & Rossion, B. (2010). The role of experience during childhood in shaping the other-race effect. *Developmental science*, *13*(1), 181–187. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00876.x

De Heering, A., Houthuys, S., & Rossion, B. (2007). Holistic face processing is mature at 4 years of age: evidence from the composite face effect. *J Exp Child Psychol*, *96*(1), 57–70. doi:10.1016/j.jecp.2006.07.001

De Heering, A., Rossion, B., Turati, C., & Simion, F. (2008). Holistic face processing can be independent of gaze behaviour: evidence from the composite face illusion. *J Neuropsychol*, *2*(Pt 1), 183–195.

De Sonneville, L. M. J., Verschoor, C. A., Njiokiktjien, C., Op het Veld, V., Toorenaar, N., & Vranken, M. (2002). Facial identity and facial emotions: speed, accuracy, and processing strategies in children and adults. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, *24*(2), 200–213. doi:10.1076/jcen.24.2.200.989

Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, *79*(1-2), 1–37.

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*(2), 199–210.

Diamond, R., & Carey, S. (1977). Developmental changes in the representation of faces. *J Exp Child Psychol*, *23*(1), 1–22.

Diamond, R., & Carey, S. (1986a). Why faces are and are not special - an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*(2), 107–117.

Diamond, R., & Carey, S. (1986b). Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*(2), 107.

Donnot, J., & Vauclair, J. (2005). Biais de latéralité dans la façon de porter un tres jeune enfant: Une revue de la question. *Neuropsychiatrie de l"Enfance et de l"Adolescence*.

Dundas, E. E., Dundas, E. E., Gastgeb, H. H., Gastgeb, H. H., Strauss, M. S. M., & Strauss, M. S. M. (2012). Left visual field biases when infants process faces: a comparison of infants at high- and low-risk for autism spectrum disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, *42*(12), 2659–2668. doi:10.1007/s10803-012-1523-y

Dundas, E. M., Dundas, E. M., Best, C. A., Best, C. A., Minshew, N. J., Minshew, N. J., et al. (2011). A Lack of Left Visual Field Bias When Individuals with Autism Process Faces. *Journal of autism and developmental disorders*, *42*(6), 1104–1111. doi:10.1007/s10803-011-1354-2

Duyckaerts, C., & Godefroy, G. (2000). Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones. *J Chem Neuroanat*, *20*(1), 83–92.

Edgin, J. O., & Pennington, B. F. (2005). Spatial cognition in autism spectrum disorders: superior, impaired, or just intact? *Journal of autism and developmental disorders*, *35*(6), 729–745. doi:10.1007/s10803-005-0020-y

Ellis, H. D., & Lewis, M. B. (2001). Capgras delusion: a window on face recognition. *Trends in cognitive sciences*, *5*(4), 149–156.

Ellis, H. D., Shepherd, J. W., & Davies, G. M. (1979). Identification of familiar and unfamiliar faces from internal and external features: some implications for theories of face recognition. *Perception*, *8*(4), 431–439.

Eriksen, C. W., & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *11*(5), 583–597.

Esteves, F., Parra, C., Dimberg, U., & Ohman, A. (1994). Nonconscious associative learning: Pavlovian conditioning of skin conductance responses to masked fear-relevant facial stimuli. *Psychophysiology*, *31*(4), 375–385.

Everdell, I. T., Marsh, H. O., Yurick, M. D., Munhall, K. G., & Paré, M. (2007). Gaze behaviour in audiovisual speech perception: asymmetrical distribution of face-directed fixations. *Perception*, *36*(10), 1535–1545.

Faja, S., Webb, S. J., Merkle, K., Aylward, E., & Dawson, G. (2009). Brief report: face configuration accuracy and processing speed among adults with high-functioning autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *39*(3), 532–538. doi:10.1007/s10803-008-0635-x

Falck-Ytter, T., & Hofsten, von, C. (2011a). How special is social looking in ASD: a review. *Prog Brain Res*, *189*, 209–222. doi:10.1016/B978-0-444-53884-0.00026-9

Falck-Ytter, T., & Hofsten, von, C. (2011b). How special is social looking in ASD. In *Progress in Brain Research* (Vol. 189, pp. 209–222). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-444-53884-0.00026-9

Falck-Ytter, T., Fernell, E., Gillberg, C., & Hofsten, von, C. (2010). Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism. *Developmental science*, *13*(6), 864–875. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00942.x

Fan, X., Miles, J. H., Takahashi, N., & Yao, G. (2009). Abnormal transient pupillary light reflex in individuals with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *39*(11), 1499–1508. doi:10.1007/s10803-009-0767-7

Fantz, R. L. (1963). Pattern Vision in Newborn Infants. *Science (New York, N.Y.)*, *140*, 296–297.

Farah, M. J. (1996). Is face recognition “special?” Evidence from neuropsychology. *Behavioural brain research*, *76*(1-2), 181–189.

Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, H. M., & Tanaka, J. R. (1995). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision research*, *35*(14), 2089–2093.

Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is“ special” about face perception? *Psychological review*, *105*(3), 482.

Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *99*(14), 9602–9605. doi:10.1073/pnas.152159999

Farroni, T., Massaccesi, S., Menon, E., & Johnson, M. H. (2007). Direct gaze modulates face recognition in young infants. *Cognition*, *102*(3), 396–404. doi:10.1016/j.cognition.2006.01.007

Farroni, T., Menon, E., & Johnson, M. H. (2006). Factors influencing newborns' preference for faces with eye contact. *J Exp Child Psychol*, *95*(4), 298–308. doi:10.1016/j.jecp.2006.08.001

Feinman, S., & Entwisle, D. R. (1976). Children“s ability to recognize other children’s faces. *Child Dev*, *47*(2), 506–510.

Ferber, S., & Murray, L. J. (2005). Are perceptual judgments dissociated from motor processes?--A prism adaptation study. *Brain Res Cogn Brain Res*, *23*(2-3), 453–456. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.11.007

Ferrari, M., & Matthews, W. S. (1983). Self-recognition deficits in autism: syndrome-specific or general developmental delay? *Journal of autism and developmental disorders*, *13*(3), 317–324.

Fichtenholtz, H. M., Hopfinger, J. B., Graham, R., Detwiler, J. M., & LaBar, K. S. (2007). Happy and fearful emotion in cues and targets modulate event-related potential indices of gaze-directed attentional orienting. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *2*(4), 323–333. doi:10.1093/scan/nsm026

Fletcher-Watson, S., Leekam, S. R., Benson, V., Frank, M. C., & Findlay, J. M. (2009). Eye-movements reveal attention to social information in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia*, *47*(1), 248–257. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.016

Flin, R. H. (1985). Development of face recognition: an encoding switch? *British Journal of Psychology*, *76*, 123–134.

Fombonne, E. (2005). Epidemiology of autistic disorder and other pervasive developmental disorders. *J Clin Psychiatry*, *66 Suppl 10*, 3–8.

Fombonne, E., Quirke, S., & Hagen, A. (2009). Prevalence and interpretation of recent trends in rates of pervasive developmental disorders. *McGill journal of medicine : MJM : an international forum for the advancement of medical sciences by students*, *12*(2), 73.

Fraser, I. H., Craig, G. L., & Parker, D. M. (1990). Reaction time measures of feature saliency in schematic faces. *Perception*, *19*(5), 661–673.

Fu, G., Hu, C. S., Wang, Q., Quinn, P. C., & Lee, K. (2012). Adults scan own- and other-race faces differently. *PLoS ONE*, *7*(6), e37688. doi:10.1371/journal.pone.0037688

Fulton, A., & Bartlett, J. C. (1991). Young and old faces in young and old heads: the factor of age in face recognition. *Psychology and aging*, *6*(4), 623–630.

Garrido, L., Duchaine, B., & Nakayama, K. (2011). Face detection in normal and prosopagnosic individuals. *Journal of Neuropsychology*, *2*(1), 119–140. doi:10.1348/174866407X246843

Gathers, A. D., Bhatt, R., Corbly, C. R., Farley, A. B., & Joseph, J. E. (2004). Developmental shifts in cortical loci for face and object recognition. *Neuroreport*, *15*(10), 1549–1553.

Gauthier, I., Behrmann, M., & Tarr, M. J. (1999a). Can face recognition really be dissociated from object recognition? *Journal of cognitive neuroscience*, *11*(4), 349–370.

Gauthier, I., Gauthier, I., Skudlarski, P., Skudlarski, P., Gore, J. C., Gore, J. C., et al. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature neuroscience*, *3*(2), 191–197. doi:10.1038/72140

Gauthier, I., Gauthier, I., Tarr, M. J., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Anderson, A. W., et al. (1999b). Activation of the middle fusiform “face area” increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature neuroscience*, *2*(6), 568–573. doi:10.1038/9224

Gemperle, F., Forlizzi, J., & Kiesler, S. (2002). All robots are not created equal: the design and perception of humanoid robot heads. Presented at the Proceedings of the 4th ….

George, P. A., & Hole, G. J. (1995). Factors influencing the accuracy of age estimates of unfamiliar faces. *Perception*, *24*(9), 1059–1073.

Giedd, J. N., Snell, J. W., Lange, N., Rajapakse, J. C., Casey, B. J., Kozuch, P. L., et al. (1996). Quantitative magnetic resonance imaging of human brain development: ages 4-18. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *6*(4), 551–560.

Gilbert, C., & Bakan, P. (1973). Visual asymmetry in perception of faces. *Neuropsychologia*, *11*(3), 355–362.

Gilchrist, A., & McKone, E. (2003). Early maturity of face processing in children: Local and relational distinctiveness effects in 7-year-olds. *Visual Cognition*, *10*, 769–793.

Gliga, T., & Gliga, T. (2003). La reconnaissance des visages par le nourrisson. *Médecine & enfance*, *23*(9), 553–564.

Goffaux, V., & Rossion, B. (2006). Faces are “spatial--”holistic face perception is supported by low spatial frequencies. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *32*(4), 1023–1039. doi:10.1037/0096-1523.32.4.1023

Goffaux, V., Goffaux, V., Hault, B., Hault, B., Michel, C., Michel, C., et al. (2005). The respective role of low and high spatial frequencies in supporting configural and featural processing of faces. *Perception*, *34*(1), 77–86. doi:10.1068/p5370

Golarai, G., Ghahremani, D. G., Whitfield-Gabrieli, S., Reiss, A., Eberhardt, J. L., Gabrieli, J. D. E., & Grill-Spector, K. (2007). Differential development of high-level visual cortex correlates with category-specific recognition memory. *Nature neuroscience*, *10*(4), 512–522. doi:10.1038/nn1865

Golarai, G., Grill-Spector, K., & Reiss, A. L. (2006). Autism and the development of face processing. *Clinical Neuroscience Research*, *6*(3-4), 145–160. doi:10.1016/j.cnr.2006.08.001

Goldberg, M. C., Lasker, A. G., Zee, D. S., Garth, E., Tien, A., & Landa, R. J. (2002). Deficits in the initiation of eye movements in the absence of a visual target in adolescents with high functioning autism. *Neuropsychologia*, *40*(12), 2039–2049.

Goodman, G. S., Sayfan, L., Lee, J. S., Sandhei, M., Walle-Olsen, A., Magnussen, S., et al. (2007). The development of memory for own- and other-race faces. *J Exp Child Psychol*, *98*(4), 233–242. doi:10.1016/j.jecp.2007.08.004

Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, *56*(4), 544–549.

Gorno-Tempini, M. L., Gorno-Tempini, M. L., Price, C. J., Price, C. J., Josephs, O., Josephs, O., et al. (1998). The neural systems sustaining face and proper-name processing. *Brain : a journal of neurology*, *121 (Pt 11)*, 2103–2118.

Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2001). Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks. *Vision research*, *41*(17), 2261–2271.

Grandin, T. (2009). *Thinking in Pictures*. Bloomsbury Publishing.

Grandin, T., & Johnson, C. (2009). *Animals in Translation*. Simon and Schuster.

Greenwald, A. G., & Banaji, M. R. (1995). Implicit social cognition: attitudes, self-esteem, and stereotypes. *Psychol Rev*, *102*(1), 4–27.

Grega, D. M., Sackeim, H. A., Sanchez, E., Cohen, B. H., & Hough, S. (1988). Perceiver bias in the processing of human faces: neuropsychological mechanisms. *Cortex*, *24*(1), 91–117.

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*(3), 213–225.

Grelotti, D. J., Klin, A. J., Gauthier, I., Skudlarski, P., Cohen, D. J., Gore, J. C., et al. (2005). fMRI activation of the fusiform gyrus and amygdala to cartoon characters but not to faces in a boy with autism. *Neuropsychologia*, *43*(3), 373–385. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.015

Grice, S. J., Spratling, M. W., Karmiloff-Smith, A., Halit, H., Csibra, G., de Haan, M., & Johnson, M. H. (2001). Disordered visual processing and oscillatory brain activity in autism and Williams syndrome. *Neuroreport*, *12*(12), 2697–2700.

Grill-Spector, K., Golarai, G., & Gabrieli, J. (2008). Developmental neuroimaging of the human ventral visual cortex. *Trends Cogn Sci*, *12*(4), 152–162. doi:10.1016/j.tics.2008.01.009

Gross, C. G., & Sergent, J. (1992). Face recognition. *Curr Opin Neurobiol*, *2*(2), 156–161.

Gross, T. F. (2002). Perception of human and nonhuman facial age by developmentally disabled children. *Journal of autism and developmental disorders*, *32*(3), 169–179. doi:10.1023/A%3A1015445629062

Guidetti, M., & Tourrette, C. (1993). *Evaluation de la communication sociale précoce*.

Guo, K., Guo, K., Smith, C., Smith, C., Powell, K., Powell, K., et al. (2012). Consistent left gaze bias in processing different facial cues. *Psychological research*, *76*(3), 263–269. doi:10.1007/s00426-011-0340-9

Guo, K., Meints, K., Hall, C., Hall, S., & Mills, D. (2008). Left gaze bias in humans, rhesus monkeys and domestic dogs. *Animal Cognition*, *12*(3), 409–418. doi:10.1007/s10071-008-0199-3

Guo, K., Meints, K., Hall, C., Hall, S., & Mills, D. (2009). Left gaze bias in humans, rhesus monkeys and domestic dogs. *Animal Cognition*.

Hadjikhani, N., Joseph, R. M., Snyder, J., Chabris, C. F., Clark, J., Steele, S., et al. (2004). Activation of the fusiform gyrus when individuals with autism spectrum disorder view faces. *NeuroImage*, *22*(3), 1141–1150. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.03.025

Haig, N. D. (1984). The effect of feature displacement on face recognition. *Perception*, *13*(5), 505–512.

Haig, N. D. (1985). How faces differ--a new comparative technique. *Perception*, *14*(5), 601–615.

Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the face in the crowd: an anger superiority effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(6), 917–924.

Happé, F. (1995). *Autism*. Harvard University Press.

Harmon-Jones, E., & Allen, J. J. B. (2001). The Role of Affect in the Mere Exposure Effect: Evidence from Psychophysiological and Individual Differences Approaches. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *27*(7), 889–898. doi:10.1177/0146167201277011

Harms, M. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2010). Facial Emotion Recognition in Autism Spectrum Disorders: A Review of Behavioral and Neuroimaging Studies. *Neuropsychology Review*, *20*(3), 290–322. doi:10.1007/s11065-010-9138-6

Harrison, A. A. (1977). Mere exposure. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (pp. 39–83). New York: Academic Press.

Hauck, M., Fein, D., Maltby, N., Waterhouse, L., & Feinstein, C. (1998). Memory for Faces in Children with Autism. *Child Neuropsychology (Neuropsychology, Development and Cognition: Section C)*, *4*, 187–198.

Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2002). Human neural systems for face recognition and social communication. *Biological psychiatry*, *51*(1), 59–67.

Haxby, J., Haxby, J., Hoffman, E., Hoffman, E., Gobbini, M., & Gobbini, M. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, *4*(6), 223–233.

Hayes, A. (1988). Identification of two-tone images; some implications for high- and low-spatial-frequency processes in human vision. *Perception*, *17*(4), 429–436.

Heisz, J. J., & Shore, D. I. (2008). More efficient scanning for familiar faces. *Journal of vision*, *8*(1), 9–9. doi:10.1167/8.1.9

Henderson, J. M., Williams, C. C., & Falk, R. J. (2005). Eye movements are functional during face learning. *Memory & cognition*, *33*(1), 98–106.

Hendeson, J. M., Falk, R., Minut, S., & Dyer, F. C. (2001). Gaze control for face learning and recognition by humans and machines. *Advances in …*.

Hernandez, N., Metzger, A., Metzger, A., Magné, R., Magné, R., et al. (2009). Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia*, *47*(4), 1004–1012. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.023

Hernandez, N. La perception des visages et des expressions émotionnelles dans la pathologie autistique : Approche comportementale et fonctionnelle. Thèse. *Ecole Doctorale Santé, Sciences et Technologies.* Université François Rabelais. Novembre 2008

Heron-Delaney, M., Heron-Delaney, M., Anzures, G., Anzures, G., Herbert, J. S., Herbert, J. S., et al. (2011). Perceptual Training Prevents the Emergence of the Other Race Effect during Infancy. *PLoS ONE*, *6*(5), e19858. doi:10.1371/journal.pone.0019858.t003

Hershler, O., & Hochstein, S. (2005). At first sight: a high-level pop out effect for faces. *Vision research*, *45*(13), 1707–1724. doi:10.1016/j.visres.2004.12.021

Hershler, O., Golan, T., & Bentin, S. (2010). The wide window of face detection. *Journal of…*

Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of cognitive neuroscience*, *18*(4), 604–613. doi:10.1162/jocn.2006.18.4.604

Hickman, L., Firestone, A. R., & Beck, F. M. (2010). Eye fixations when viewing faces. *The Journal of the …*.

Hileman, C. M., Henderson, H., Mundy, P., Newell, L., & Jaime, M. (2011). Developmental and individual differences on the P1 and N170 ERP components in children with and without autism. *Developmental Neuropsychology*, *36*(2), 214–236. doi:10.1080/87565641.2010.549870

Hobson, R. P., Ouston, J., & Lee, A. (1988). What's in a face? The case of autism. *British Journal of Psychology*, *79 (Pt 4)*, 441–453.

Hofsten, von, C., & Gredebäck, G. (2007). The role of looking in social development. *Interpreting People through Brain and Behavior. Blackwell*.

Hole, G. J. (1994). Configurational factors in the perception of unfamiliar faces. *Perception*, *23*(1), 65–74.

Hole, G. J., George, P. A., & Dunsmore, V. (1999). Evidence for holistic processing of faces viewed as photographic negatives. *Perception*, *28*(3), 341–359.

Hood, B. M., Macrae, C. N., & Davies, V. C. (2003). Eye remember you: The effects of gaze direction on face recognition in children and adults. *Developmental …*.

Hoshiyama, M., Kakigi, R., Watanabe, S., & Miki, K. (2003). Brain responses for the subconscious recognition of faces. *Neuroscience*.

Hsiao, J. H., & Cottrell, G. (2008). Two fixations suffice in face recognition. *Psychol Sci*, *19*(10), 998–1006. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02191.x

Hunnius, S., & Geuze, R. H. (2004). Developmental Changes in Visual Scanning of Dynamic Faces and Abstract Stimuli in Infants: A Longitudinal Study. *Infancy : the official journal of the International Society on Infant Studies*, *6*(2), 231–255. doi:10.1207/s15327078in0602_5

Ishai, A., Ishai, A., Ungerleider, L. G., Ungerleider, L. G., Martin, A., Martin, A., et al. (1999). Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*(16), 9379–9384.

Itier, R. J., & Batty, M. (2009). Neural bases of eye and gaze processing: The core of social cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *33*(6), 843–863. doi:10.1016/j.neubiorev.2009.02.004

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *NeuroImage*, *15*(2), 353–372. doi:10.1006/nimg.2001.0982

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004a). Face inversion and contrast-reversal effects across development: in contrast to the expertise theory. *Developmental science*, *7*(2), 246–260.

Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004b). Face recognition memory and configural processing: a developmental ERP study using upright, inverted, and contrast-reversed faces. *Journal of cognitive neuroscience*, *16*(3), 487–502. doi:10.1162/089892904322926818

Jack, R. E., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2012). Internal representations reveal cultural diversity in expectations of facial expressions of emotion. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 19–25. doi:10.1037/a0023463

Jacoby, L. L., Lindsay, D. S., & Toth, J. P. (1992). Unconscious influences revealed. Attention, awareness, and control. *The American psychologist*, *47*(6), 802–809.

Jemel, B., Mottron, L., & Dawson, M. (2006). Impaired Face Processing in Autism: Fact or Artifact? *Journal of autism and developmental disorders*, *36*(1), 91–106. doi:10.1007/s10803-005-0050-5

Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(10), 766–774. doi:10.1038/nrn1766

Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, *40*(1-2), 1–19.

Jones, W., Carr, K., & Klin, A. (2008). Absence of preferential looking to the eyes of approaching adults predicts level of social disability in 2-year-old toddlers with autism spectrum disorder. *Arch Gen Psychiatry*, *65*(8), 946–954. doi:10.1001/archpsyc.65.8.946

Joseph, R. M., & Tanaka, J. (2003). Holistic and part-based face recognition in children with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *44*(4), 529–542.

Kampe, K. K., Frith, C. D., Dolan, R. J., & Frith, U. (2001). Reward value of attractiveness and gaze. *Nature*, *413*(6856), 589. doi:10.1038/35098149

Kanner, L. (1943). Autistic disturbances of affective contact. *Nervous child*.

Kano, F., & Tomonaga, M. (2010). Face scanning in chimpanzees and humans: continuity and discontinuity. *Animal Behaviour*, *79*(1), 227–235. doi:10.1016/j.anbehav.2009.11.003

Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *361*(1476), 2109–2128.

Kanwisher, N., Kanwisher, N., McDermott, J., McDermott, J., Chun, M. M., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *17*(11), 4302–4311.

Kanwisher, N., Tong, F., & Nakayama, K. (1998). The effect of face inversion on the human fusiform face area. *Cognition*, *68*(1), B1–11.

Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2000). Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annual review of neuroscience*, *23*, 315–341. doi:10.1146/annurev.neuro.23.1.315

Kawasaki, H., Tsuchiya, N., Kovach, C. K., Nourski, K. V., Oya, H., Howard, M. A., & Adolphs, R. (2012). Processing of facial emotion in the human fusiform gyrus. *Journal of cognitive neuroscience*, *24*(6), 1358–1370. doi:10.1162/jocn_a_00175

Keenan, J. P., Keenan, J. P., Wheeler, M., Wheeler, M., Platek, S. M., Platek, S. M., et al. (2003). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience*, *18*(8), 2391–2395. doi:10.1046/j.1460-9568.2003.02958.x

Kelly, D. J., Liu, S., Ge, L., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., et al. (2007a). Cross-Race Preferences for Same-Race Faces Extend Beyond the African Versus Caucasian Contrast in 3-Month-Old Infants. *Infancy : the official journal of the International Society on Infant Studies*, *11*(1), 87–95. doi:10.1080/15250000709336871

Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Ge, L., & Pascalis, O. (2007b). The other-race effect develops during infancy: evidence of perceptual narrowing. *Psychological Science*, *18*(12), 1084–1089.

Kimura, D. (1973). The asymmetry of the human brain. *Sci Am*, *228*(3), 70–78.

Kircher, T. T., Kircher, T. T., Senior, C., Senior, C., Phillips, M. L., Phillips, M. L., et al. (2000). Recognizing one's own face. *Cognition*, *78*(1), B1–B15. doi:10.1016/S0010-0277(00)00104-9

Kita, Y., Kita, Y., Gunji, A., Gunji, A., Sakihara, K., Sakihara, K., et al. (2010). Scanning Strategies Do Not Modulate Face Identification: Eye-Tracking and Near-Infrared Spectroscopy Study. *PLoS ONE*, *5*(6), e11050. doi:10.1371/journal.pone.0011050.t001

Klatzky, R. L., & Forrest, F. H. (1984). Recognizing familiar and unfamiliar faces. *Memory & cognition*, *12*(1), 60–70.

Kleinhans, N. M., Kleinhans, N. M., Richards, T., Richards, T., Sterling, L., Sterling, L., et al. (2008). Abnormal functional connectivity in autism spectrum disorders during face processing. *Brain : a journal of neurology*, *131*(Pt 4), 1000–1012. doi:10.1093/brain/awm334

Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002a). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Arch Gen Psychiatry*, *59*(9), 809–816.

Klin, A., Klin, A., Jones, W., Jones, W., Schultz, R., Schultz, R., et al. (2002b). Defining and quantifying the social phenotype in autism. *The American journal of psychiatry*, *159*(6), 895–908.

Klin, A., Klin, A., Jones, W., Jones, W., Schultz, R., Schultz, R., et al. (2003). The enactive mind, or from actions to cognition: lessons from autism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *358*(1430), 345–360. doi:10.1098/rstb.2002.1202

Klin, A., Klin, A., Lin, D. J., Lin, D. J., Gorrindo, P., Gorrindo, P., et al. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature*, *459*(7244), 257–261. doi:10.1038/nature07868

Klin, A., Sparrow, S. S., de Bildt, A., Cicchetti, D. V., Cohen, D. J., & Volkmar, F. R. (1999). A normed study of face recognition in autism and related disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *29*(6), 499–508.

Kobayashi, H., & Kohshima, S. (1997). Unique morphology of the human eye. *Nature*, *387*(6635), 767–768. doi:10.1038/42842

Kobayashi, H., & Kohshima, S. (2001). Unique morphology of the human eye and its adaptive meaning: comparative studies on external morphology of the primate eye. *Journal of human evolution*, *40*(5), 419–435. doi:10.1006/jhev.2001.0468

Kotsoni, E., Csibra, G., Mareschal, D., & Johnson, M. H. (2007). Electrophysiological correlates of common-onset visual masking. *Neuropsychologia*, *45*(10), 2285–2293. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.023

Kozima, H., Nakagawa, C., & Yano, H. (2004). Can a robot empathize with people? *Artificial Life and Robotics*.

Kozima, H., Nakagawa, C., & Yasuda, Y. (2007). Children-robot interaction: a pilot study in autism therapy. *Prog Brain Res*, *164*, 385–400. doi:10.1016/S0079-6123(07)64021-7

Kreiman, G., Fried, I., & Koch, C. (2005). Responses of single neurons in the human brain during flash suppression. *Binocular rivalry*, 213–230.

Kuefner, D., Macchi Cassia, V., Picozzi, M., & Bricolo, E. (2008). Do all kids look alike? Evidence for an other-age effect in adults. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *34*(4), 811–817. doi:10.1037/0096-1523.34.4.811

Kuehn, S. M., & Jolicoeur, P. (1994). Impact of quality of the image, orientation, and similarity of the stimuli on visual search for faces. *Perception*, *23*(1), 95–122.

LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological review*, *96*(1), 101–124. doi:10.1037/0033-295X.96.1.101

Labruyère, N., & Hubert, B. (2009). Traitement de l"information faciale dans l"autisme. *L'Evolution psychiatrique*.

Lamont, A. C., Stewart-Williams, S., & Podd, J. (2005). Face recognition and aging: effects of target age and memory load. *Memory & cognition*, *33*(6), 1017–1024.

Langdell, T. (1978). Recognition of faces: an approach to the study of autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *19*(3), 255–268.

Langton, S. R. H., Law, A. S., Burton, A. M., & Schweinberger, S. R. (2008). Attention capture by faces. *Cognition*, *107*(1), 330–342. doi:10.1016/j.cognition.2007.07.012

Latinus, M., & Taylor, M. J. (2006). Face processing stages: impact of difficulty and the separation of effects. *Brain Res*, *1123*(1), 179–187. doi:10.1016/j.brainres.2006.09.031

Laufs, H., Krakow, K., Sterzer, P., Eger, E., Beyerle, A., Salek-Haddadi, A., & Kleinschmidt, A. (2003). Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(19), 11053–11058. doi:10.1073/pnas.1831638100

Lawson, N. C. (1978). Inverted writing in right- and left-handers in relation to lateralization of face recognition. *Cortex*, *14*(2), 207–211.

Le Grand, R., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2003). Expert face processing requires visual input to the right hemisphere during infancy. *Nature neuroscience*, *6*(10), 1108–1112.

Le Grand, R., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2004). Impairment in holistic face processing following early visual deprivation. *Psychological Science*, *15*(11), 762–768. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00753.x

Leder, H., & Bruce, V. (2000). When inverted faces are recognized: the role of configural information in face recognition. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *53*(2), 513–536.

LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual review of neuroscience*, *23*, 155–184. doi:10.1146/annurev.neuro.23.1.155

Leonards, U., & Scott-Samuel, N. E. (2005). Idiosyncratic initiation of saccadic face exploration in humans. *Vision research*, *45*(20), 2677–2684. doi:10.1016/j.visres.2005.03.009

Letourneau, S. M., & Mitchell, T. V. (2008). Behavioral and ERP measures of holistic face processing in a composite task. *Brain and Cognition*, *67*(2), 234–245. doi:10.1016/j.bandc.2008.01.007

Leveroni, C. L., Leveroni, C. L., Seidenberg, M., Seidenberg, M., Mayer, A. R., Mayer, A. R., et al. (2000). Neural systems underlying the recognition of familiar and newly learned faces. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *20*(2), 878–886.

Levin, D. T., & Beale, J. M. (2000). Categorical perception occurs in newly learned faces, other-race faces, and inverted faces. *Perception & psychophysics*, *62*(2), 386–401.

Levy, J., & Reid, M. (1976). Variations in writing posture and cerebral organization. *Science (New York, N.Y.)*, *194*(4262), 337–339.

Lewis, M. B., & Edmonds, A. J. (2003). Face detection: mapping human performance. *Perception*, *32*(8), 903–920.

Lewis, M., & Brooks-Gunn, J. (1979). *Social cognition and the acquisition of self*. Plenum Publishing Corporation.

Liu, J., Higuchi, M., Marantz, A., & Kanwisher, N. (2000). The selectivity of the occipitotemporal M170 for faces. *Neuroreport*, *11*(2), 337–341.

Liu, S., Quinn, P. C., Wheeler, A., Xiao, N., Ge, L., & Lee, K. (2011). Similarity and difference in the processing of same- and other-race faces as revealed by eye tracking in 4- to 9-month-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108*(1), 180–189. doi:10.1016/j.jecp.2010.06.008

Loftus, G. R., Oberg, M. A., & Dillon, A. M. (2004). Linear theory, dimensional theory, and the face-inversion effect. *Psychol Rev*, *111*(4), 835–863. doi:10.1037/0033-295X.111.4.835

Logothetis, N. K., & Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual review of neuroscience*, *19*, 577–621. doi:10.1146/annurev.ne.19.030196.003045

Lord, C., & Bishop, S. L. (2009). The autism spectrum: definitions, assessment and diagnoses. *British journal of hospital medicine (London, England : 2005)*, *70*(3), 132–135.

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*(5), 659–685.

Lord, C., Rutter, M., DiLavore, P. C., & Risi, S. (2002). Autism diagnostic observation schedule: ADOS.

Lu, Z. L., & Dosher, B. A. (1998). External noise distinguishes attention mechanisms. *Vision research*, *38*(9), 1183–1198.

Luria, S. M., & Strauss, M. S. (1978). Comparison of eye movements over faces in photographic positives and negatives. *Perception*, *7*(3), 349–358.

Macintosh, K., & Dissanayake, C. (2006). A comparative study of the spontaneous social interactions of children with high-functioning autism and children with Asperger's disorder. *Autism*, *10*(2), 199–220. doi:10.1177/1362361306062026

Macrae, C. N., & Lewis, H. L. (2002). Do I know you? Processing orientation and face recognition. *Psychological Science*, *13*(2), 194–196.

Maloney, L. T., & Dal Martello, M. F. (2006). Kin recognition and the perceived facial similarity of children. *Journal of vision*, *6*(10), 1047–1056. doi:10.1167/6.10.4

Mandler, G., & Nakamura, Y. (1987). Nonspecific effects of exposure on stimuli that cannot be recognized. *… : Learning*.

Martinaud, O. (2012). Prosopagnosie et autres agnosies visuelles. *Revue de neuropsychologie*, *4*(4), 277. doi:10.3917/rne.044.0277

Martineau, J., Hernandez, N., Hiebel, L., Roché, L., Metzger, A., & Bonnet-Brilhault, F. (2011). Can pupil size and pupil responses during visual scanning contribute to the diagnosis of autism spectrum disorder in children? *Journal of psychiatric research*, *45*(8), 1077–1082. doi:10.1016/j.jpsychires.2011.01.008

Maurer, D. (1983). The scanning of compound figures by young infants. *J Exp Child Psychol*, *35*(3), 437–448.

Maurer, D., Grand, R. L., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in cognitive sciences*, *6*(6), 255–260.

Maurer, D., Stager, C. L., & Mondloch, C. J. (1999). Cross-modal transfer of shape is difficult to demonstrate in one-month-olds. *Child Dev*, *70*(5), 1047–1057.

McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997). Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of cognitive neuroscience*, *9*(5), 605–610. doi:10.1162/jocn.1997.9.5.605

McKone, E., & Boyer, B. L. (2006). Sensitivity of 4-year-olds to featural and second-order relational changes in face distinctiveness. *J Exp Child Psychol*, *94*(2), 134–162. doi:10.1016/j.jecp.2006.01.001

McKone, E., Crookes, K., & Kanwisher, N. (2009). The cognitive and neural development of face recognition in humans. *The cognitive neurosciences*, *4*, 467–482.

McLaughlin, J. P. (1986). Aesthetic preference and lateral preferences. *Neuropsychologia*, *24*(4), 587–590.

McPartland, J., Cheung, C. H. M., Perszyk, D., & Mayes, L. C. (2010). Face-related ERPs are modulated by point of gaze. *Neuropsychologia*, *48*(12), 3657–3660. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.07.020

McPartland, J., Dawson, G., Webb, S. J., Panagiotides, H., & Carver, L. J. (2004). Event-related brain potentials reveal anomalies in temporal processing of faces in autism spectrum disorder. *J Child Psychol Psychiatry*, *45*(7), 1235–1245. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00318.x

Megreya, A. M., & Burton, A. M. (2006). Unfamiliar faces are not faces: evidence from a matching task. *Memory & cognition*, *34*(4), 865–876.

Meissner, C. A., & Brigham, J. C. (2001). Thirty years of investigating the own-race bias in memory for faces: A meta-analytic review. *Psychology, Public Policy, and Law*, *7*(1), 3–35. doi:10.1037//1076-8971.7.1.3

Memon, A., Bartlett, J., Rose, R., & Gray, C. (2003). The aging eyewitness: effects of age on face, delay, and source-memory ability. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, *58*(6), P338–45.

Merin, N., Butler, S. H., Young, G. S., Harvey, M., Ozonoff, S., & Rogers, S. J. (2006). Perceptual biases in chimeric face processing: Eye-movement patterns cannot explain it all. *Brain Research*, *1124*(1), 96–99. doi:10.1016/j.brainres.2006.09.069

Mertens, I., Siegmund, H., & Grusser, O. J. (1993). Gaze motor asymmetries in the perception of faces during a memory task. *Neuropsychologia*, *31*(9), 989–998.

Michel, C., Rossion, B., Han, J., Chung, C.-S., & Caldara, R. (2006). Holistic processing is finely tuned for faces of one's own race. *Psychological Science*, *17*(7), 608–615. doi:10.1111/j.1467-9280.2006.01752.x

Miklósi, A., Pongrácz, P., Lakatos, G., & Topál, J. (2005). A comparative study of the use of visual communicative signals in interactions between dogs (Canis familiaris) and humans and cats (Felis catus) and humans. *Journal of ….*

Miller, P. H., Haynes, V. F., & Weiss, M. G. (1985). Metacognitive components of visual search in children. *The Journal of genetic psychology*, *146*(2), 249–259. doi:10.1080/00221325.1985.9914452

Mita, T. H., Dermer, M., & Knight, J. (1977). Reversed Facial Images and the Mere-Exposure Hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, *35*, 597–601.

Mondloch, C. J., Dobson, K. S., Parsons, J., & Maurer, D. (2004). Why 8-year-olds cannot tell the difference between Steve Martin and Paul Newman: factors contributing to the slow development of sensitivity to the spacing of facial features. *J Exp Child Psychol*, *89*(2), 159–181. doi:10.1016/j.jecp.2004.07.002

Mondloch, C. J., Geldart, S., Maurer, D., & Grand, R. L. (2003). Developmental changes in face processing skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, *86*(1), 67–84. doi:10.1016/S0022-0965(03)00102-4

Mondloch, C. J., Le Grand, R., & Maurer, D. (2002). Configural face processing develops more slowly than featural face processing. *Perception*, *31*(5), 553–566.

Mondloch, C. J., Leis, A., & Maurer, D. (2006a). Recognizing the face of Johnny, Suzy, and me: insensitivity to the spacing among features at 4 years of age. *Child Dev*, *77*(1), 234–243. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00867.x

Mondloch, C. J., Maurer, D., & Ahola, S. (2006b). Becoming a face expert. *Psychological Science*, *17*(11), 930–934.

Morris, J. P., Pelphrey, K. A., & McCarthy, G. (2006). Occipitotemporal activation evoked by the perception of human bodies is modulated by the presence or absence of the face. *Neuropsychologia*, *44*(10), 1919–1927. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.035

Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, *393*(6684), 467–470. doi:10.1038/30976

Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*(4), 1680–1685.

Morton, J., & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: a two-process theory of infant face recognition. *Psychol Rev*, *98*(2), 164–181.

Mottron, L. (2004a). *L’Autisme : une autre intelligence.Mardaga (Eds). Pratiques psychlogiques, Cognition, émotion, santé.*

. (Mardaga, Ed.)*Pratiques psychologiques, Cognition, Emotion, Santé*.

Mottron, L. (2004b). *L'autisme, une autre intelligence*. Editions Mardaga.

Mottron, L., & Burack, J. A. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism.

Mottron, L., Belleville, S., & Ménard, E. (1999a). Local bias in autistic subjects as evidenced by graphic tasks: perceptual hierarchization or working memory deficit? *J Child Psychol Psychiatry*, *40*(5), 743–755.

Mottron, L., Burack, J. A., Iarocci, G., Belleville, S., & Enns, J. T. (2003). Locally oriented perception with intact global processing among adolescents with high-functioning autism: evidence from multiple paradigms. *J Child Psychol Psychiatry*, *44*(6), 904–913.

Mottron, L., Burack, J. A., Stauder, J. E., & Robaey, P. (1999b). Perceptual processing among high-functioning persons with autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *40*(2), 203–211.

Mottron, L., Morasse, K., & Belleville, S. (2001). A study of memory functioning in individuals with autism. *Journal of Child …*.

Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E., & Pernier, J. (2000). Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *European Journal of Neuroscience*, *12*(1), 303–310.

Nakano, T., Nakano, T., Tanaka, K., Tanaka, K., Endo, Y., Endo, Y., et al. (2010). Atypical gaze patterns in children and adults with autism spectrum disorders dissociated from developmental changes in gaze behaviour. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *277*(1696), 2935–2943. doi:10.1098/rspb.2010.0587

Nelson, C. A. (2001). The development and neural bases of face recognition. *Infant and Child Development*, *10*(1-2), 3–18. doi:10.1002/icd.239

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. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*(3), 194–202. doi:10.1093

New, J. J., Schultz, R. T., Wolf, J., Niehaus, J. L., Klin, A., German, T. C., & Scholl, B. J. (2010). The scope of social attention deficits in autism: Prioritized orienting to people and animals in static natural scenes. *Neuropsychologia*, *48*(1), 51–59. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.08.008

Newell, L. C., Best, C. A., & Gastgeb, H. (2010). The development of categorization and facial knowledge: Implications for the study of autism. *Infant perception and …*.

Nicholls, M. E. R., & Roberts, G. R. (2002). Can free-viewing perceptual asymmetries be explained by scanning, pre-motor or attentional biases? *Cortex*, *38*(2), 113–136.

Norbury, C. F., Campatelli, G., Brock, J., Federico, R. R., Cragg, L., Apicella, F., et al. (2013). Face processing in children with ASD: Literature review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *7*(3), 444–454. doi:10.1016/j.rasd.2012.10.003

Norbury, C. F., Norbury, C. F., Brock, J., Brock, J., Cragg, L., Cragg, L., et al. (2009). Eye-movement patterns are associated with communicative competence in autistic spectrum disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *50*(7), 834–842. doi:10.1111/j.1469-7610.2009.02073.x

O'Connor, K., Hamm, J. P., & Kirk, I. J. (2005). The neurophysiological correlates of face processing in adults and children with Asperger's syndrome. *Brain and Cognition*.

O'Riordan, M., & Plaisted, K. (2001). Enhanced discrimination in autism. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *54*(4), 961–979. doi:10.1080/713756000

Ollat, H. (2002). La perception des visages et la communication sociale. *Neuropsychiatrie: Tendances et Débats; 16: 31*, *34*.

Orban de Xivry, J. J., Ramon, M., Lefevre, P., & Rossion, B. (2008). Reduced fixation on the upper area of personally familiar faces following acquired prosopagnosia. *J Neuropsychol*, *2*(Pt 1), 245–268.

Osterling, J., & Dawson, G. (1994). Early recognition of children with autism: a study of first birthday home videotapes. *Journal of autism and developmental disorders*, *24*(3), 247–257.

Over, E. A. B., Over, E. A. B., Hooge, I. T. C., Hooge, I. T. C., Erkelens, C. J., & Erkelens, C. J. (2006). A quantitative measure for the uniformity of fixation density: The Voronoi method. *Behavior Research Methods*, *38*(2), 251–261.

Pascalis, O. (2009). Asymmetry in face processing during childhood measured with Chimeric faces. *in press: laterality*.

Pascalis, O. de S. S. M. J. D. C. F.-G. M. (1995). Mother's face recognition in neonates: a replication and an extension. *Infant Behavior and Development*, *17*, 79–85.

Pascalis, O., & de Schonen, S. (1994). Recognition memory in 3- to 4-day-old human neonates. *Neuroreport*, *5*(14), 1721–1724.

Pascalis, O., & Kelly, D. J. (2009). The Origins of Face Processing in Humans: Phylogeny and Ontogeny. *Perspectives on Psychological Science*, *4*(2), 200–209.

Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is face processing species-specific during the first year of life? *Science (New York, N.Y.)*, *296*(5571), 1321–1323. doi:10.1126/science.1070223

Pascalis, O., Pascalis, O., Rotsaert, M., Rotsaert, M., Want, S. C., & Want, S. C. (2005a). Le développement de la reconnaissance des visages chez l'enfant est-il spécifique ? *Enfance*, *57*(2), 117. doi:10.3917/enf.572.0117

Pascalis, O., Scott, L. S., Kelly, D. J., Shannon, R. W., Nicholson, E., Coleman, M., & Nelson, C. A. (2005b). Plasticity of face processing in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(14), 5297–5300.

Passarotti, A. M., Smith, J., DeLano, M., & Huang, J. (2007). Developmental differences in the neural bases of the face inversion effect show progressive tuning of face-selective regions to the upright orientation. *NeuroImage*, *34*(4), 1708–1722. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.07.045

Pedelty, L., Levine, S. C., & Shevell, S. K. (1985). Developmental changes in face processing: results from multidimensional scaling. *J Exp Child Psychol*, *39*(3), 421–436.

Pegna, A. J., Khateb, A., Michel, C. M., & Landis, T. (2004). Visual recognition of faces, objects, and words using degraded stimuli: where and when it occurs. *Human Brain Mapping*, *22*(4), 300–311. doi:10.1002/hbm.20039

Pellicano, E., & Rhodes, G. (2003). Holistic processing of faces in preschool children and adults. *Psychological Science*, *14*(6), 618–622.

Pellicano, E., Rhodes, G., & Peters, M. (2006). Are preschoolers sensitive to configural information in faces? *Developmental science*, *9*(3), 270–277. doi:10.1111/j.1467-7687.2006.00489.x

Pelphrey, K. A., Morris, J. P., & McCarthy, G. (2005). Neural basis of eye gaze processing deficits in autism. *Brain : a journal of neurology*, *128*(Pt 5), 1038–1048. doi:10.1093/brain/awh404

Pelphrey, K. A., Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Reznick, J. S., et al. (2002). Visual scanning of faces in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, *32*(4), 249–261.

Perfect, T. J., & Harris, L. J. (2003). Adult age differences in unconscious transference: source confusion or identity blending? *Memory & cognition*, *31*(4), 570–580.

Perlman, S. B., Hudac, C. M., Pegors, T., Minshew, N. J., & Pelphrey, K. A. (2011). Experimental manipulation of face-evoked activity in the fusiform gyrus of individuals with autism. *Social Neuroscience*, *6*(1), 22–30. doi:10.1080/17470911003683185

Perrett, D. I., Perrett, D. I., Rolls, E. T., Rolls, E. T., Caan, W., & Caan, W. (1982). Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation cerebrale*, *47*(3), 329–342.

Peterson, M. A., & Rhodes, G. (2003). Perception of faces, objects, and scenes.

Phillips, M. L., & David, A. S. (1997). Viewing strategies for simple and chimeric faces: an investigation of perceptual bias in normals and schizophrenic patients using visual scan paths. *Brain Cogn*, *35*(2), 225–238. doi:10.1006/brcg.1997.0939

Phillips, M. L., Young, A. W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A. J., et al. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, *389*(6650), 495–498.

Pierce, K., Carter, C., Weinfeld, M., Desmond, J., Hazin, R., Bjork, R., & Gallagher, N. (2011). Detecting, studying, and treating autism early: the one-year well-baby check-up approach. *The Journal of pediatrics*, *159*(3), 458–465.e1–6. doi:10.1016/j.jpeds.2011.02.036

Pierce, K., Haist, F., Sedaghat, F., & Courchesne, E. (2004). The brain response to personally familiar faces in autism: findings of fusiform activity and beyond. *Brain : a journal of neurology*, *127*(Pt 12), 2703–2716.

Pierce, K., Muller, R. A., Ambrose, J., Allen, G., & Courchesne, E. (2001). Face processing occurs outside the fusiform “face area” in autism: evidence from functional MRI. *Brain : a journal of neurology*, *124*(Pt 10), 2059–2073.

Pioggia, G., Igliozzi, R., Sica, M. L., Ferro, M., Muratori, F., Ahluwalia, A., & De Rossi, D. (2008). Exploring emotional and imitational android-based interactions in autistic spectrum disorders. *Journal of Cybertherapy & Rehabilitation, 1 (1)*, 49–61.

Pioggia, G., Sica, M. L., Ferro, M., Casalini, S., Igliozzi, R., Muratori, F., et al. (2007). Facial Automaton for Conveying Emotions as a Social Rehabilitation Tool for People with Autism. *Itech Education and Publishing, Vienna*.

Plaisted, K. C.,Burack, Jacob A. (Ed); Charman, Tony (Ed); Yirmiya, Nurit (Ed); Zelazo, Philip R. (Ed), (2001). Reduced generalization in autism: An alternative to weak central coherence. The development of autism: Perspectives from theory and research. , (pp. 149-169). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, xvii, 374 pp.

Plaisted, K., O'Riordan, M., & Baron-Cohen, S. (1998). Enhanced visual search for a conjunctive target in autism: a research note. *J Child Psychol Psychiatry*, *39*(5), 777–783.

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. *J Child Psychol Psychiatry*, *40*(5), 733–742.

Plunkett, K., Karmiloff-Smith, A., Bates, E., Elman, J. L., & Johnson, M. H. (1997). Connectionism and developmental psychology. *J Child Psychol Psychiatry*, *38*(1), 53–80.

Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology*, *109*(2), 160–174.

Pourtois, G., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2004). Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *14*(6), 619–633. doi:10.1093/cercor/bhh023

Quinn, P. C., Kelly, D. J., Lee, K., Pascalis, O., & Slater, A. M. (2008). Preference for attractive faces in human infants extends beyond conspecifics. *Developmental science*, *11*(1), 76–83.

Quiroga, R. Q., Reddy, L., Kreiman, G., Koch, C., & Fried, I. (2005). Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature*, *435*(7045), 1102–1107. doi:10.1038/nature03687

Racca, A., Racca, A., Guo, K., Guo, K., Meints, K., Meints, K., et al. (2012). Reading Faces: Differential Lateral Gaze Bias in Processing Canine and Human Facial Expressions in Dogs and 4-Year-Old Children. *PLoS ONE*, *7*(4), e36076. doi:10.1371/journal.pone.0036076.t004

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372–422.

Reddy, L., Kanwisher, N. G., & VanRullen, R. (2009). Attention and biased competition in multi-voxel object representations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(50), 21447–21452. doi:10.1073/pnas.0907330106

Reiss, M. R. (1997). Ocular dominance: some family data. *Laterality*, *2*(1), 7–16. doi:10.1080/713754254

Rhodes, G. (1986). Memory for lateral asymmetries in well-known faces: Evidence for configural information in memory representations of faces. *Memory & cognition*, *14*, 209–219.

Rhodes, G. (1988). Looking at faces: first-order and second-order features as determinants of facial appearance. *Perception*, *17*(1), 43–63.

Rhodes, G., Brake, S., & Atkinson, A. P. (1993). What's lost in inverted faces? *Cognition*, *47*(1), 25–57.

Rhodes, G., Brennan, S., & Carey, S. (1987). Identification and ratings of caricatures: implications for mental representations of faces. *Cognitive psychology*, *19*(4), 473–497.

Rhodes, G., Tan, S., Brake, S., & Taylor, K. (1989). Expertise and configural coding in face recognition. *British Journal of Psychology*, *80 (Pt 3)*, 313–331.

Rhodes, M. G., & Anastasi, J. S. (2012). The own-age bias in face recognition: A meta-analytic and theoretical review. *Psychological Bulletin*, *138*(1), 146–174.

Riby, D. M., & Hancock, P. J. B. (2008). Viewing it differently: social scene perception in Williams syndrome and autism. *Neuropsychologia*, *46*(11), 2855–2860. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.05.003

Riby, D. M., Doherty-Sneddon, G., & Bruce, V. (2009). The eyes or the mouth? Feature salience and unfamiliar face processing in Williams syndrome and autism. *Q J Exp Psychol (Hove)*, *62*(1), 189–203. doi:10.1080/17470210701855629

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 Asperger's disorder. *J Child Psychol Psychiatry*, *41*(6), 769–778.

Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Moss, S. A., Brereton, A. V., & Tonge, B. J. (2001). A deficit in shifting attention present in high-functioning autism but not Asperger's disorder. *Autism*, *5*(1), 67–80.

Rizzolatti, G., & Buchtel, H. A. (1977). Hemispheric superiority in reaction time to faces: a sex difference. *Cortex*, *13*(3), 300–305.

Roberts, T., & Bruce, V. (1989). Repetition priming of face recognition in a serial choice reaction-time task. *British Journal of Psychology*, *80 (Pt 2)*, 201–211.

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. doi:10.1016/j.ridd.2006.02.007

Rondeau, É. (2012). Étude de l“attention spatiale en condition d”interférence émotionnelle chez les enfants avec un trouble autistique.

Rossion, B., & Boremanse, A. (2008). Nonlinear relationship between holistic processing of individual faces and picture-plane rotation: evidence from the face composite illusion. *Journal of vision*, *8*(4), 3.1–13. doi:10.1167/8.4.3

Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A.-M., Lazeyras, F., & Mayer, E. (2003). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain : a journal of neurology*, *126*(Pt 11), 2381–2395. doi:10.1093/brain/awg241

Rousselet, G. A., Macé, M. J.-M., & Fabre-Thorpe, M. (2003). Is it an animal? Is it a human face? Fast processing in upright and inverted natural scenes. *Journal of vision*, *3*(6), 440–455.

Rousselet, G. A., Macé, M. J.-M., & Fabre-Thorpe, M. (2004). Spatiotemporal analyses of the N170 for human faces, animal faces and objects in natural scenes. *Neuroreport*, *15*(17), 2607–2611.

Rutherford, M. D., & Towns, A. M. (2008). Scan path differences and similarities during emotion perception in those with and without autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *38*(7), 1371–1381. doi:10.1007/s10803-007-0525-7

Rutter, M. (1987). The role of cognition in child development and disorder. *The British journal of medical psychology*, *60 (Pt 1)*, 1–16.

Sadr, J., Jarudi, I., & Sinha, P. (2003). The role of eyebrows in face recognition. *Perception*, *32*(3), 285–293.

Sangrigoli, S., & De Schonen, S. (2004a). Recognition of own-race and other-race faces by three-month-old infants. *J Child Psychol Psychiatry*, *45*(7), 1219–1227. doi:10.1111/j.1469-7610.2004.00319.x

Sangrigoli, S., & De Schonen, S. (2004b). Effect of visual experience on face processing: a developmental study of inversion and non-native effects. *Developmental science*, *7*(1), 74–87.

Sasson, N. J. (2006). The development of face processing in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, *36*(3), 381–394. doi:10.1007/s10803-006-0076-3

Sasson, N. J., & Elison, J. T. (2012). Eye tracking young children with autism. *Journal of visualized experiments : JoVE*, (61). doi:10.3791/3675

Sato, W., Yoshikawa, S., Kochiyama, T., & Matsumura, M. (2004). The amygdala processes the emotional significance of facial expressions: an fMRI investigation using the interaction between expression and face direction. *NeuroImage*.

Scharre, J. E., & Creedon, M. P. (1992). Assessment of visual function in autistic children. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*, *69*(6), 433–439.

Schaer, M ; Franchini, M ; Wood, W ; Glaser, B ; Elie, B. Visual decoding of social scenes from 2 to 6 years. Visual decoding of social scenes from 2 to 6 years old in children with ASD. In press.

Scherf, K. S., Behrmann, M., Humphreys, K., & Luna, B. (2007). Visual category-selectivity for faces, places and objects emerges along different developmental trajectories. *Developmental science*, *10*(4), F15–30. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00595.x

Schiltz, C., & Rossion, B. (2006). Faces are represented holistically in the human occipito-temporal cortex. *NeuroImage*, *32*(3), 1385–1394. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.05.037

Schuette, R. A., & Fazio, R. H. (1995). Attitude accessibility and motivation as determinants of biased processing: A test of the MODE model. *Personality and Social Psychology …*.

Schultz, R. T., Gauthier, I., Klin, A., Fulbright, R. K., Anderson, A. W., Volkmar, F., et al. (2000). Abnormal ventral temporal cortical activity during face discrimination among individuals with autism and Asperger syndrome. *Arch Gen Psychiatry*, *57*(4), 331–340.

Schultz, R. T., Grelotti, D. J., Klin, A., Kleinman, J., Van der Gaag, C., Marois, R., & Skudlarski, P. (2003). The role of the fusiform face area in social cognition: implications for the pathobiology of autism. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *358*(1430), 415–427. doi:10.1098/rstb.2002.1208

Schwaninger, A., Ryf, S., & Hofer, F. (2003). Configural information is processed differently in perception and recognition of faces. *Vision research*, *43*(14), 1501–1505.

Schwarzer, G. (2000). Development of face processing: the effect of face inversion. *Child Dev*, *71*(2), 391–401.

Schyns, P. G., Bonnar, L., & Gosselin, F. (2002). Show me the features! Understanding recognition from the use of visual information. *Psychological Science*, *13*(5), 402–409.

Seamon, J. G., Williams, P. C., Crowley, M. J., Kim, I. J., Langer, S. A., Orne, P. J., & Wishengrad, D. L. (1995). The mere exposure effect is based on implicit memory - effects of stimulus type, encoding conditions, and number of exposures on recognition and affect judgments. *Journal of experimental psychology : Psychology-Learning Memory and Cognition*, *21*, 711–721.

Sekuler, A. B., Gaspar, C. M., Gold, J. M., & Bennett, P. J. (2004). Inversion leads to quantitative, not qualitative, changes in face processing. *Curr Biol*, *14*(5), 391–396. doi:10.1016/j.cub.2004.02.028

Seltzer, M. M., Krauss, M. W., Shattuck, P. T., Orsmond, G., Swe, A., & Lord, C. (2003). The symptoms of autism spectrum disorders in adolescence and adulthood. *Journal of autism and developmental disorders*, *33*(6), 565–581.

Senju, A., & Csibra, G. (2008). Gaze following in human infants depends on communicative signals. *Curr Biol*, *18*(9), 668–671. doi:10.1016/j.cub.2008.03.059

Senju, A., & Hasegawa, T. (2005). Direct gaze captures visuospatial attention. *Visual Cognition*.

Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). The eye contact effect: mechanisms and development. *Trends in cognitive sciences*, *13*(3), 127–134

Shah, A., & Frith, U. (1993). Why do autistic individuals show superior performance on the block design task? *J Child Psychol Psychiatry*, *34*(8), 1351–1364.

Sigman, M. D., Kasari, C., Kwon, J. H., & Yirmiya, N. (1992). Responses to the negative emotions of others by autistic, mentally retarded, and normal children. *Child Dev*, *63*(4), 796–807.

Simion, F., Valenza, E., Umiltà, C., & Dalla Barba, B. (1998). Preferential orienting to faces in newborns: a temporal-nasal asymmetry. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *24*(5), 1399–1405.

Simmons, D. R., Robertson, A. E., McKay, L. S., Toal, E., McAleer, P., & Pollick, F. E. (2009). Vision in autism spectrum disorders. *Vision research*, *49*(22), 2705–2739. doi:10.1016/j.visres.2009.08.005

Singer, J. M., & Sheinberg, D. L. (2006). Holistic processing unites face parts across time. *Vision research*, *46*(11), 1838–1847. doi:10.1016/j.visres.2005.11.005

Snow, J., Snow, J., Ingeholm, J. E., Ingeholm, J. E., Levy, I. F., Levy, I. F., et al. (2011). Impaired visual scanning and memory for faces in high-functioning autism spectrum disorders: it's not just the eyes. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *17*(6), 1021–1029. doi:10.1017/S1355617711000981

Soproni, K., Miklósi, A., & Topál, J. (2002). Dogs'(Canis familaris) responsiveness to human pointing gestures. *Journal of Comparative …*.

Soproni, K., Miklósi, A., Topál, J., & Csányi, V. (2001). Comprehension of human communicative signs in pet dogs (Canis familiaris). *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, *115*(2), 122–126.

Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E., & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, *24*(38), 8223–8231. doi:10.1523/JNEUROSCI.1798-04.2004

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*(3), 265–277. doi:10.1177/1362361307076925

Spezio, M. L., Adolphs, R., Hurley, R. S., & Piven, J. (2007). Analysis of face gaze in autism using “Bubbles.” *Neuropsychologia*, *45*(1), 144–151. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.027

Stacey, P. C., & Walker, S. (2005). Face processing and familiarity: Evidence from eye-movement data. *British Journal of …*.

Stacey, P. C., Stacey, P. C., Walker, S., Walker, S., Underwood, J. D. M., & Underwood, J. D. M. (2010). Face processing and familiarity: Evidence from eye-movement data. *British Journal of Psychology*, *96*(4), 407–422. doi:10.1348/000712605X47422

Stadler, M. A., & Frensch, P. A. (1998). *Handbook of implicit learning*. Sage Publications, Inc.

Stechler, G. (1964). Newborn attention as affected by médication during labor. *Science (New York, N.Y.)*, *144*(3616), 315–317.

Sterling, L., Sterling, L., Dawson, G., Dawson, G., Webb, S., Webb, S., et al. (2008). The Role of Face Familiarity in Eye Tracking of Faces by Individuals with Autism Spectrum Disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *38*(9), 1666–1675.

Stiles, J., Moses, P., Passarotti, A., Dick, F. K., & Buxton, R. (2003). Exploring developmental change in the neural bases of higher cognitive functions: the promise of functional magnetic resonance imaging. *Developmental Neuropsychology*, *24*(2-3), 641–668. doi:10.1080/87565641.2003.9651914

Sugita, Y. (2008). Face perception in monkeys reared with no exposure to faces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(1), 394–398. doi:10.1073/pnas.0706079105

Swettenham, J., Baron-Cohen, S., Charman, T., Cox, A., Baird, G., Drew, A., et al. (1998). The frequency and distribution of spontaneous attention shifts between social and nonsocial stimuli in autistic, typically developing, and nonautistic developmentally delayed infants. *J Child Psychol Psychiatry*, *39*(5), 747–753.

Sæther, L., Sæther, L., Van Belle, W., Van Belle, W., Laeng, B., Laeng, B., et al. (2009). Anchoring gaze when categorizing faces' sex: Evidence from eye-tracking data. *Vision research*, *49*(23), 2870–2880. doi:10.1016/j.visres.2009.09.001

Takarae, Y., Minshew, N. J., Luna, B., Krisky, C. M., & Sweeney, J. A. (2004). Pursuit eye movement deficits in autism. *Brain : a journal of neurology*, *127*(Pt 12), 2584–2594. doi:10.1093/brain/awh307

Tanaka, J. W., & Sengco, J. A. (1997). Features and their configuration in face recognition. *Memory & cognition*, *25*(5), 583–592.

Tanaka, J. W., Kiefer, M., & Bukach, C. M. (2004). A holistic account of the own-race effect in face recognition: evidence from a cross-cultural study. *Cognition*, *93*(1), B1–9. doi:10.1016/j.cognition.2003.09.011

Tanaka, J. W., Tanaka, J. W., Farah, M. J., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology*, *46*(2), 225–245.

Tanaka, J., & Gauthier, I. (1997). Expertise in object and face recognition. *Mechanisms of perceptual Learning*, *36*, 83–125.

Tarr, M. J., & Gauthier, I. (2000). FFA: a flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise. *Nature neuroscience*, *3*(8), 764–769. doi:10.1038/77666

Taylor, M. J., Batty, M., & Itier, R. J. (2004). The faces of development: a review of early face processing over childhood. *Journal of cognitive neuroscience*, *16*(8), 1426–1442. doi:10.1162/0898929042304732

Teunisse, J. P., & de Gelder, B. (1994). Do autistics have a generalized face processing deficit? *Int J Neurosci*, *77*(1-2), 1–10.

Teunisse, J.-P., & de Gelder, B. (2003). Face processing in adolescents with autistic disorder: the inversion and composite effects. *Brain Cogn*, *52*(3), 285–294.

Thierry, G., Martin, C. D., Downing, P., & Pegna, A. J. (2007). Controlling for interstimulus perceptual variance abolishes N170 face selectivity. *Nature neuroscience*, *10*(4), 505–511. doi:10.1038/nn1864

Thuy. T., Farkas, L. G., Ngim, R. C. K., Levin, L. S., & Forrest, C. R. (2002). Proportionality in Asian and North American Caucasian faces using neoclassical facial canons as criteria. *Aesthetic plastic surgery*, *26*(1), 64–69. doi:10.1007/s00266-001-0033-7

Tong, F., & Nakayama, K. (1999). Robust representations for faces: evidence from visual search. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *25*(4), 1016–1035.

Trovato, G., Zecca, M., Sessa, S., & Jamone, L. (2013). Towards culture-specific robot customisation: a study on greeting interaction with Egyptians. *RO-MAN*.

Tsao, D. Y., Freiwald, W. A., Knutsen, T. A., Mandeville, J. B., & Tootell, R. B. H. (2003). Faces and objects in macaque cerebral cortex. *Nature neuroscience*, *6*(9), 989–995. doi:10.1038/nn1111

Turati, C., Valenza, E., Leo, I., & Simion, F. (2005). Three-month-olds' visual preference for faces and its underlying visual processing mechanisms. *J Exp Child Psychol*, *90*(3), 255–273. doi:10.1016/j.jecp.2004.11.001

Tzourio-Mazoyer, N., De Schonen, S., Crivello, F., Reutter, B., Aujard, Y., & Mazoyer, B. (2002). Neural correlates of woman face processing by 2-month-old infants. *NeuroImage*, *15*(2), 454–461. doi:10.1006/nimg.2001.0979

Ullman, S. (1984). Visual routines. *Cognition*, *18*(1-3), 97–159.

Vaid, J., & Singh, M. (1989). Asymmetries in the perception of facial affect: is there an influence of reading habits? *Neuropsychologia*, *27*(10), 1277–1287.

Valentine, T. (1988). Upside-down faces: a review of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, *79 (Pt 4)*, 471–491.

Valentine, T., & Bruce, V. (1988). Mental rotation of faces. *Memory & cognition*, *16*(6), 556–566.

Valenza, E., Simion, F., Cassia, V. M., & Umiltà, C. (1996). Face preference at birth. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, *22*(4), 892–903.

Van Belle, G., De Graef, P., Verfaillie, K., Rossion, B., & Lefèvre, P. (2010). Face inversion impairs holistic perception: evidence from gaze-contingent stimulation. *Journal of vision*, *10*(5), 10.

Van der Geest, J. N., Kemner, C., Camfferman, G., Verbaten, M. N., & van Engeland, H. (2002a). Looking at images with human figures: comparison between autistic and normal children. *Journal of autism and developmental disorders*, *32*(2), 69–75.

Van der Geest, J. N., Kemner, C., Verbaten, M. N., & van Engeland, H. (2002b). Gaze behavior of children with pervasive developmental disorder toward human faces: a fixation time study. *J Child Psychol Psychiatry*, *43*(5), 669–678.

Van Kooten, I. A. J., Palmen, S. J. M. C., Cappeln, von, P., Steinbusch, H. W. M., Korr, H., Heinsen, H., et al. (2008). Neurons in the fusiform gyrus are fewer and smaller in autism. *Brain : a journal of neurology*, *131*(Pt 4), 987–999. doi:10.1093/brain/awn033

Vanrullen, R. (2008). Visage et Attention. *Collection neuropsychologie*, 1–15.

VanRullen, R., & Koch, C. (2003). Competition and selection during visual processing of natural scenes and objects. *Journal of vision*, *3*(1), 75–85.

Vecera, S. P., & Johnson, M. H. (1995). Gaze detection and the cortical processing of faces: Evidence from infants and adults. *Visual Cognition*.

Viellard, M., Da Fonseca, D., De Martino, S., Girardot, A.-M., Bastard-Rosset, D., Duverger, H., et al. (2007). [Autism and mental retardation: a study of the early social communication]. *Archives de pédiatrie : organe officiel de la Sociéte française de pédiatrie*, *14*(3), 234–238. doi:10.1016/j.arcped.2006.11.015

Vinette, C. (2003). *L"information visuelle efficace pour la reconnaissance de visage dans l"espace temps. Département de psychologie* (p. 126). université de Montréal.

Vinette, C., Gosselin, F., & Schyns, P. (2004a). Spatio-temporal dynamics of face recognition in a flash: it's in the eyes. *Cognitive Science*, *28*(2), 289–301. doi:10.1016/j.cogsci.2004.01.002

Vinette, C., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2004b). Spatio-temporal dynamics of face recognition in a flash: it's in the eyes. *Cognitive Science*, *28*, 289–301.

Virányi, Z., Topál, J., Gácsi, M., Miklósi, A., & Csányi, V. (2004). Dogs respond appropriately to cues of humans' attentional focus. *Behavioural processes*.

Volkmar, F. R., Lord, C., Bailey, A., Schultz, R. T., & Klin, A. (2004). Autism and pervasive developmental disorders. *J Child Psychol Psychiatry*, *45*(1), 135–170.

Volkmar, F. R., Sparrow, S. S., Rende, R. D., & Cohen, D. J. (1989). Facial perception in autism. *J Child Psychol Psychiatry*, *30*(4), 591–598.

Volkmar, F., Chawarska, K., & Klin, A. (2005). Autism in infancy and early childhood. *Annual review of psychology*, *56*, 315–336. doi:10.1146/annurev.psych.56.091103.070159

Vuilleumier, P. (2005). How brains beware: neural mechanisms of emotional attention. *Trends in cognitive sciences*.

Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, *45*(1), 174–194. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.003

Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study. *Neuron*, *30*(3), 829–841.

Vuilleumier, P., Henson, R. N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2002). Multiple levels of visual object constancy revealed by event-related fMRI of repetition priming. *Nature neuroscience*, *5*(5), 491–499. doi:10.1038/nn839

Walker, P. M., & Hewstone, M. (2006). A perceptual discrimination investigation of the own-race effect and intergroup experience. *Applied Cognitive Psychology*.

Walker-Smith, G. J., Gale, A. G., & Findlay, J. M. (1977). Eye movement strategies involved in face perception. *Perception*, *6*(3), 313–326.

Wang, H. F., Friel, N., GOSSELIN, F., & Schyns, P. G. (2011). Efficient bubbles for visual categorization tasks. *Vision research*, *51*(12), 1318–1323. doi:10.1016/j.visres.2011.04.007

Want, S. C. P. O. C. M. B. M. (2003). Recognising people from the inner or outer parts of their faces: Developmental data concerning “unfamiliar” faces. *British Journal of Developmental Psychology*, *21*, 125–135.

Webb, S. J., Dawson, G., Bernier, R., & Panagiotides, H. (2006). ERP evidence of atypical face processing in young children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, *36*(7), 881–890. doi:10.1007/s10803-006-0126-x

Webb, S. J., Jones, E. J. H., Merkle, K., Murias, M., Greenson, J., Richards, T., et al. (2010). Response to familiar faces, newly familiar faces, and novel faces as assessed by ERPs is intact in adults with autism spectrum disorders. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, *77*(2), 106–117. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.04.011

Wheeler, A. (2010). The emergence of a left visual field bias in infants’ processing of dynamic faces.

Willems, S., Adam, S., & Van der Linden, M. (2002). Normal mere exposure effect with impaired recognition in Alzheimer's disease. *Cortex*, *38*(1), 77–86.

Wilson, C. E., Brock, J., & Palermo, R. (2010). Attention to social stimuli and facial identity recognition skills in autism spectrum disorder. *Journal of intellectual disability research : JIDR*, *54*(12), 1104–1115. doi:10.1111/j.1365-2788.2010.01340.x

Wilson, T. D., Lindsey, S., & Schooler, T. Y. (2000). A model of dual attitudes. *Psychological review*, *107*(1), 101.

Wolff, W. (1933). The experimental study of forms of expression. *Character and Personality*, *2*, 168–173.

Wooding, D. S. (2002). Eye movements of large populations: II. Deriving regions of interest, coverage, and similarity using fixation maps. *Behavior research methods, instruments, & computers : a journal of the Psychonomic Society, Inc*, *34*(4), 518–528.

Wright, D. B., & Stroud, J. N. (2002). Age differences in lineup identification accuracy: people are better with their own age. *Law and human behavior*, *26*(6), 641–654.

Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 141–145.

Young, A. W., Hay, D. C., McWeeny, K. H., Flude, B. M., & Ellis, A. W. (1985). Matching familiar and unfamiliar faces on internal and external features. *Perception*, *14*(6), 737–746.

Young, A. W., Hellawell, D., & Hay, D. C. (1987). Configurational information in face perception. *Perception*, *16*(6), 747–759.

Young, G. S., Young, G. S., Merin, N., Merin, N., Rogers, S. J., Rogers, S. J., et al. (2009). Gaze behavior and affect at 6 months: predicting clinical outcomes and language development in typically developing infants and infants at risk for autism. *Developmental science*, *12*(5), 798–814. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00833.x

Yovel, G., Levy, J., Grabowecky, M., & Paller, K. A. (2003). Neural correlates of the left-visual-field superiority in face perception appear at multiple stages of face processing. *Journal of cognitive neuroscience*, *15*(3), 462–474. doi:10.1162/089892903321593162

Yovel, G., Tambini, A., & Brandman, T. (2008). The asymmetry of the fusiform face area is a stable individual characteristic that underlies the left-visual-field superiority for faces. *Neuropsychologia*, *46*(13), 3061–3068. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.06.017

Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *9*(2P2), 1–8.

Złotowski, J., Złotowski, J., Bartneck, C., & Bartneck, C. (2013). The inversion effect in HRI: are robots perceived more like humans or objects?, 365–372.