



HAL
open science

Ralentir les mouvements du visage pour mieux l'explorer : une étude en oculométrie auprès d'enfants avec troubles du spectre de l'autisme

Carole Tardif, Aurore Charrier, Bruno Gepner

► To cite this version:

Carole Tardif, Aurore Charrier, Bruno Gepner. Ralentir les mouvements du visage pour mieux l'explorer : une étude en oculométrie auprès d'enfants avec troubles du spectre de l'autisme. A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant, 2016. hal-01787253

HAL Id: hal-01787253

<https://hal.science/hal-01787253>

Submitted on 7 May 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ralentir les mouvements du visage pour mieux l'explorer : une étude en oculométrie auprès d'enfants avec troubles du spectre de l'autisme

Carole Tardif ¹, Aurore Charrier ², Bruno Gepner ³

¹ Aix-Marseille Université, PSYCLE EA3273 (Psychologie de la Cognition, du Langage et de l'Emotion), Maison de la Recherche, Faculté des Arts, Lettres, Langues et Sciences Humaines, 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France.

² Institut médico-éducatif La Frégate, Aïdera-Var, Toulon, France, PSYCLE EA 3273.

³ Aix-Marseille Université, Laboratoire NICN UMR-CNRS 7259 (Neurobiologie des Interactions Cellulaires et Neurophysiopathologie), Faculté de Médecine Marseille Nord, 15 rue Pierre Dramard, 13015 Marseille, France.

Auteur correspondant : carole.tardif@univ-amu.fr

Résumé :

L'un des symptômes les plus précoces, spécifiques et durables des troubles du spectre de l'autisme est l'évitement du contact oculaire, qui entraîne des défauts d'interaction sociale et de traitement des informations faciales. Une des explications de cet évitement est une aversion pour les mouvements du visage d'autrui du fait de leur rapidité excessive. Pour tester cette hypothèse, nous avons cherché à évaluer avec des mesures oculométriques l'impact du ralentissement de la dynamique faciale sur la manière dont des enfants avec autisme explorent le visage d'une narratrice racontant une histoire. Les résultats de cette étude montrent globalement que le ralentissement de la dynamique faciale permet d'accroître la durée de regard des enfants autistes sur le visage, et notamment les lèvres et les yeux, de la narratrice. Ces résultats confirment et expliquent les perspectives thérapeutiques intéressantes du ralentissement de l'environnement audiovisuel pour les enfants avec TSA.

Mots-clés : Troubles du Spectre de l'Autisme (TSA), oculométrie, fixation visuelle, ralentissement des informations.

Title : Slowing down facial dynamics enhances facial exploration in children with ASD: an eye-tracking study.

Abstract: One of the earliest, most specific and long-lasting symptoms of ASD is gaze and face avoidance, inducing impairments in social interaction and face processing. An underlying explanation of this symptom is an aversion for facial movements due to their excessive speed. In order to test this hypothesis, we wished to measure with an eye-tracker the impact of slowed down facial dynamics on the way children with ASD explore the face of a speaker telling a story. Results of our study overall show that slowing down the speaker's facial dynamics (along with her speech flow) enhances mean duration and/or total time of visual

fixations on the speaker's face, and particularly her lips and eyes. Our results confirm and explain the promising therapeutic perspectives of slowing down audio-visual environment for children with ASD.

Key words: Autism spectrum disorders (ASD); eye-tracking; visual fixation; slowing down information

Título: Ralentizar los movimientos del rostro para explorarlo mejor: un estudio de oculometría dirigido a niños con Trastorno del Espectro del Autismo (TEA).

Resumen:

Uno de los síntomas más precoces, específicos y permanentes de los trastornos del espectro del autismo (TEA) es la evitación del contacto ocular, que provoca déficits de interacción social y del tratamiento de la información facial. Una de las explicaciones de esta evitación es una aversión hacia los movimientos del rostro ajeno, a causa de su rapidez excesiva. Para comprobar esta hipótesis, hemos evaluado con medidas oculométricas el impacto de la ralentización de la dinámica facial sobre la manera en la que niños con autismo exploran el rostro de una narradora que cuenta una historia. Los resultados de este estudio muestran, globalmente, que la ralentización de la dinámica facial permite aumentar la duración de la mirada de los niños autistas hacia el rostro, y en particular hacia los labios y los ojos de la narradora. Estos resultados confirman y explican las prometedoras perspectivas terapéuticas de la ralentización del entorno audiovisual para los niños con TEA.

Palabras clave: Trastorno del Espectro del Autismo (TEA), oculometría, fijación visual, ralentización de la información.

Introduction

Les troubles du spectre de l'autisme (TSA) sont des désordres neuro-développementaux précoces et plus ou moins envahissants qui altèrent dès le début de la vie ou dans la seconde année les réactions sensorielles, la communication et les interactions socio-émotionnelles du bébé avec son environnement. Or, les conduites premières et indispensables pour échanger avec autrui (accordage des regards entre le bébé et son partenaire, contingence des mouvements de leurs visages et de leurs mains, imitations, partage émotionnel synchrone), que l'on peut résumer sous le terme d'*intersubjectivité*, sont altérées chez les jeunes enfants avec TSA (Trevarthen & Aitken, 2001 ; Trevarthen & Delafield-Butt, 2013). Le modèle intersubjectif de l'autisme (Rogers & Pennington, 1991) expliquait déjà l'échec de l'entrée dans le partage social des enfants autistes par un *défaut d'intersubjectivité*, contribuant aux difficultés d'interactions sociales des enfants avec TSA dès leur plus jeune âge (voir par exemple Tardif et Gepner, 2014, pour une revue des modèles en psychopathologie développementale dans les TSA).

Une attention réduite et/ou atypique pour le visage d'autrui et un évitement du contact oculaire, observés chez plusieurs enfants par Kanner en 1943 et Asperger en 1944, ainsi qu'un défaut de poursuite oculaire d'objets ou personnes en mouvement, sont parmi les signes les plus précoces et spécifiques d'autisme ou TSA chez un bébé (e.g. Adrien et al., 1993; Dahlgren et Gillberg, 1989; Osterling and Dawson, 1994; St Georges et al., 2010). Nombreux sont aussi les adolescents et adultes avec TSA qui continuent d'éviter le visage ou le regard d'autrui, et certains d'entre eux témoignent de leur difficultés à supporter le regard, pour différentes raisons (cf. infra). Daniel Tammet, un adulte avec un syndrome d'Asperger, doté d'une mémoire prodigieuse des chiffres et des langues, rapporte que chaque visage humain était pour lui un problème difficile, non seulement à cause des multiples petits détails qui le composent, mais aussi et surtout du fait de leur instabilité constante (Tammet, 2009).

Ces comportements visuels atypiques sont consensuellement considérés comme des contributeurs importants des désordres de la communication sociale chez les personnes avec TSA. Ils génèrent aussi directement et précocement un appauvrissement de la lecture du visage d'autrui, qui contribue aux altérations du traitement du visage dans cette population, qu'il s'agisse de la reconnaissance de l'identité faciale, ou de la reconnaissance des émotions faciales et de la lecture des intentions d'autrui (e.g. Tanaka et Sung, 2013). Cette moindre expertise des visages expliquerait aussi en partie le ralentissement du traitement de l'information faciale observé comportementalement et électrophysiologiquement chez des enfants TSA (e.g. Dawson et al., 2005).

Depuis près de 15 ans, un nombre croissant d'études utilisant l'oculométrie (eye-tracking) auprès d'enfants et adultes avec TSA ont évalué leurs particularités d'exploration visuelle de scènes sociales, de photographies de visage ou de visages animés (exprimant des mimiques faciales émotionnelles, parlant, chantant, etc.). Concernant les stimuli dynamiques, une étude pionnière a montré chez 15 adolescents et adultes avec TSA un temps de fixation visuelle plus court sur la région des yeux et un temps de fixation deux fois plus long sur la bouche, le corps et des objets que chez les sujets contrôles (Klin et al., 2002). Cet évitement du regard, en même temps qu'une préférence pour la bouche, a aussi été observé chez des enfants avec TSA de 2 ans (Jones et al., 2008; Klin et al., 2009), et même durant la première année de vie (Jones et Klin, 2013), et dans tous les cas, le degré d'évitement du regard était corrélé au degré d'altérations sociales des participants.

Comparativement aux enfants typiques, les enfants avec TSA passent moins de temps à regarder le visage d'autrui et ses caractéristiques centrales comme les yeux, au profit de zones de faible importance sociale (Chawarska et al., 2013). D'autres études ont observé une attention moindre pour la bouche (plutôt que pour les yeux) chez des enfants avec TSA comparés à des enfants typiques (Chawarska, Macari et Shic, 2012), et une corrélation positive entre le taux de fixation sur la bouche et le développement verbal chez des adolescents (Norbury et al., 2009) et des enfants (Chawarska et al., 2012) avec TSA, ainsi que chez des bébés à risque autistique (Young et al., 2009 ; Elsabbagh et al., 2013). D'autres études ont montré une moindre attention pour les yeux et la bouche (Nakano et al., 2010).

Ainsi, chez les enfants avec TSA, une attention moindre pour la zone des yeux semble corrélée à leurs perturbations sociales tandis qu'une attention moindre sur la zone de la bouche semble corrélée à leurs anomalies verbales (Falck-Ytter, Fernell, Gillberg, von Hofsten, 2010; Falck-Ytter, Bölte, Gredebäck, 2013).

Mais les résultats des études varient aussi en fonction de la nature des stimuli expérimentaux utilisés. Par exemple, il est rapporté un temps moindre passé à fixer les yeux quand les stimuli sociaux sont dynamiques mais pas quand ils sont statiques (Speer et al., 2007), et une attention moindre sur le visage et la bouche d'un acteur est observée quand l'acteur regarde droit devant et qu'il parle, mais pas quand il regarde ailleurs (Chawarska et al., 2012).

La toute première explication de ces comportements visuels atypiques dans l'autisme proposait que certains enfants autistes soient dans un état constant d'*hyper-éveil* (over arousal) comportemental et électrophysiologique quand ils font face à une interaction sociale. Comme mécanisme de protection, ces enfants éviteraient activement l'indice social le plus puissant, le visage, et particulièrement les yeux (Hutt et al., 1964). En adéquation avec cette hypothèse de l'*hyper-éveil*, une étude réalisée chez des enfants avec TSA en IRM cérébrale fonctionnelle a montré que leurs fixations visuelles sur la région des yeux étaient corrélées à des activations accrues de l'amygdale, une région associée au traitement de la peur, en comparaison à la fixation sur d'autres régions du visage (Dalton et al., 2005). Les auteurs suggèrent que cette réponse émotionnelle accrue associée à la fixation des yeux chez les personnes autistes peut résulter en un évitement actif du contact facial; l'*hyper-éveil* serait à son acmé en présence de contact oculaire. Une telle exacerbation de la réponse émotionnelle au contact oculaire et facial s'accorde bien avec la *théorie du monde intense* (Markram et Markram, 2010), ainsi qu'à celle de l'*hyper-réactivité* au changement visuel et sonore (Gomot et al., 2008, 2010). Une autre explication considère que l'évitement du regard est utilisé par les enfants avec TSA comme une stratégie de gestion de la charge cognitive que représente le regard d'autrui, et ils ont alors tendance à éviter de regarder autrui en tournant leur "regard vers l'intérieur", notamment quand ils sont exposés à une demande cognitive (Doherty-Sneddon, Riby, Whittle, 2012).

Mais qu'y a-t-il d'autre, dans le visage d'autrui, qui pourrait contribuer à expliquer pourquoi les personnes avec TSA sont stressées durant l'interaction visage-visage (*face-to-face interaction*), et pourquoi elles tendent à éviter de regarder le visage, les yeux et/ou la bouche d'autrui ?

Il a été montré que des déficits dans la perception et l'intégration du *mouvement*, qu'il s'agisse du mouvement environnemental (Gepner et al., 1995) ou de mouvement biologique (mouvement de visage) (Gepner et al., 2001), et plus particulièrement du *mouvement rapide* (Gepner et Mestre, 2002a, 2002b), pourraient dévoiler d'autres aspects importants des TSA. Depuis ces travaux princeps, une littérature scientifique abondante a confirmé des particularités de traitement de différents types et aspects du mouvement physique ou biologique, notamment à contenu émotionnel, chez les personnes avec TSA (pour des revues, voir par exemple Dakin et Frith, 2009; Kaiser et Shiffrar, 2009), même si quelques études montrent, chez des enfants avec TSA mais sans déficience intellectuelle, de bonnes capacités pour comparer des vitesses de points en mouvement (traitement local de l'information), mais une dégradation de l'intégration globale de ces points dans un mouvement cohérent (Chen et al., 2012), et une bonne intégration d'un mouvement global mais dans des gammes de vitesse lente (Manning et al., 2015).

Concernant les mouvements biologiques, il est hautement probable que les multiples mouvements du visage (mouvements des lèvres pendant la parole, mimiques faciales

émotionnelles, mouvements et saccades oculaires) soient trop rapides et complexes pour être supportés sensoriellement par de nombreux enfants autistes, générant alors une aversion et un évitement du regard ou du visage. Et, pour de nombreux autres enfants autistes, lorsque ces mouvements sont supportés, ils sont difficilement perçus et intégrés en temps réel (Gepner, 2001; Gepner et Mestre 2002b).

Les enfants avec TSA ont également des difficultés pour catégoriser un phonème complexe du fait de sa brièveté, un ralentissement du signal normalisant alors la catégorisation de ce phonème (Tardif et al., 2002), du fait d'une anomalie du traitement des transitions acoustiques brèves de la parole (Oram Cardy et al.2005; Roberts et al., 2010). En outre, ils ont des problèmes d'intégration temporelle multisensorielle de stimuli provenant de sources sonore et visuelle (Stevenson et al., 2014). L'ensemble de ces données a conduit à l'hypothèse d'un déficit plus général de la perception et de l'intégration des informations sensorielles dynamiques rapides chez les individus avec TSA (Gepner et Massion, 2002; Gepner et Tardif, 2006; Gepner et Féron, 2009). La *théorie temporelle* de l'autisme de Gepner et collaborateurs (Gepner, 2006; Gepner et Tardif, 2009; Gepner, 2014) explique que les événements visuels et sonores rapidement changeants de la vie quotidienne auxquels doivent faire face les enfants avec TSA sont souvent trop difficiles à supporter et gérer pour eux, et donc souvent évités, et, lorsqu'ils sont affrontés, ils sont perçus et intégrés avec un décalage temporel et de manière altérée.

Ainsi, plusieurs de nos études expérimentales ont montré, chez des enfants avec TSA comparés à des enfants au développement typique et/ou avec retard mental, que le ralentissement sur ordinateur des mouvements du visage et du flux de la parole peut améliorer la reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles et non émotionnelles (Lainé et al., 2008a; Tardif et al., 2007), l'imitation spontanée d'expressions faciales et de vocalisations (Tardif et al., 2007), l'imitation intentionnelle de mouvements faciaux et corporels (Lainé et al., 2008b, 2011), la compréhension de phonèmes, mots et phrases (Tardif et al., 2002 ; Lainé et al., 2009). De plus, une étude translationnelle pilote a montré que des séances répétées d'exposition à des séquences audio-visuelles ralenties induisent au fil des séances un accroissement de l'attention, de la compréhension verbale et non verbale, de la réciprocité sociale, et du comportement chez 4 enfants ayant un autisme sévère (Meiss et al., 2015).

En résumé, nos études précédentes suggèrent fortement que le mouvement lent offre la possibilité aux enfants avec autisme à la fois d'extraire les indices-clés du visage, mais aussi de les utiliser de façon appropriée et de les intégrer en un tout cohérent (optimisation du traitement configural, renforcement de la cohérence centrale, Frith 2010), et de produire davantage de comportements adaptés. C'est dans ce contexte que nous avons cherché à mesurer l'impact du ralentissement de la dynamique faciale sur la manière dont des enfants avec TSA explorent un visage. S'il est vrai que des enfants autistes évitent le visage d'autrui et ses traits internes, particulièrement pendant l'interaction verbale et sociale, en partie du fait qu'il est constamment et rapidement changeant, alors ralentir la vitesse de présentation de la dynamique faciale devrait logiquement réduire cet évitement, et donc accroître l'attention visuelle pour le visage d'autrui.

Pour tester cette hypothèse, nous avons mesuré grâce à un dispositif oculométrique (eye-tracking) les fixations visuelles d'enfants avec TSA et d'enfants contrôles typiques sur une scène visuelle montrant une personne qui raconte une histoire enfantine à différentes vitesses (en temps réel et au ralenti).

Méthodologie

Participants

L'étude porte sur une cohorte de 23 enfants (deux filles et vingt et un garçons), âgés de 3 à 8 ans (âge moyen = 5 ans 8 mois ; E.T. = 1.7), présentant un TSA selon les critères de la CIM-10 (WHO, 1993) et du DSM-5 (APA, 2013). La sévérité du trouble est évaluée à l'aide de la CARS (Childhood Autism Rating Scale, Schopler, Reichler, DeVellis & Daly, 1980). Les enfants sont recrutés après avis favorable de l'AFSSAPS et du Comité de protection des personnes (CPP, Marseille), information complète et consentement éclairé des parents. Ils sont tous suivis en orthophonie, à raison d'une séance par semaine.

Vingt-neuf enfants contrôles au développement typique ont également été recrutés auprès d'enseignants dans des établissements scolaires, après consentement libre et éclairé de leurs parents. Ils ont été appariés aux enfants avec TSA sur l'âge chronologique (moyenne = 5 ans et 9 mois ; E.T. = 1.4) et sur le genre.

La cohorte des 23 enfants avec TSA a été divisée en deux groupes:

- Groupe 1 : 12 enfants avec TSA, comprenant une fille et onze garçons, d'un âge moyen de 5 ans 6 mois (E.T. = 1.5), qui bénéficient de l'utilisation du logiciel de ralentissement Logiral™ (Tardif et Gepner, 2012) lors de leurs séances d'orthophonie hebdomadaires durant une année.
- Groupe 2 : 11 enfants avec TSA, comprenant une fille et dix garçons, d'un âge moyen de 5 ans 10 mois (E.T. = 1.8), qui ne bénéficient pas du logiciel de ralentissement Logiral™, lors de leurs séances d'orthophonie hebdomadaires durant la même période.

La répartition des 23 enfants avec TSA dans les 2 groupes est faite au hasard, selon le principe des Essais Contrôlés et Randomisés (Randomized Controlled Trial) et sur la base d'un appariement sur l'âge réel, le genre, l'intensité du syndrome autistique (CARS, Schopler et al., 1980), le niveau de comportement adaptatif en socialisation et en communication (VABS, Sparrow, Balla & Cicchetti, 1984), l'âge de développement non verbal (KABC-II, Kaufman & Kaufman, 2004), l'âge de développement verbal (EVIP, Dunn, Theriault-Whalen, & Dunn, 1993), le niveau de communication (PEP 3, Schopler et al., 2008).

Matériel

1) Logiciel de ralentissement : Logiral™

Logiral™ (Tardif et Gepner, 2012) est un logiciel développé en Java, et utilisable sur ordinateurs PC. Son atout principal est de pouvoir ralentir facilement des vidéos de différents

formats (la plupart des formats vidéo peuvent être lus par le logiciel), sans déformation acoustique ou visuelle, grâce à son interface spécifique qui permet un accès à certaines commandes peu mises en avant dans d'autres lecteurs standards.

Logiral™ est utilisé par les orthophonistes des enfants TSA du Groupe 1 pour ralentir de courtes séquences filmées de l'orthophoniste ou de personnes familières ou non familières mimant des expressions faciales émotionnelles de base (la joie, la peur, le dégoût, la colère, la tristesse et l'étonnement) ; ralentir des séquences filmées du visage de l'orthophoniste énonçant des consignes d'actions simples ou complexes portant sur différents matériels (par exemple donner un lego selon sa couleur dans le cas d'une consigne simple, prendre un livre et le placer à un endroit donné dans le cas d'une consigne complexe ; ralentir des séquences filmées de l'orthophoniste prononçant des syllabes, mots, phrases, ou effectuant des gestes et demandant de les imiter (dire au revoir, taper dans les mains, tirer la langue, etc.) ; ralentir des dessins animés, ou autres films, etc.

Les orthophonistes des enfants avec TSA du Groupe 2 utilisent le même type de supports, matériels et exercices adaptés à la rééducation de la communication verbale orale, visuelle et gestuelle des enfants avec TSA, y compris le support informatique, mais elles ne disposent pas de Logiral™.

2) *Matériel d'oculométrie*

Les comportements d'exploration visuelle des enfants avec TSA et des enfants typiques lorsqu'ils regardent le visage présenté à l'écran sont enregistrés à l'aide d'un oculomètre binoculaire (Tobii T120 Eye Tracker), basé sur le principe PCCR (Pupil Centre Corneal Reflection). Cinq diodes, situées sous l'écran de visualisation de l'oculomètre, envoient un signal infrarouge (IR) au niveau des yeux des participants. Deux capteurs d'images, également situés sous l'écran de visualisation, enregistrent le reflet infrarouge réfléchi par la cornée et la pupille de chaque œil. Cet oculomètre, non invasif et disposant d'une grande tolérance aux mouvements de la tête, est particulièrement adapté pour les enfants : ils se retrouvent comme devant un écran d'ordinateur ou une télévision.

La résolution des vidéos est de 1024 x 764 pixels. La précision du suivi de la position des yeux est de 0,5° pour une résolution spatiale de 0,2°. La fréquence d'enregistrement est de 120 Hz (soit 120 données enregistrées par seconde pour chaque œil). Les données sont identifiées par un horodatage et des coordonnées X, Y. L'oculomètre est relié à un ordinateur portable sur lequel est installé le logiciel Studio 3.0 et deux enceintes (LOGITECH X140, puissance 5 Watts) pour amplifier le son des vidéos de format avi. Le logiciel Studio permet de traiter les données brutes enregistrées par l'oculomètre et d'identifier, par l'intermédiaire d'un filtre de fixations (ClearView fixation filter), les fixations et les saccades. Une fixation est considérée comme la période où la position de l'œil dure au minimum 100 ms et ne varie pas plus de 1.2° d'angle visuel.

3) *Stimuli expérimentaux*

Une version abrégée et simplifiée des Trois Petits Cochons (basée sur la reprise des studios Walt Disney, 1933) est racontée par une narratrice qui regarde la caméra de face et utilise des intonations différentes et des mouvements faciaux très expressifs. Seul son visage en gros plan apparaît à l'écran sur un fond neutre (cf. Figure 1).

Le film, d'une durée totale de 100 s, est divisé en 6 scènes (S1, S2, S3, S4, S5, S6) de 16.7 s chacune. Chaque scène est présentée selon 3 vitesses : vitesse temps réel du récit par la narratrice (durée 16.7 s) ; vitesse lente (70 % de la vitesse temps réel, durée 24.3 s) ; vitesse très lente (50 % de la vitesse temps réel, soit deux fois plus lentement qu'en temps réel, durée 34.3 s).

Procédure expérimentale

Les enfants avec TSA ont été testés individuellement dans un box expérimental¹, et les enfants typiques ont été testés individuellement dans une salle de taille équivalente à celle du box expérimental et spécialement aménagée à cet effet dans leur école. Le box expérimental et la salle expérimentale à l'école étaient des pièces aveugles (sans fenêtre), aménagés avec le même mobilier (deux tables de 160cmx80cm, deux chaises standards et une chaise à dossier de taille ajustable) et les affiches ont été retirées des murs. Le dispositif de mesure (oculomètre, ordinateur, amplificateurs) est le même et positionné de la même façon dans les deux lieux. Afin de contrôler la luminosité dans les deux salles d'expérimentation, nous avons utilisé une source lumineuse incandescente fournissant une lumière constante de 10 lux (contrôlé par un luxmètre).

L'enfant est placé à environ 60 cm de l'écran de l'oculomètre, correspondant à un angle visuel d'approximativement 30°. Après une phase de calibration, on lui présente l'histoire des 3 petits cochons. L'histoire présentée aux enfants est constituée, dans un ordre aléatoire, de 2 séquences en vitesse temps réel, de 2 séquences en vitesse lente et de 2 séquences en vitesse très lente. À la suite de l'histoire, une image extraite d'un dessin animé apparaît au centre de l'écran afin de remobiliser l'attention de l'enfant sur l'écran de visualisation. L'histoire est présentée 3 fois, de façon à ce que chaque enfant ait vu au moins une fois chaque scène dans les 3 modalités de présentation, entre lesquelles s'intercalent 3 images. La durée minimum du stimulus est de 464 secondes.

1) Mesures oculométriques

La scène visuelle est divisée en 4 régions d'intérêt : la région des yeux, la région de la bouche, la région du visage (en dehors des zones des yeux et de la bouche), la région autre (excluant la région du visage). Chaque zone a préalablement été ajustée image par image en fonction des mouvements de la narratrice.

Grâce à l'oculomètre, on enregistre chez les enfants avec TSA et les enfants contrôles : le nombre de fixations visuelles, représentant la quantité de fixations faites sur la scène visuelle ou une région d'intérêt ; le temps de fixation, correspondant à l'addition de l'ensemble des durées de fixation faites sur la scène visuelle ou une région d'intérêt ; la durée moyenne de

¹ Au Laboratoire Parole Langage, UMR CNRS 7309, Aix-Marseille Université

chaque fixation visuelle sur la scène visuelle ou sur une région d'intérêt. Ces paramètres de fixations visuelles sont analysés d'une part sur les différentes scènes, puis selon les quatre zones d'intérêts, afin de comparer les comportements d'exploration visuelle des enfants avec TSA avec ceux des enfants typiques en fonction de la vitesse de présentation.



Figure 1 : Les zones d'intérêts : 1= zone des yeux, 2= zone de la bouche, 3= zone du visage (en dehors de la zone des yeux et de la bouche), 4= zone autre (excluant la zone du visage)

2) *Recueil des données*

Nous recueillons des données aux 3 temps de l'étude : à T0, avant le début de l'étude ; à T1, 6 mois après le début de l'étude ; à T2, à la fin de l'étude.

A T0, nous comparons les mesures de fixations visuelles des 23 enfants avec TSA avec celles des 29 enfants typiques.

A T0, T1 et T2, nous comparons les mesures de fixations visuelles des enfants avec TSA du Groupe 1 (bénéficiant des séances d'orthophonie avec Logiral™) avec celles du Groupe 2 (bénéficiant des séances d'orthophonie sans Logiral™).

Résultats synthétiques et discussion

Dans cet article, nous ne présenterons que quelques données générales d'oculométrie de notre étude. Les résultats à T0 ont déjà fait l'objet d'une publication (Charrier et al., 2016). Les résultats oculométriques détaillés et les résultats comportementaux de notre étude longitudinale (comparaison de l'évolution clinique sur 12 mois des enfants avec TSA des deux groupes, ceux bénéficiant de Logiral™ *versus* ceux n'en bénéficiant pas) sont en cours de soumission.

Au premier temps de mesure, à T0, nos principaux résultats indiquent que les enfants avec TSA regardent moins le visage et la bouche de la narratrice, mais autant ses yeux, que les enfants typiques. Ce résultat est en accord avec les études montrant que les enfants avec TSA sont moins attentifs que les enfants typiques aux scènes sociales et aux caractéristiques centrales du visage, préférant observer des régions sans importance pour la communication sociale. Ainsi, par exemple, Chawarska et al. (2013) observent que lors d'un contexte d'échanges dyadiques où des signaux explicites d'engagement social (langage adressé à l'enfant et contacts oculaires) apparaissent sur l'écran de visualisation, les jeunes enfants avec autisme regardent moins la scène de façon générale, notamment le visage de l'orateur et sa

bouche, et dirigent plus leur regard vers des régions socialement moins importantes que les enfants contrôles au développement typique ou présentant un retard de développement. Par contre, dans des conditions sans contact oculaire ni parole, la distribution de l'attention entre les principales caractéristiques de la scène sociale est comparable entre les trois groupes. Ce ne serait pas tant la présentation du visage en soi d'une personne qui perturbe les patterns généraux de regard des enfants avec autisme mais plutôt la présence d'échanges dyadiques.

Chez les enfants TSA, nous observons que plus la scène visuelle est ralentie, plus la durée moyenne de fixation visuelle des enfants avec TSA dans leur ensemble s'accroît sur la scène visuelle globale, et en particulier sur la zone de la bouche. De plus, les enfants ayant un autisme léger passent d'autant plus de temps à explorer le visage de la narratrice, et notamment sa bouche et ses yeux, que la vitesse est ralentie. Ainsi, avant même toute exposition préalable à des stimuli ralentis lors des séances d'orthophonie, le ralentissement des informations faciales améliore leur exploration visuelle du visage en atténuant leur tendance à disperser leur attention et à éviter le contact visuel avec le visage d'autrui. Ce résultat est particulièrement intéressant puisque si les enfants avec TSA font des fixations en moyenne plus longues sur la zone de la bouche lorsque les scènes sont ralenties, ils s'exposent davantage aux informations véhiculées par les mouvements labiaux, augmentant ainsi leur chance de les décoder et de les associer avec les sons ralentis de la parole.. En effet, les informations véhiculées par la zone des lèvres contribuent au décodage du langage (Rosenblum et al., 1996) et à son apprentissage (Teinonen et al., 2008), et sont donc cruciales pour le développement de la communication verbale.

Autre résultat particulièrement intéressant, les enfants typiques appariés sur l'âge réel présentent eux aussi des durées moyennes de fixation visuelle plus élevées sur les lèvres en vitesse ralentie qu'en vitesse temps-réel. Au regard de l'impact du ralentissement sur l'exploration des lèvres, les enfants autistes se comportent comme des enfants typiques de même âge réel, même si les durées moyennes et le temps total de fixation sur les lèvres sont significativement plus longs chez les enfants typiques que chez les enfants avec TSA.

Au cours du temps, c'est-à-dire lors des mesures répétées à T0, T1 et T2 (au début, au milieu et à la fin de l'étude), on note une amélioration significative de l'exploration visuelle du visage chez les enfants avec TSA ayant bénéficié de Logiral™ lors des séances d'orthophonie, ce qui est peu ou pas observé chez les enfants avec TSA n'ayant pas bénéficié de Logiral™. Plus particulièrement, les enfants qui ont bénéficié du ralenti pendant un an regardent davantage le visage, les yeux et la bouche et orientent plus leur regard vers le visage et les yeux entre le début et la fin de l'expérimentation (Charrier, 2014). En outre, ce résultat est observé quelle que soit la vitesse de présentation des scènes visuelles. Ceci laisse supposer qu'au terme d'un an d'utilisation de Logiral™, les enfants semblent plus intéressés, plus attentifs et regardent plus longtemps le visage et en particulier les yeux et la bouche de la narratrice, que les scènes soient ou non ralenties. Puisqu'un tel effet n'est mesuré ni au début de l'expérience (à T0), ni pour les enfants du groupe sans Logiral™, il est probable que les effets bénéfiques du ralentissement sur les comportements d'exploration du visage se soient étendus aux vitesses plus rapides, et que les enfants soient devenus moins gênés et possiblement plus intéressés par le visage et sa dynamique en temps-réel.

Ainsi, une présentation lente et répétée des flux visuels et sonores au cours du temps (les séances d'orthophonie) améliore l'exploration visuelle des visages des enfants avec TSA, ceux-ci regardant davantage le visage et ses caractéristiques centrales. Ceci est particulièrement intéressant puisque les informations issues de ces zones du visage jouent un rôle fondamental dans les échanges humains: les informations véhiculées par la zone des lèvres contribuent non seulement au décodage du langage (Rosenblum et al., 1996) et à son apprentissage (Teinonen et al., 2008), mais également à la reconnaissance des émotions faciales (Nusseck et al., 2008), et les informations véhiculées par le regard sont cruciales pour le décodage des émotions et des intentions d'autrui et la construction d'une théorie de l'esprit (Mundy et Newell, 2007; Baron-Cohen, 1995 ; Frith, 2010) ainsi que le développement de l'intersubjectivité (Trevarthen et Aitken, 2001).

Ces résultats dans leur ensemble confirment que la dynamique faciale est potentiellement trop rapide pour être appréhendée par les enfants autistes, et démontrent que le ralentissement de la dynamique faciale permet de stabiliser leur regard sur le visage d'autrui et ses traits internes, ce qui confirme les perspectives thérapeutiques novatrices du ralentissement audio-visuel pour améliorer le développement des compétences verbales et socio-émotionnelles ainsi que les comportements des personnes avec TSA. Le ralentissement du flux sensoriel et informationnel, en diminuant l'aversion visuelle, en évitant précocement l'évitement du regard de l'enfant autiste, ouvre la voie à la réhabilitation de l'usage de son regard et à une plus grande disponibilité attentionnelle pour le visage d'autrui. En améliorant la disponibilité de l'enfant autiste pour *l'interaction visage-visage*, on lui offre une nouvelle perspective de développement de sa communication verbale, non verbale et socio-émotionnelle.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à des subventions de la Fondation de France, de l'Université d'Aix-Marseille, du Conseil Régional PACA et du Ministère de l'Éducation Nationale. Nous remercions Thomas Arciszewski (IGE PSYCLE), Bruno Dauvier (MCF-HDR, PSYCLE), et Nicolas Carvalho (IGE Maison de la Recherche), Aix-Marseille Université, pour leur aide dans les analyses statistiques. Nous remercions Thierry Legou (IGR, au Laboratoire Parole et Langage, UMR CNRS 7309, Aix-Marseille Université), pour son aide technique. Nous remercions chaleureusement tous les participants et leurs familles, ainsi que les orthophonistes des enfants avec TSA.

Références

- Adrien, J.L., Lenoir, P., Martineau, J., Hameury, L., Larmande, C., & Sauvage, D. (1993). Blind ratings of early symptoms of autism based upon family home movies. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 32, 617-626.
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th Edition)*. American Psychiatric Publishing, Arlington, VA.
- Baron-Cohen, S., (1995). *Mindblindness. An essay on autism and Theory of mind*. Cambridge : MIT Press. Trad. Française. *La cécité mentale*. Presses universitaires de Grenoble, 1998.

- Charrier, A. (2014). *Améliorer les compétences communicatives dans l'autisme en ralentissant les informations auditives et visuelles : une étude longitudinale et comportementale avec l'oculométrie*. Thèse de doctorat de psychologie, Université d'Aix-Marseille. Soutenue en décembre 2014.
- Charrier, A., Tardif, C., & Gepner, B. (2016). Amélioration de l'exploration visuelle d'un visage par des enfants avec autisme grâce au ralentissement de la dynamique faciale: une étude préliminaire en oculométrie. *L'Encéphale*. dx.doi.org/10.1016/j.encep.2016.02.005
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2012). Context modulates attention to social scenes in toddlers with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53, 8, 903–913.
- Chawarska, K., Macari, S., & Shic, F. (2013). Decreased Spontaneous Attention to Social Scenes in 6-Month-Old Infants Later Diagnosed with Autism Spectrum Disorders. *Biological Psychiatry*, 74, 195–203.
- Chen, Y., Norton, DJ., McBain, R., Gold, J., Frazier, JA., & Coyle, JT. (2012). Enhanced local processing of dynamic visual information in autism: evidence from speed discrimination. *Neuropsychologia*, 50, 733-739.
- Dahlgren, S. O., & Gillberg, C. (1989). Symptoms in the First Two Years of Life. *European Archives of Psychiatry and Neurological Sciences*, 238, 169-174.
- Dakin, S., & Frith, U. (2005). Vagaries of visual perception in autism. *Neuron*, 48, 497–507.
- Dalton, KM., Nacewicz, BM., Johnstone, T., Schaefer, HS, Gernsbacher, MA., Goldsmith, H., Davidson, RJ. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nature Neuroscience*, 8, 519-526.
- Dawson, G., Webb, SJ., & Mc Partland, J. (2005): Understanding the nature of face processing impairment in autism: insights from behavioral and electrophysiological studies. *Developmental Neuropsychology*, 27, 403-424.
- Doherty-Sneddon, G., Riby, DM., & Whittle, L. (2012). Gaze aversion as a cognitive load management strategy in autism spectrum disorder and Williams syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53, 420-430.
- Dunn LM, Theriault-Whalen CM, Dunn LM (1993). *Echelle de vocabulaire en images Peabody*. Adaptation française du *Peabody Picture Vocabulary test-revised*. Belgique: ATM.
- Elsabbagh, M., Bedford, R., Senju, A., Charman, T., Pickels, A., Johnson, MH. & The BASIS Team (2014). What you see is what you get: contextual modulation of face scanning in typical and atypical development. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9, 538-543.
- Falck-Ytter, T., Fernell, E., Gillberg, C., & von Hofsten, C (2010). Face scanning distinguishes social from communication impairments in autism. *Developmental Science*, 13, 864–865.
- Falck-Ytter, T., Bölte, S., & Gredebäck, G. (2013). Eye tracking in early autism research. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5, 28, 1-13.
- Frith, U. *L'énigme de l'autisme*, Odile Jacob, 2010.
- Gepner, B. (2014): *Autismes : Ralentir le monde extérieur, calmer le monde intérieur*, Odile Jacob.
- Gepner, B., Deruelle, C., & Grynfeldt, S. (2001): Motion and emotion: a novel approach to the study of face processing by young autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 37-45.
- Gepner, B., & Féron, F. (2009): Autism: a world changing too fast for a mis-wired brain? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, 1227-1242.
- Gepner, B., & Mestre, D. (2002a): Brief Report: Postural reactivity to fast visual motion differentiates autistic from children with Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 231-238.
- Gepner, B., Mestre, D. (2002b): Rapid visual-motion integration deficit in autism. *Trends Cogn Sci*, 6, 455.
- Gepner, B., Mestre, D., Masson, G., & de Schonen, S. (1995): Postural effects of motion vision in young autistic children. *NeuroReport*, 6, 1211-1214.
- Gepner B. & Massion J. (dirigé par) (2002). L'autisme : une pathologie du codage temporel ? *TIPA (Revue des Travaux Interdisciplinaire du laboratoire Parole et Langage)*, 21, 177-218.
- Gepner, B. (2001). "Malvoyance" du mouvement dans l'autisme infantile? Une nouvelle approche neuropsychopathologique développementale. *La Psychiatrie de l'Enfant*, XLIV, 1, 77-126.
- Gepner, B. & Tardif, C. (2006). Autism, movement, time and thought. *E-motion mis-sight* and other temporo-spatial processing disorders in autism. In: M. Vanchevsky (ed). *Frontiers in Cognitive Psychology*. New York : Nova Science Publishers (pp. 1-30).
- Gepner, B., & Tardif, C. (2009). Le monde va trop vite pour l'enfant autiste. *La Recherche*, 436, 56-59.
- Gepner, B. (2006). Constellation autistique, mouvement, temps et pensée. *Malvoyance de l'É-Motion*, autres désordres du traitement temporo-spatial des flux sensoriels et dyssynchronie dans l'autisme. *Devenir*, 18, 4, 333-379.
- 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.

- Gomot, M., Belmonte, M., Bullmore, E., Bernard, F. & Baron-Cohen, S. (2008) Brain Hyper-Reactivity to Auditory Novel Targets in Children with High-Functioning Autism. *Brain*, 131, 2479-2488.
- Gomot, M., Blanc, R. Clery, H., Roux, S., Barthelemy, C. & Bruneau, N. (2010). Electrophysiological biomarkers of hyper-reactivity to change in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41, 705-714.
- Hosozawa, M., Tanaka, K., Shimizu, T., Nakano, T., & Kitazawa, S. (2012). How children with specific language impairment view social situations: an eye tracking study. *Pediatrics*, 129, 1453-1460.
- Hutt, C., Hutt, S.J., Lee, D., & Ounsted, C. (1964): Arousal and childhood autism. *Nature* 496, 908-909.
- Jones, W., & Klin, A. (2013). Attention to eyes is present but in decline in 2-6-month-old infants later diagnosed with autism. *Nature*, 504, 427-431.
- 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. *Archives of General Psychiatry*, 65, 8, 946-954.
- Kaiser, M.D. & Shiffrar, M. (2009). The visual perception of motion by observers with autism spectrum disorders: a review and synthesis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16, 761-777.
- Klin, A., Jones, W., Schultz, R., Volkmar, F., & Cohen, D. (2002). Visual fixation patterns during viewing of naturalistic social situations as predictors of social competence in individuals with autism. *Archives of General Psychiatry*, 59, 809-816.
- Klin, A., Lin, D.J., Gorrindo, P., Ramsay, G., & Jones, W. (2009). Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion. *Nature* 459, 257-261.
- Lainé, F., Rauzy, S., Gepner, B., & Tardif, C. (2009). Prise en compte des difficultés de traitement des informations visuelles et auditives rapides dans le cadre de l'évaluation diagnostique de l'autisme. *Enfance*, 1, 133-142.
- Lainé, F., Rauzy, S., Tardif, C., & Gepner, B. (2011). Slowing down the presentation of facial and body movements enhances imitation performance by children with severe autism. *J Autism Dev Disord* 41, 983-996.
- Lainé, F., Tardif, C., & Gepner, B. (2008a). Amélioration de la reconnaissance et de l'imitation d'expressions faciales chez des enfants autistes grâce à une présentation visuelle et sonore ralentie. *Annales Médico-Psychologiques*, 166, 533-538.
- Lainé, F., Tardif, C., Rauzy, S., & Gepner, B. (2008b). Perception et imitation du mouvement dans l'autisme : une question de temps. *Enfance*, 2, 140-157.
- Manning, C., Tibber, M.S., Charman, T., Dakin, S.C., & Pellicano, E. (2015). Enhanced integration of motion information in children with autism. *The Journal of Neuroscience*, 35, 6979-6986.
- Markram, K. & Markram, H. (2010). The *intense world theory*: a unifying theory of the neurobiology of autism. *Front Hum Neurosci* 4, 1-29.
- Meiss, E., Tardif, C., Arciszewski, T., Dauvier, B., & Gepner, B. (2015) : Effets positifs d'une exposition à des séquences vidéo ralenties sur l'attention, la communication sociale et les troubles du comportement chez 4 enfants autistes sévères: une étude translationnelle pilote. *Neuropsychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent*, 63, 302-309.
- Mundy, P., Newell, L. (2007). Attention, Joint Attention, and Social Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16, 5, 269-274.
- Nakano, T., Tanaka, K., Endo, Y., Yamane, Y., Yamamoto, T., Nakano, Y., Ohta, H., Kato, N., & Kitazawa, S. (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*, 277, 2935-2943.
- Norbury, C.F., Brock, J., Cragg, L., Einav, S., Griffiths, H., & Nation, K. (2009): Eye-movement patterns are associated with communicative competence in autistic spectrum disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50, 834-842.
- Nusseck, M., Cunningham, D. W., Wallraven, C., & Bühlhoff, H. H. (2008). The contribution of different facial regions to the recognition of conversational expressions. *Journal of Vision*, 8, 1, 1-23.
- Oram Cardy, J.E., Flagg, E.J., Roberts, W., Brian, J., & Roberts, T.P. (2005): Magnetoencephalography identifies rapid temporal processing deficit in autism and language impairment. *NeuroReport* 16, 329-332.
- 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, 247-257.
- Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Paul, G., Goldman, B. D. & Piven, J. (2002). Visual Scanning of Faces in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 4, 249-261.
- Roberts, T.P.L., Khan, S.Y., Rey, M., et al. (2010). MEG Detection of Delayed Auditory Evoked Responses in Autism Spectrum Disorders: Towards an Imaging Biomarker for Autism. *Autism Research*, 3, 8-18.

- Rogers, S. J., & Pennington, B. F. (1991). A theoretical approach to the deficits in infantile autism. *Developmental Psychopathology*, 3, 137-162.
- Rosenblum, L. D., Johnson, J. A., & Saldaña, H. M. (1996). Point-Light Facial Displays Enhance Comprehension of Speech in Noise. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 1159-1170.
- Saint-Georges, C., Cassel, R. S., Cohen, D., Chetouani, M., Laznik, M. C., Maestro, S., & Muratori, F. (2010). What studies of family home movies can teach us about autistic infants: A literature review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 4, 3, 355-366.
- Schopler, E., Lansing, MD., Reichler, RJ., & Marcus, LM. (2008). *Profil Psycho-Educatif-PEP-3*. Bruxelles: de Boeck.
- Schopler, E., Reichler, RJ., DeVellis, RF., Daly, K. (1980). Toward objective classification of childhood autism: Childhood Autism Rating Scale (CARS). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 10, 91-103.
- Shic, F., Macari, S., Chawarska, K. (2013). Speech disturbs face scanning in 6-month-old infants who develop autism spectrum disorder. *Biological Psychiatry*, 1, 75(3), 231-237.
- Sparrow, S., Balla, D., & Cichetti, D. (1984): *Vineland adaptive behavior scale*. Aricles Rines, MN: American Guidance Service.
- Speer, LL., Cook, AE., McMahon, WM., & Clark, E. (2007). Face processing in children with autism: effects of stimulus contents and type. *Autism* 11, 265–277.
- Stevenson, RA., Siemann, JK., Schneider, BC., Eberly, HE., Woynaroski, TG., et al. (2014): Multisensory Temporal Integration in Autism Spectrum Disorders. *The Journal of Neuroscience*, 34, 691– 697.
- Tammet, D. (2009): *Embracing the wide sky. A tour across the horizons of the mind*. Hodder and Stoughton.
- Tanaka, JW. & Sung, A. (2013) : The “Eye Avoidance” hypothesis of autism face processing. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 5, 1538-1552.
- Tardif, C., Thomas, K., Rey, V., & Gepner, B. (2002): Contribution à l'évaluation du système phonologique explicite chez des enfants avec autisme. *Parole* 21, 35-72.
- Tardif, C. & Gepner, B. (2012). Logiral™ [Logiciel PC]. Téléchargeable sur <http://centrepysycle-amu.fr/Logiral™>.
- Tardif, C. & Gepner, B. (2014). *L'autisme*. Paris : Armand Colin (4^{ème} ed.).
- Tardif, C., Lainé, F., Rodriguez, M., & Gepner, B. (2007). Slowing down presentation of facial movements and vocal sounds enhances facial expression recognition and induces facial-vocal imitation in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1469-1484.
- Teinonen, T., Aslin, R. N., Alku, P., & Csibra, G. (2008). Visual speech contributes to phonetic learning in 6-month-old infants. *Cognition*, 108, 850–855.
- Trevarthen, C., & Aitken, K. J. (2001). Infant intersubjectivity: Research, theory, and clinical applications. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42, 3-48.
- Trevarthen, C., & Delafield-Butt, J. T. (2013). Autism as a developmental disorder in intentional movement and affective engagement. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 49, 1-16.
- World Health Organization. Mental Disorders (1993). *A glossary and Guide to their Classification in Accordance with the 10th Revision of the International Classification of Disease (ICD-10)*. Genève: World Health Organization.
- Young, GS., Merin, N., Rogers, SJ., & Ozonoff, S. (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, 798–814.