



Thèse

2025

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles d'enfants et adolescents en situation de polyhandicap

Cavadini, Thalia

How to cite

CAVADINI, Thalia. Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles d'enfants et adolescents en situation de polyhandicap. Doctoral Thesis, 2025. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:184604

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:184604>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:184604](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:184604)



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Section de Psychologie

Sous la direction du professeur Édouard Gentaz et du professeur Yannick Courbois

**Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les
compétences socio-émotionnelles d'enfants et adolescents en
situation de polyhandicap**

THESE

Présentée à la
Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation
de l'Université de Genève
pour obtenir le grade de **Docteur en Psychologie**

Par
Thalia Ellen CAVADINI

De
Onsernone (TI, Suisse)

Thèse N° 904

GENÈVE

Février, 2025

Numéro d'étudiant : 13-310-271

Membres de la commission et du jury de thèse

Commission de thèse

Professeur Nicolas FAVEZ

Université de Genève, Suisse

Professeur Dirk KERZEL

Université de Genève, Suisse

Membres du jury

Professeur Edouard GENTAZ

Université de Genève, Suisse

Professeur Yannick COURBOIS

Université de Lille, France

Professeure Christelle DECLERCQ

Université de Reims Champagne-Ardenne, France

Professeur Dirk KERZEL

Université de Genève, Suisse

Professeure Geneviève PETITPIERRE

Université de Fribourg, Suisse

REMERCIEMENTS

Réaliser cette thèse de doctorat fut une aventure exceptionnelle à la fois académique et humaine. Après près de cinq années marquées par un travail acharné, des réflexions approfondies, des échanges riches mais aussi des périodes de doute et de remises en question, j'arrive enfin au terme de cette aventure. Une dernière étape, peut-être la plus délicate, s'impose désormais : exprimer, avec toute la chaleur et la sincérité possibles, ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la concrétisation de ce projet.

Je souhaite tout d'abord remercier du fond du cœur mon directeur de thèse, le professeur Édouard Gentaz. Édouard, merci de m'avoir accueillie dans votre laboratoire dès mes premiers pas en recherche alors que je n'étais encore qu'une étudiante en master. Merci de m'avoir offert l'opportunité de concevoir ce projet de recherche et de le mener à bien sous votre direction. Votre confiance, inébranlable, m'a encouragée à relever des défis que je n'aurais jamais imaginé pouvoir affronter. Grâce à votre soutien bienveillant et constant, je termine cette thèse avec un sentiment d'accomplissement personnel et académique, grandie et plus confiante en mes compétences.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à mon codirecteur de thèse, le professeur Yannick Courbois. Yannick, merci d'avoir accepté ce rôle avec enthousiasme et de m'avoir soutenue tout au long de cette aventure. Vos précieux conseils et vos retours constructifs, en particulier lors de la rédaction des articles et de la thèse, ont été inestimables. Votre implication et votre confiance en ce projet, dès ses débuts, m'ont encouragée à persévérer.

Je remercie chaleureusement le Fonds National Suisse de la recherche scientifique (FNS) ainsi que la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation de l'Université de Genève (DIP) pour avoir généreusement financé ce projet rendant cette recherche possible.

J'aimerais également remercier les professeures Christelle Declercq et Geneviève Petitpierre ainsi que le professeur Dirk Kerzel pour avoir accepté de faire partie des membres de mon jury de thèse avec enthousiasme.

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à l'IME La Clé des Champs de la Croix-Rouge française.

Je remercie tout d'abord son ancienne directrice, Madame Lucette Betoulaud et son ancien adjoint, Monsieur Salomon Heritiana, pour avoir permis à ce projet de voir le jour. Merci de m'avoir ouvert les portes de l'institut sans réserve et d'avoir toujours cru en la pertinence et en l'importance de cette recherche.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux équipes pluridisciplinaires de l'IME pour leur accueil particulièrement chaleureux, leur intérêt constant pour cette thèse et leur soif de comprendre les résultats que nous avons pu obtenir. Je tiens à remercier tout particulièrement Camille Labret pour sa gentillesse, sa disponibilité et son aide précieuse tout au long de ce projet.

Un immense merci également aux parents des jeunes participants polyhandicapés qui ont accepté de prendre part à cette recherche et, bien sûr, à leurs enfants pour leur engagement. Un remerciement spécial à Caroline Castel sans qui ce projet n'aurait probablement jamais vu le jour.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes qui ont participé aux différentes études menées dans le cadre de cette thèse. Un merci particulier aux enfants et à leurs familles pour leur généreuse contribution indispensable à celles-ci.

Cette thèse m'a permis de tisser des liens précieux avec de nombreux collègues et amis et je tiens à leur exprimer ma reconnaissance.

Un merci tout particulier à mes amies et collègues Eleni, Lola et Paulina. Votre soutien sans faille, vos conseils avisés, et surtout nos innombrables fous rires m'ont aidée à traverser les moments difficiles. Vous avez été mon ancre dans les périodes les plus compliquées et, pour cela, je vous suis infiniment reconnaissante.

Je remercie également les brillants membres du Laboratoire de psychologie du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS), Aline, Cathy Chiara, Dannyelle, Elliot, Estelle, Fleur, Géraldine, Jen et Sylvie. Merci pour l'ensemble de nos moments d'échanges, votre soutien et pour vos inestimables conseils qui m'ont grandement aidée dans cette thèse. Un merci tout particulier à Elliot pour la relecture précieuse de certaines parties de

cette thèse. Je remercie également mes anciennes collègues du SMAS, Carolane, Laurie et Isabelle pour les discussions et les partages d'idées tout au long de mon parcours. Merci aussi à Amaya pour ses conseils déterminants concernant les stimuli visuels et l'utilisation de l'eye-tracking, bien avant même que cette thèse ne débute.

Un grand merci aux deux étudiants que j'ai eu la chance d'encadrer durant leur stage au sein du SMAS, Bastien et Nadège : merci pour votre implication et pour votre travail rigoureux qui ont grandement contribué à la réussite de ce projet. Merci également aux étudiants de master de l'Université de Genève qui ont participé au recrutement et à la collecte des données ainsi qu'aux étudiants du MALTT pour leur précieuse collaboration dans la conception des logiciels de jeux vidéo utilisés dans cette thèse. Une pensée particulière à Roméo Gola pour avoir développé l'un de ces jeux.

Enfin, je voudrais adresser mes remerciements les plus chaleureux à mes proches. Laurane, tes encouragements et nos moments partagés au cours de ces cinq dernières années ont été de véritables bouffées d'oxygène qui ont toujours su me rebooster dans la réalisation de ce travail, je t'en remercie. Enfin, Loïc, tu as été présent à chaque étape de cette thèse, dans les bons comme dans les mauvais moments. Ta patience, ton soutien, ton écoute et surtout tous nos moments passés ensemble ont été essentiels et cruciaux. Je te suis infiniment reconnaissante.

Je conclurai ces remerciements en adressant ma gratitude la plus profonde à mes parents. Malgré vos maladresses parfois, je sais à quel point vous croyez en moi et je ne pourrai jamais assez vous remercier pour le soutien moral, matériel et affectif que vous avez pu m'apporter et m'apportez encore. Je vous aime très fort. Enfin, une pensée émue pour notre Stella dont la perte a marqué une étape douloureuse au cours de ces années de doctorat. Son réconfort me manque encore profondément.

Merci, à toutes et à tous, du fond du cœur !

TABLE DES MATIÈRES

I. CADRE THÉORIQUE	3
Chapitre 1. Le polyhandicap.....	5
1.1. Définition	5
1.1.1. Prévalence du polyhandicap	6
1.1.2. Causes et étiologies du polyhandicap	7
1.1.3. Le polyhandicap dans le monde anglo-saxon.....	8
1.2. Évolution historique de la reconnaissance de la personne polyhandicapée.....	9
1.3. L'évaluation de la personne polyhandicapée	10
1.3.1. L'évaluation basée sur des observations rapportées.....	12
1.3.2. L'évaluation classique basée sur des réponses comportementales.....	15
1.3.3. L'utilisation contemporaine de l'oculométrie (eye-tracking).....	16
Chapitre 2. Les compétences socio-émotionnelles.....	21
2.1. Définition	21
2.2. Les six compétences évaluées.....	22
2.2.1. L'attention préférentielle au mouvement biologique	23
2.2.2. L'orientation sociale	25
2.2.3. L'exploration visuelle des visages.....	26
2.2.4. La discrimination des expressions émotionnelles	27
2.2.5. L'attention conjointe.....	28
2.2.6. Les évaluations socio-morales.....	29
II. CONTRIBUTIONS EXPÉRIMENTALES	33
Chapitre 3. Objectifs principaux et présentation des études	35
3.1. Objectif 1 : évaluer les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés via les préférences visuelles	35
3.2. Objectif 2 : entraîner les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés à l'aide de logiciels de <i>serious games</i> innovants	36

3.3.	Présentation de l'étude 1	37
3.3.1.	Objectifs.....	37
3.3.2.	Procédure générale	37
3.3.3.	Hypothèses.....	41
3.4.	Présentation de l'étude 2	41
3.4.1.	Objectifs.....	41
3.4.2.	Procédure générale	42
3.4.3.	Hypothèses.....	43
3.5.	Présentation de l'étude 3	44
3.5.1.	Objectifs.....	44
3.5.2.	Procédure générale	44
3.5.3.	Hypothèses.....	47
Chapitre 4. Étude 1 : Conception d'un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie pour évaluer les compétences socio-émotionnelles de jeunes poly-handicapés		49
4.1.	Abstract	51
4.2.	Introduction.....	52
4.3.	Methods.....	56
4.3.1.	Participants	56
4.3.2.	Apparatus and procedure	60
4.3.3.	Stimuli	62
4.3.4.	Data analysis.....	67
4.4.	Results.....	69
4.4.1.	Feasibility of the eye-tracking-based experimental paradigm.....	69
4.4.2.	Visual preference in the six social-emotional abilities.....	73
4.5.	Discussion	78
4.5.1.	Feasibility of the eye-tracking-based experimental paradigm.....	78
4.5.2.	Individual social-emotional abilities	81
4.5.3.	General conclusion	84

Chapitre 5. Étude 2 : Étude de six compétences socio-émotionnelles chez des enfants au développement typique de 1 à 3 ans à l'aide d'un dispositif d'oculométrie 93

5.1. Abstract	95
5.2. Introduction.....	96
5.2.1. Objectives and Hypotheses.....	100
5.3. Materials and Methods.....	101
5.3.1. Participants	102
5.3.2. Apparatus and Visual Preference Procedure	103
5.3.3. Experimental Procedure	104
5.3.4. Stimuli	105
5.3.5. Data Analysis.....	108
5.4. Results.....	110
5.4.1. Participants Characteristics.....	110
5.4.2. Paradigm Structure Control Analyses	111
5.4.3. Correlational Analyses	111
5.4.4. Visual Preferences Analyses	113
5.5. Discussion	115
5.5.1. Limitations and Implications	119
5.6. Conclusion	120

Chapitre 6. Étude 3 : Promouvoir les compétences socio-émotionnelles de jeunes poly-handicapés grâce à un entraînement centré sur la personne utilisant l'oculométrie..... 129

6.1. Abstract	131
6.2. Introduction.....	132
6.3. Methods.....	137
6.3.1. Participants	137
6.3.2. Test phases.....	141
6.3.3. Innovative person-centred training phase.....	148
6.3.4. Data analysis.....	156
6.4. Results.....	157
6.5. Discussion	168

III. DISCUSSION GÉNÉRALE 177

Chapitre 7. Discussion générale..... 179

- 7.1. Synthèse et discussion des résultats des groupes contrôle 179
 - 7.1.1. Patterns de préférences visuelles (études 1, 2 et 3) 179
 - 7.1.2. Liens entre les différentes compétences testées (étude 2) 185
- 7.2. Synthèse et discussion des résultats des participants polyhandicapés 186
 - 7.2.1. Évaluer les compétences socio-émotionnelles : faisabilité et pertinence du paradigme expérimental créé (études 1 et 3) 186
 - 7.2.2. Entraîner les compétences socio-émotionnelles : effets positifs de l'entraînement centré sur la personne implémenté (étude 3) 193
- 7.3. Limites 197
- 7.4. Perspectives..... 199
 - 7.4.1. L'eye-tracking : une technologie prometteuse et accessible pour l'évaluation et le soutien des compétences des personnes polyhandicapées 199
 - 7.4.2. L'importance de l'implémentation des recherches à grande échelle 200
- 7.5. Conclusion générale 202

Chapitre 8. Références bibliographiques..... 205

CURRICULUM VITAE ET LISTE DES PUBLICATIONS 223

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Représentation schématique du polyhandicap proposée par la Haute Autorité de la Santé (HAS, 2020) en France.	6
Figure 2. Étiologies du polyhandicap, tirée de Ponsot (2017).	8
Figure 3. Items de la sous-échelle « Capacités attentionnelles » de l'ECP.	13
Figure 4. Items de la sous-échelle « Compétences socio-émotionnelles » de l'ECP.	14
Figure 5. Illustration de la mesure PCCR : la distance relative (flèche bleue) entre le centre de la pupille (croix rouge) et la lumière réfléchiée par la cornée (croix verte) permet de calculer la direction du regard.	17
Figure 6. Représentation du paradigme des points lumineux dynamiques décrivant un mouvement de marche humaine (<i>Point-light paradigm</i>) développé par Johansson (1973).	24
Figure 7. Exemples de paires de stimuli visuels utilisés dans le cadre de procédures de préférences visuelles pour tester l'orientation sociale par Franchini et al. (2016) (en haut) et Pierce et al. (2011) (en bas).	26
Figure 8. Capture d'écran d'un exemple d'extrait vidéo de la condition « surprise intense » développé par Franchini et al. (2017).	29
Figure 9. Illustration du paradigme de la colline (<i>The hill paradigm</i> , Hamlin et al., 2007). ...	30
Figure 10. Photographie du dispositif expérimental de test des participants polyhandicapés durant une passation à l'IME La Clé des Champs de Saint-Cergues.	38
Figure 11. Illustration des différents « blocs » de contenu visuel composant le paradigme expérimental développé pour étudier les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés, tirée de Cavadini & Gentaz (2023).	40
Figure 12. Photographie du dispositif expérimental de test des enfants au développement typique durant une passation au Babylab de Genève où l'enfant se trouve sur les genoux de sa maman.	42
Figure 13. Exemples de stimuli et zones d'intérêt (AOIs) de la tâche d'attention conjointe (<i>RJA-Task</i>) utilisés dans l'étude 1 (en haut) et dans l'étude 2 (en bas).	43

Figure 14. Photographie du dispositif utilisé durant une séance d'entraînement à l'IME La Clé des Champs de Saint-Cergues.	45
Figure 15. Composition des blocs dédiés à l'exploration des visages émotionnels féminins (en haut) et masculins (en bas) du paradigme expérimental utilisés pour les études 1 et 2.	46
Figure 16. Composition des blocs dédiés à l'exploration des visages émotionnels féminins (en haut) et masculins (en bas) du paradigme expérimental utilisés pour l'étude 3. ...	47
Figure 17. PL-Task stimuli representing biological (left) and non-biological (right) motion.	63
Figure 18. SO-Task stimuli representing socially salient (left) and non-social (right) scenes.	64
Figure 19. Female (left) and male (right) emotional faces from the KDEF database (Lundqvist et al., 1998).	64
Figure 20. AOIs delineating emotions and facial features of female and male faces from the KDEF database (Lundqvist et al., 1998).	65
Figure 21. A. Example of RJA-Task stimuli representing the actress directing her attention to one ("looked-at object", right) of the two identical moving objects in front of her. B. Drawing representation of the different AOIs.	66
Figure 22. Example of SME-Task video sequences adapted from <i>The hill paradigm</i> by Hamlin et al. (2007).	67

TABLE DES RÉSUMÉS

Résumé 1. Le polyhandicap : définition, prévalence et causes	8
Résumé 2. Évolution de la reconnaissance et des approches du polyhandicap	10
Résumé 3. L'évaluation de la personne polyhandicapée	20
Résumé 4. Les compétences socio-émotionnelles	31
Résumé 5. Objectifs et présentation des études	48
Résumé de l'étude 1	49
Résumé de l'étude 2	93
Résumé de l'étude 3	129

“Ideally we are what we think, in reality we are what we do”

Ayrton Senna, 1983

PRÉAMBULE

En 2018, la Croix-Rouge française a lancé une initiative visant à promouvoir la communication alternative et améliorée (CAA) dans l'ensemble de ses établissements et services accueillant des enfants et des adultes présentant des troubles de la parole et du langage. À travers des outils (numériques ou non), la CAA propose des solutions de communication adaptées telles que des gestes, des symboles, des synthèses vocales ou des logiciels spécifiques, conçus pour les personnes ne disposant pas de la parole ou ayant des difficultés à communiquer (Beukelman & Mirenda, 2017). Le projet de la Croix-Rouge, intitulé « Communiquons autrement ! », avait pour ambition de permettre à toute personne en situation de handicap d'accéder à des moyens de communication adaptés pour faciliter l'expression de leurs choix et attentes favorisant ainsi leur autonomie et leur pleine participation citoyenne. Elle a ainsi dispensé des formations sur la CAA à l'ensemble de ses professionnels et a équipé plus de 70 établissements spécialisés pour les personnes en situation de handicap avec différents types d'outils numériques de soutien à la communication. Ces outils ont été sélectionnés pour répondre aux besoins des utilisateurs ainsi qu'aux attentes des professionnels et des aidants familiaux.

C'est dans ce contexte que l'institut médico-éducatif (IME) La Clé des Champs a choisi d'utiliser des dispositifs de suivi oculaire (oculomètres ou *eye-trackers* en anglais) ainsi que des logiciels de CAA tels que *Look to learn* et *Grid 3*, deux logiciels développés par la société *Smartbox Assistive Technology* visant à soutenir la communication de manière ludique. Les professionnels ont ainsi aménagé une salle dédiée à l'utilisation de ces outils permettant d'organiser des séances individuelles régulières avec les enfants et adolescents en situation de polyhandicap. Ces séances, intégrées aux projets personnalisés d'accompagnement, s'appuient sur des logiciels ludiques adaptés aux capacités de chacun, avec des objectifs d'apprentissage à court et long terme. Les professionnels ont observé des signes de joie pendant et après ces séances, tels que des sourires ou des vocalisations ainsi qu'une diminution des comportements d'auto-agression chez certains jeunes bénéficiaires. Ces observations semblent en partie dues au fait que, pour beaucoup de ces jeunes, ces séances de jeux vidéo représentaient la première occasion d'agir sur leur environnement et d'exercer un certain contrôle sur celui-ci.

Pour mieux comprendre ces observations et évaluer scientifiquement les effets de ces entraînements, M. Salomon Heritiana, directeur adjoint de l'IME La Clé des Champs et Mme Camille Labret, éducatrice spécialisée au sein de cette structure, ont sollicité le Laboratoire de psychologie du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS). Après des échanges riches et fructueux, les deux partenaires ont décidé de mettre en place une collaboration scientifique qui a alors abouti à l'obtention d'un financement de quatre ans du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS, subside Doc.ch) en 2020 et a permis à cette thèse de voir le jour sous la codirection du professeur Edouard Gentaz (Université de Genève) et du professeur Yannick Courbois (Université de Lille). Ce projet de recherche s'inscrit ainsi dans la volonté de développer de nouvelles méthodes d'évaluation et d'entraînement des compétences socio-émotionnelles chez les jeunes en situation de polyhandicap.

I.

CADRE THÉORIQUE

Chapitre 1. Le polyhandicap

1.1. Définition

Selon la définition française le *polyhandicap* désigne « les personnes présentant un dysfonctionnement cérébral précoce ou survenu au cours du développement, ayant pour conséquence de graves perturbations à expressions multiples et évolutives de l'efficacité motrice, perceptive, cognitive et de la construction des relations avec l'environnement physique et humain, et une situation évolutive d'extrême vulnérabilité physique, psychique et sociale » (Décret n° 2017-982 du 9 mai 2017). Le concept de polyhandicap fait ainsi référence à une situation de handicap complexe et sévère, caractérisée par la présence simultanée de déficiences motrices et intellectuelles profondes, entraînant une restriction extrême de l'autonomie (voir Figure 1, pour une représentation schématisée du polyhandicap).

D'un point de vue clinique, le polyhandicap se distingue par l'association de plusieurs déficiences graves, souvent d'origine neurologique, qui affectent à la fois les capacités physiques, sensorielles, cognitives et, dans certains cas, la communication. Cette conjonction de déficiences génère des besoins très spécifiques d'accompagnement et de soins, tant sur le plan médical que psychosocial (Ponsot, 2017). Le polyhandicap est donc un état de grande dépendance nécessitant une prise en charge pluridisciplinaire et un environnement de soins continuellement adapté. Les personnes polyhandicapées font face à des limitations extrêmes dans leur capacité à interagir avec leur environnement ce qui impacte directement leur qualité de vie, leur développement affectif ainsi que leur insertion sociale. Cependant, la nature très variable du polyhandicap implique que chaque situation est unique, nécessitant une évaluation individualisée pour comprendre les besoins spécifiques de chaque personne (Magerotte & Willaye, 2007 ; Scelles et al., 2013).

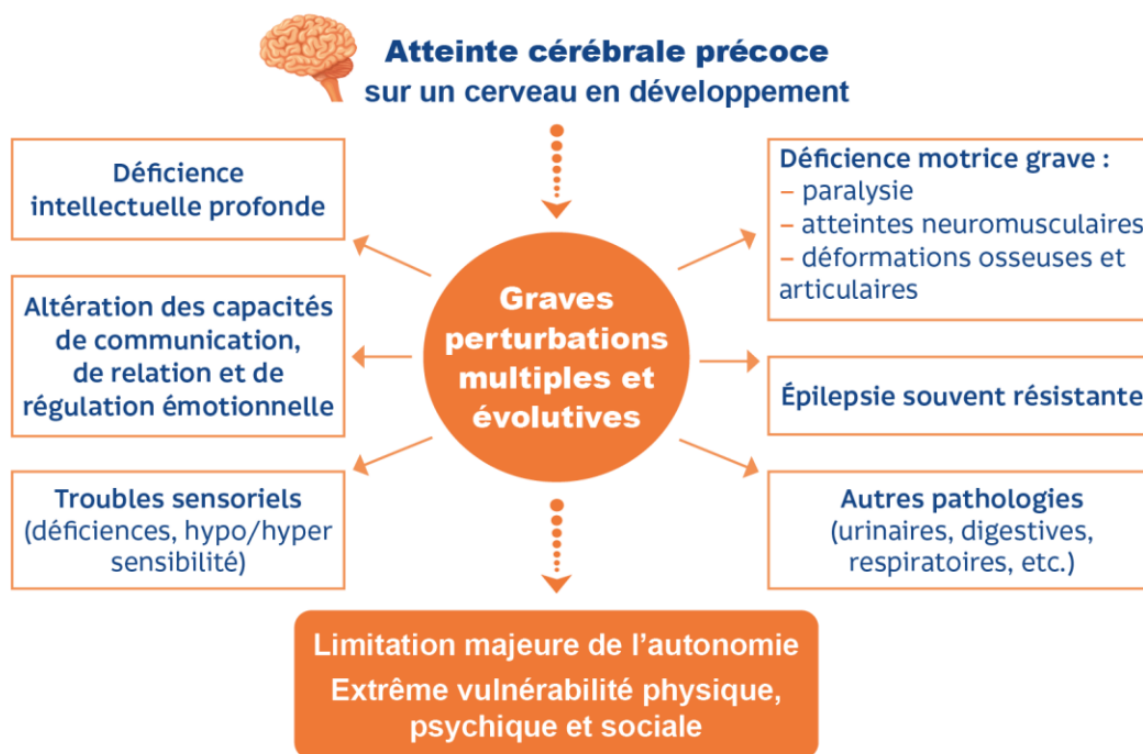


Figure 1. Représentation schématique du polyhandicap proposée par la Haute Autorité de la Santé (HAS, 2020) en France.

1.1.1. Prévalence du polyhandicap

La prévalence du polyhandicap est difficile à établir avec précision en raison de la diversité des critères diagnostiques et des définitions qui peuvent varier d'un pays à l'autre. Le polyhandicap, caractérisé par l'association de déficiences motrices, intellectuelles et souvent sensorielles, est une condition relativement rare. Les études disponibles estiment que le polyhandicap affecte environ 0.1 à 0.3 % de la population générale des enfants et des adolescents dans les pays développés. Cependant, ces chiffres peuvent varier en fonction des critères utilisés pour définir et diagnostiquer le polyhandicap. En France, par exemple, plusieurs études de prévalence du polyhandicap ont été réalisées ces 20 dernières années et donnent des chiffres compris entre 0.50 et 0.73/1000 (Protocole Nationale de Diagnostic et de Soins [PNDS], 2020). Les progrès en médecine périnatale, notamment dans la prise en charge des naissances prématurées et des affections néonatales graves, ont permis à davantage d'enfants atteints de polyhandicap de survivre, ce qui pourrait expliquer une légère augmentation de la prévalence au cours des dernières décennies. Cependant, cette augmentation pose également de nouveaux défis en termes de prise en charge et d'évaluation des compétences de cette population qui reste, encore aujourd'hui, mal comprise et souvent sous-évaluée.

1.1.2. Causes et étiologies du polyhandicap

Le polyhandicap résulte de l'interaction complexe entre plusieurs déficiences motrices, intellectuelles, sensorielles et parfois organiques. Ses causes sont variées et peuvent être classées en trois grandes catégories (UNAPEI, 2016) : le polyhandicap de type fixe, évolutif et acquis (cf. Figure 2).

Le polyhandicap de type fixe correspond à une atteinte sévère et définitive du système nerveux central, souvent d'origine prénatale, périnatale ou néonatale. Il est fréquemment causé par des anomalies génétiques, des malformations cérébrales, des infections congénitales (comme la rubéole ou le cytomégalovirus) ou des complications liées à la prématurité. Dans ces cas, les déficiences sont stables dans le temps, bien que leur impact puisse varier en fonction de l'évolution de l'enfant et des interventions thérapeutiques mises en place.

Le polyhandicap évolutif désigne une condition où les déficiences s'aggravent au fil du temps, souvent en raison de maladies neurodégénératives ou métaboliques, telles que les leucodystrophies ou certaines formes d'épilepsies sévères. Ces pathologies entraînent une dégradation progressive des fonctions motrices et cognitives nécessitant une adaptation constante des soins et des interventions.

Enfin, le polyhandicap acquis survient après une période de développement normal à la suite d'un événement traumatique ou médical grave, comme un traumatisme crânien, un accident vasculaire cérébral (AVC) ou une infection sévère du système nerveux central (e.g. méningite, encéphalite). Dans ces cas, les déficiences apparaissent de manière secondaire, souvent à la suite de lésions cérébrales graves, entraînant une perte d'acquis moteurs et cognitifs.

Ces différentes étiologies montrent que le polyhandicap est une condition multidimensionnelle qui peut prendre des formes variées selon la nature et la gravité des atteintes initiales. La prise en charge et l'évaluation de ces personnes nécessite une compréhension fine de l'origine de leur condition pour adapter les interventions de manière personnalisée et évolutive.

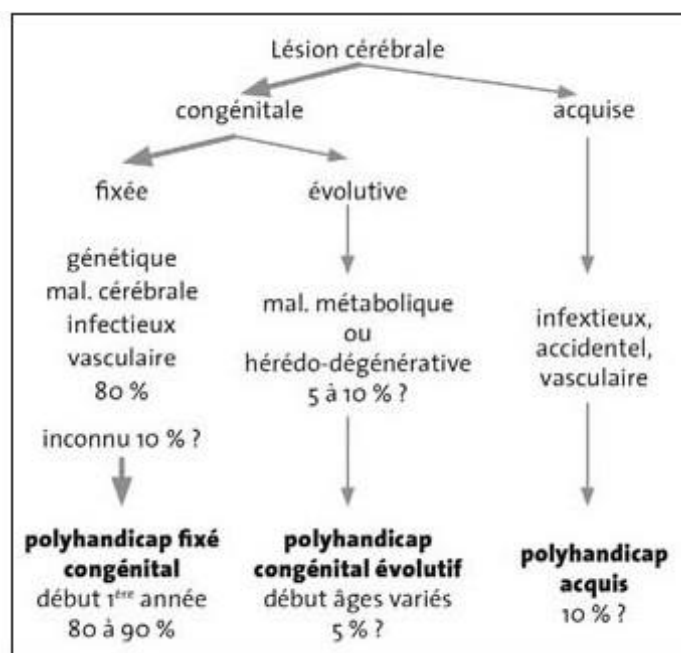


Figure 2. Étiologies du polyhandicap, tirée de Ponsot (2017).

1.1.3. Le polyhandicap dans le monde anglo-saxon

Les auteurs anglo-saxons différencient une population semblable au polyhandicap de la paralysie cérébrale (« cerebral palsy ») qu'ils identifiaient d'abord sous le terme d'abord de « *Profound Multiple Disabilities* » (PMD) puis sous celui de « *Profound Intellectual and Multiple Disabilities* » (PIMD) qui correspond à des déficiences cognitives profondes associées à des déficiences motrices ou sensorielles sévères (Nakken & Vlaskamp, 2007 ; Ponsot, 2017). Cette distinction a été sous-tendue par les mêmes raisons qu'en France : le besoin de caractériser une population ayant des besoins spécifiques qui ne trouvait pas sa place dans les structures existantes destinées aux personnes présentant un handicap moteur (Ponsot, 2017).

Résumé 1. Le polyhandicap : définition, prévalence et causes

Le polyhandicap désigne une condition de handicap complexe combinant déficiences motrices, cognitives et sensorielles sévères, entraînant une dépendance extrême et nécessitant une prise en charge pluridisciplinaire. Sa prévalence, estimée entre 0.1 % et 0.3 % chez les enfants dans les pays développés, a légèrement augmenté grâce aux progrès médicaux périnataux. Les causes du polyhandicap incluent des atteintes fixes (malformations cérébrales, complications liées à la prématurité), évolutives (maladies neurodégénératives) ou acquises (traumatismes crâniens, infections sévères). Dans les pays anglo-saxons, cette condition est reconnue sous le terme de « *Profound Intellectual and Multiple Disabilities* » (PIMD), répondant à un besoin commun de caractérisation et de soutien adaptés à cette population.

1.2. Évolution historique de la reconnaissance de la personne polyhandicapée

Si aujourd'hui le polyhandicap est reconnu comme une condition complexe, nécessitant une compréhension approfondie des interactions entre déficiences multiples et contextes de vie, et appelant les professionnels à adopter une approche holistique centrée à la fois sur les limitations et les potentialités des individus, cette conceptualisation intégrative est relativement récente.

Historiquement, la reconnaissance des personnes polyhandicapées a été marquée par des décennies de marginalisation et d'incompréhension. Au début du XXe siècle, ces individus étaient souvent relégués dans des établissements spécialisés sans prise en compte de leurs spécificités. Le polyhandicap, bien qu'existant sous différentes formes, était principalement appréhendé à travers le prisme de l'invalidité lourde sans distinction des diverses composantes sensorielles, motrices et cognitives qui le caractérisent. Cette vision réduite a contribué à exclure ces personnes des systèmes éducatifs et sociaux où les institutions se focalisaient essentiellement sur les soins médicaux et l'assistance de base.

Ce n'est qu'à partir des années 1960-1970, sous l'influence de mouvements en faveur des droits des personnes handicapées, que l'approche du polyhandicap a évolué. Les avancées dans les sciences médicales et sociales ont permis de reconnaître la complexité de cette condition, en la définissant comme une combinaison de déficiences graves associées à des limitations sensori-motrices et cognitives. Ce changement de paradigme a permis de comprendre que, malgré des limitations sévères, les personnes polyhandicapées possèdent des compétences, souvent sous-évaluées, et qu'une approche pluridisciplinaire était essentielle pour les accompagner.

Durant les années 1990, la conceptualisation du polyhandicap a continué à évoluer en intégrant une vision plus inclusive et participative des droits des personnes concernées. Les politiques publiques ont commencé à encourager des approches individualisées centrées sur les capacités des individus et non uniquement sur leurs déficits. Les initiatives pour l'inclusion scolaire et sociale ont également pris de l'ampleur, renforçant l'idée que les personnes polyhandicapées pouvaient, non seulement, apprendre et communiquer mais aussi contribuer à la société dans la mesure de leurs capacités.

Malgré ces avancées, l'évaluation psychologique des jeunes polyhandicapés reste un défi considérable. Les méthodes classiques d'évaluation sont souvent peu adaptées à cette

population en raison de la diversité et de la gravité de leurs déficiences ainsi que de la difficulté à communiquer verbalement ou à répondre aux stimuli standards utilisés dans les tests psychologiques conventionnels. De plus, l'hétérogénéité des profils des personnes polyhandicapées complique encore davantage l'identification de critères d'évaluation universels.

Résumé 2. Évolution de la reconnaissance et des approches du polyhandicap

La reconnaissance du polyhandicap comme condition complexe et multidimensionnelle est récente. Historiquement marginalisées, ces personnes étaient perçues sous l'angle de l'invalidité lourde avec peu d'attention à leurs potentialités. Depuis les années 1960-1970, les avancées scientifiques et les droits des personnes handicapées ont permis une approche pluridisciplinaire et inclusive. Malgré ces progrès, l'évaluation psychologique reste un défi en raison de la diversité et de la gravité des déficiences ainsi que de l'inadaptation des outils standards.

1.3. L'évaluation de la personne polyhandicapée

L'évaluation psychologique des personnes polyhandicapées est un défi majeur en raison de la complexité de leurs déficiences et de leur mode de communication souvent limité ou non-verbal. Cette évaluation est néanmoins cruciale pour élaborer une prise en charge adaptée et personnalisée en identifiant à la fois les besoins spécifiques, les compétences résiduelles et les potentialités d'apprentissage. L'objectif principal de l'évaluation est de fournir une base pour des interventions éducatives et thérapeutiques adaptées tout en assurant une qualité de vie optimale pour la personne polyhandicapée (Willaye & Magerotte 2013).

D'un point de vue pratique, l'évaluation des personnes polyhandicapées repose sur des méthodes pluridisciplinaires mobilisant des compétences en neuropsychologie, en orthophonie, en ergothérapie et en éducation spécialisée. Cette évaluation doit être dynamique et continue car les besoins et les capacités des personnes polyhandicapées changent au fil du temps et en fonction des environnements dans lesquels elles se développent. Une bonne évaluation permet d'articuler les interventions éducatives, médicales et sociales dans une approche intégrative (Voyazopoulos, et al., 2011). Cependant, cet objectif se heurte à de nombreuses difficultés.

Malgré l'importance cruciale de l'évaluation, plusieurs obstacles viennent compliquer ce processus. D'une part, la communication avec les personnes polyhandicapées est souvent entravée par des limitations sensorielles et motrices ainsi que par une absence de langage verbal. Cela impose aux évaluateurs de recourir à des moyens d'observation indirecte (e.g. analyse des comportements, réponses à des stimuli sensoriels, questionnaires hétéro-rapportés) ou à des outils spécifiques, souvent peu standardisés et adaptés à la variabilité des profils polyhandicapés (Camberlein & Ponsot, 2021). Le manque de référentiels standardisés pour évaluer cette population est d'ailleurs un enjeu majeur dans le domaine de la psychologie du handicap.

D'autre part, l'évaluation doit prendre en compte le fonctionnement global de la personne polyhandicapée, en tenant compte des facteurs environnementaux et relationnels, ce qui complique davantage la tâche. La sévérité des déficits et l'interdépendance des troubles (cognitifs, moteurs, sensoriels) rendent difficile l'isolation de certaines compétences ou besoins spécifiques. Par exemple, les compétences cognitives peuvent être masquées par des troubles moteurs ou par des problèmes sensoriels, créant des risques de sous-estimation des capacités de la personne (Toubert-Duffort et al., 2018).

Enfin, les personnes polyhandicapées présentent souvent des troubles associés, tels que l'épilepsie, des douleurs chroniques ou encore des difficultés respiratoires qui compliquent l'observation et faussent parfois les résultats des tests d'évaluation (Vlaskamp & Cuppen-Fontaine, 2007). L'impact émotionnel et affectif du polyhandicap sur la personne et son entourage (parents, soignants) est également à prendre en compte car il influence directement les interactions et, par conséquent, l'évaluation des compétences et des besoins (Scelles & Petitpierre, 2013).

En définitive, l'évaluation psychologique des personnes polyhandicapées revêt une importance capitale pour l'élaboration de plans de prise en charge adaptés, individualisés et évolutifs. Toutefois, cette évaluation est marquée par des défis considérables liés à la complexité des déficiences et à l'absence d'outils standardisés spécifiques à cette population. Une approche pluridisciplinaire, sensible aux interactions entre déficiences et environnement, est essentielle pour assurer une évaluation précise et une prise en charge optimale.

Malgré la grande complexité que représente l'évaluation de la population polyhandicapée, il existe aujourd'hui un certain nombre d'outils disponibles que l'on peut distinguer en deux catégories, à savoir l'évaluation basée sur des observations rapportées et l'évaluation basée sur des réponses comportementales.

1.3.1. L'évaluation basée sur des observations rapportées

Les outils d'évaluation basés sur des observations rapportées, principalement sous forme de questionnaires, jouent un rôle central dans la collecte de données relatives à la qualité de vie, aux compétences cognitives ainsi qu'aux besoins spécifiques des personnes polyhandicapées. Ces outils sont généralement administrés auprès des aidants familiaux, des éducateurs ou des professionnels de santé qui rapportent leurs observations directes ou indirectes du comportement et des compétences de l'individu à travers une grille de réponse.

Parmi les instruments francophones fréquemment utilisés se trouve notamment l'échelle Évaluation – Cognition – Polyhandicap (ECP, Scelles et al., 2018). Il s'agit d'un outil d'observations croisées entre parents et professionnels qui ne conduit pas à évaluer les performances par rapport à une norme mais à établir des profils de compétences permettant, par la mise en regard des observations directes (mise en situation) des différents évaluateurs et de leurs connaissances et souvenirs individuels (observations indirectes), une meilleure appréhension des compétences cognitives de la personne polyhandicapée. L'ECP comprend huit sous-échelles évaluant les capacités sensorielles, attentionnelles, mémorielles, communicatives, spatio-temporelles, de raisonnement, d'apprentissage et les compétences socio-émotionnelles à travers un total de 62 items. La cotation de chaque item est la suivante : « 0 » (comportement impossible pour la personne en situation de polyhandicap en raison de ses déficiences motrices et/ou sensorielles ou pour lequel l'évaluateur ne peut se prononcer avec certitude), « 1 » (comportement jamais observé et/ou pas acquis en raison des déficiences cognitives), « 2 » (comportement rarement observé et/ou en cours d'acquisition), « 3 » (comportement souvent observé et/ou en cours d'acquisition), « 4 » (comportement systématiquement observé et/ou totalement acquis). Rappelons que l'ECP est la version révisée du Profil de Compétences Cognitives du Jeune Polyhandicapé (P2CJP) développé par Pereira Da Costa et Scelles (2012) en vue d'évaluer les compétences cognitives indépendamment du support verbal absent ou défaillant chez la population polyhandicapée et fournir un cadre normalisé pour le suivi longitudinal de la personne. L'ECP comme le P2CJP ont tous deux été développés par un groupe d'universitaires et de psychologues cliniciens dans le but de créer un outil pouvant être utilisé dans le cadre d'un bilan psychologique concernant un individu polyhandicapé. En plus de la grille d'évaluation cognitive permettant de mesurer les progrès ou les dégradations dans les huit sous-échelles susmentionnées à l'aide d'indices quantitatifs standardisés, les deux outils comportent également une grille de réactivité pour identifier les modes de communication que la personne évaluée peut utiliser.

Il est à signaler que l'ECP a été utilisé dans cette thèse pour établir le profil de compétences de chaque participant au lancement du projet de recherche puis pour suivre chacun d'eux tout au long de celui-ci. Au total les données de l'ECP ont été recueillies à trois reprises à une année d'intervalle (au lancement du projet, au début de la phase d'entraînement et au terme de celle-ci). Si ce questionnaire a été utilisé dans son entièreté pour établir les profils individuels de compétences à chaque temps de mesure, seules deux sous-échelles de cet instrument ont été utilisées dans le cadre d'analyses statistiques : celle évaluant les capacités attentionnelles des participants (voir Figure 3, pour des exemples d'items) et celle évaluant leurs compétences socio-émotionnelles (voir Figure 4, pour des exemples d'items).

		Imo.	NSPP	1. Jam./NA	2. Rare/FA	3. Souv./FA	4. Syst./A	Commentaires
2.2 - CAPACITES ATTENTIONNELLES								
7	Orienté volontairement son attention vers une personne			1	2	3	4	
8	Orienté volontairement son attention vers un animal			1	2	3	4	
9	Orienté volontairement son attention vers un objet qui l'intéresse (<i>photos, objets appréciés,...</i>)			1	2	3	4	
10	Maintient son attention de manière soutenue (<i>durant le repas, quand elle regarde la télévision, quand elle écoute de la musique,...</i>)			1	2	3	4	
11	Fait deux choses à la fois (<i>peut écouter de la musique et jouer,...</i>)			1	2	3	4	
12	Maintient son attention, même si une source de distraction intervient (<i>continue à écouter une histoire quand une personne bouge à côté d'elle,...</i>)			1	2	3	4	
13	Les compétences acquises le sont sur le long terme, hors épisodes de maladie			1	2	3	4	

Figure 3. Items de la sous-échelle « Capacités attentionnelles » de l'ECP.

		Imo	NSPP	1. Jam/NA	2. Rare/FA	3. Souv./EA	4. Syst./A	Commentaires
2.8. – COMPETENCES SOCIO-EMOTIONNELLES								
Sous-échelle de base								
53	Parvient à maîtriser ses émotions et son excitation (<i>suce son pouce pour se calmer,...</i>)			1	2	3	4	
54	Participe à un jeu dans lequel chacun intervient l'un après l'autre. Attend son tour et intervient ensuite (<i>jeux vocaux, gestuels,...</i>)			1	2	3	4	
55	Est capable de s'adapter aux émotions qu'elle perçoit chez les autres (<i>rit à une plaisanterie, se montre triste quand quelqu'un pleure,...</i>)			1	2	3	4	
56	Est capable de s'adapter à un changement de ton dans la voix (<i>fait la tête quand quelque chose lui est reproché,...</i>)			1	2	3	4	
57	Est capable de s'adapter à un changement d'expression faciale chez autrui (<i>cesse de rire quand son interlocuteur signifie, par son expression, que ce n'est pas drôle,...</i>)			1	2	3	4	
58	Quand c'est nécessaire, est capable d'adapter ses comportements selon qu'elle interagit avec un parent, un professionnel, des amis (<i>en matière de toucher, de regard, de modalité d'expression,...</i>)			1	2	3	4	
59	Est capable d'adapter ses comportements selon le contexte dans lequel elle se trouve (<i>famille, rue, lieu de vie, lieu d'éducation, de loisirs,...</i>)			1	2	3	4	
60	Est capable d'adapter ses comportements en fonction des objectifs visés (<i>obtenir ou refuser quelque chose, fuir quelqu'un ou quelque chose,...</i>)			1	2	3	4	
61	Exprime ses émotions de manière compréhensible pour ses proches			1	2	3	4	
62	Prête attention à une activité en même temps qu'une autre personne (attention conjointe) (<i>écouter une histoire, regarder ensemble un livre,...</i>)			1	2	3	4	

Figure 4. Items de la sous-échelle « Compétences socio-émotionnelles » de l'ECP.

Ainsi, l'ECP représente un outil particulièrement adapté à l'évaluation des personnes polyhandicapées car il permet d'évaluer leurs compétences cognitives dans huit domaines différents en prenant en compte les observations croisées des proches et des professionnels, tout en offrant une compréhension approfondie de leurs besoins spécifiques.

Son principal atout réside dans le fait qu'il ait été validé sur un large échantillon de 175 personnes polyhandicapées, ce qui lui confère une robustesse méthodologique rare dans ce domaine (Poujol et al., 2021).

En effet, l'un des principaux obstacles à l'utilisation de questionnaires d'observations rapportées pour cette population est que la majorité des outils existants (par exemple, les échelles de comportements adaptatifs de Vineland, l'échelle de développement psychomoteur de Brunet et Lézine, l'*Infant Psychological Development Scale* de Uzgiris et Hunt ou encore les échelles de Wechsler) n'ont pas été conçus ni validés pour une population aussi atypique que celle des personnes polyhandicapées. En conséquence, leur fiabilité et leurs propriétés psychométriques auprès de cette population sont limitées (Carnaby, 2007 ; Vlaskamp, 2005). Les outils spécifiquement adaptés à cette population validés scientifiquement et diffusés à grande échelle restent, malheureusement, très rares, contraignant souvent les professionnels à

développer et expérimenter leurs propres grilles d'évaluation en fonction de leurs besoins (Scelles, 2021).

Une autre limite inhérente aux outils d'observations rapportées tient à leur dimension subjective. Bien que ces questionnaires cherchent à proposer des items aussi objectifs que possible, leur remplissage repose inévitablement sur l'interprétation individuelle de l'évaluateur, qu'il s'agisse d'un professionnel ou d'un proche. Cette subjectivité découle de l'analyse des comportements observés et de leur interprétation influencées par les connaissances et les perspectives de chaque évaluateur. De plus, plusieurs études ont pu mettre en évidence que les classements des préférences établies sur la base des opinions des répondants recueillies via des questionnaires hétéro-rapportés ne coïncident pas systématiquement avec les résultats des procédures d'évaluation formelles consistant en une observation directe des comportements d'approche et d'évitement (Green et al., 1988 ; Green et al., 1991 ; Ivancic & Bailey, 1996).

En somme, l'utilisation de questionnaires d'observations rapportées constitue une méthode d'évaluation particulièrement pertinente pour recueillir un large éventail d'informations sur les compétences des personnes polyhandicapées. Ces outils présentent plusieurs avantages : ils permettent d'investiguer de nombreuses dimensions des capacités cognitives et socio-émotionnelles de manière rapide et sans nécessiter un contexte évaluatif particulier. De plus, le fait qu'ils puissent être complétés par différents évaluateurs (par exemple, parents, professionnels de santé ou éducateurs) offre une vision précieuse et multidimensionnelle des compétences de la personne dans des contextes variés.

Toutefois, bien que cette méthode soit un complément essentiel pour surmonter certaines difficultés inhérentes à l'évaluation des personnes polyhandicapées, elle ne peut se substituer à des approches d'observation directe qui permettent une analyse plus objective et approfondie. Ainsi, pour améliorer la validité du processus évaluatif, il est crucial de combiner les questionnaires d'observations rapportées avec d'autres méthodes complémentaires, comme celles basées sur des réponses comportementales, abordées plus en détail dans la sous-section suivante.

1.3.2. L'évaluation classique basée sur des réponses comportementales

Les méthodes d'observation comportementale directe offrent des approches complémentaires dans le cadre du processus d'évaluation de personnes polyhandicapées,

permettant de contourner les limitations de communication verbale et d'interaction motrice. Parmi ces méthodes, les protocoles basés sur des réponses de type approche-évitement sont largement utilisés depuis les années 80. Ces outils consistent à présenter divers stimuli (visuels, auditifs ou tactiles) aux individus et à observer leurs réactions comportementales : une réponse d'approche (par exemple, fixer, toucher ou sourire face au stimulus) traduit un intérêt ou une préférence, tandis qu'une réponse d'évitement (par exemple, détourner le regard, exprimer un inconfort, pleurer ou crier) révèle un rejet ou une indifférence (Green et al., 1991 ; Ivancic & Bailey, 1996 ; pour une revue, voir Cannella et al., 2005). Ces observations permettent de déterminer les centres d'intérêt, les choix et même les émotions des jeunes offrant des données précieuses pour adapter les environnements éducatifs et thérapeutiques en fonction de leurs préférences.

Avec le développement de la technologie, de plus en plus de travaux proposent à présent d'intégrer des mesures physiologiques pour enrichir l'évaluation des états émotionnels. L'analyse de la fréquence cardiaque, de la conductance cutanée ou encore de la respiration offre des indicateurs physiologiques des réactions de stress ou d'apaisement face à différents stimuli (Lima et al., 2012 ; Munde et al., 2012 ; Vos et al., 2010). Ces données permettent de mieux comprendre les réponses émotionnelles des jeunes polyhandicapés en particulier dans les situations où les signes comportementaux sont subtils ou difficiles à interpréter.

La principale limite de ces évaluations basées sur l'observation directe de réactions comportementales réside dans l'interprétation des comportements manifestés par la personne évaluée. En effet, l'absence de langage implique que l'évaluateur doit avoir une connaissance extrêmement fine des modes de communication utilisés par celle-ci. En outre, les protocoles basés sur des réponses de type approche-évitement requièrent l'utilisation de stimuli de différentes natures, spécifiques à chaque individu et sont, par conséquent, difficilement généralisables (Vlaskamp, 2005). De plus, ce type de protocole se focalise sur des objectifs fonctionnels (par exemple, améliorer l'expression des choix, favoriser la qualité de vie) et négligent le développement des processus cognitifs sous-jacents nécessaires pour effectuer les comportements que l'on tente d'observer (Chard et al., 2014).

1.3.3. L'utilisation contemporaine de l'oculométrie (eye-tracking)

L'oculométrie (ou eye-tracking) représente un autre instrument d'évaluation directe non-invasive de plus en plus employé pour saisir les intérêts et préférences des personnes polyhandicapées. L'oculomètre (ou eye-tracker) est un appareil se présentant sous forme de

barre située sous l'écran d'ordinateur qui permet de mesurer la direction du regard grâce au reflet de la lumière infrarouge qu'il projette sur la cornée. Les caméras de l'eye-tracker doté de cette technique dite du reflet cornéen (ou *Pupil Center Corneal Reflection (PCCR) measure* en anglais) détectent le centre de la pupille ainsi que l'endroit où la lumière infrarouge est réfléchi par la cornée (cf. Figure 5). La distance relative entre ces deux points permet alors à l'appareil de calculer la direction du regard de l'utilisateur (Holmqvist et al., 2011).

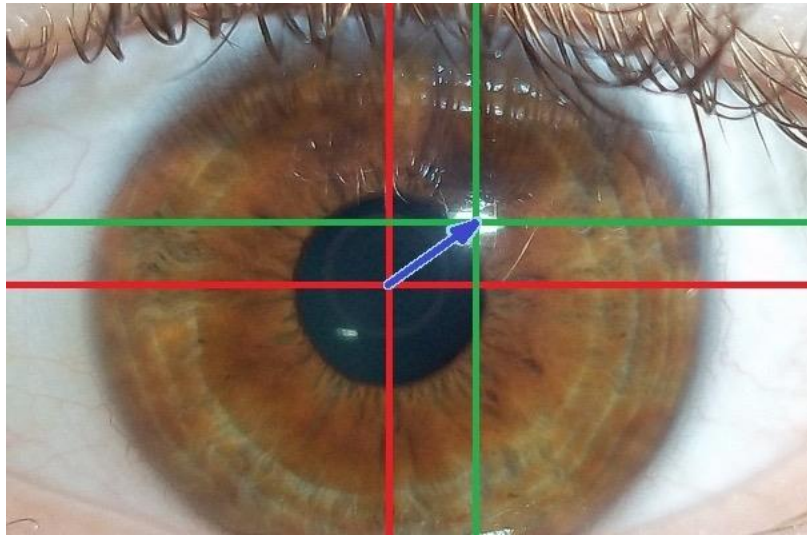


Figure 5. Illustration de la mesure PCCR : la distance relative (flèche bleue) entre le centre de la pupille (croix rouge) et la lumière réfléchi par la cornée (croix verte) permet de calculer la direction du regard.

Cet outil permet d'examiner où, quand et combien de temps une personne regarde une scène. L'utilisation de l'oculométrie comme mesure expérimentale offre ainsi une grande précision spatiale et temporelle : en définissant des zones d'intérêt spécifiques (*Areas Of Interest* – AOIs) sur les stimuli présentés à l'écran, ce dispositif permet d'examiner, avec précision, l'exploration visuelle individuelle (par exemple, pour les visages : définir les contours des visages, des yeux, de la bouche, du nez, etc.). Il est ainsi possible d'enregistrer précisément le temps et le nombre de fixations dans chacune de ces zones ainsi que d'obtenir des informations sur les saccades oculaires effectuées en explorant les scènes visuelles présentées à l'écran.

En suivant les mouvements oculaires et les fixations visuelles, on peut identifier les éléments d'un environnement qui captent particulièrement l'attention de l'utilisateur. Ce type d'évaluation est utile pour les individus qui ont des limitations physiques car il permet de repérer les centres d'intérêt et les réponses de curiosité sans nécessiter de mouvement physique.

C'est pourquoi, cette technologie est aussi utilisée depuis plusieurs années pour évaluer les capacités cognitives et perceptives des bébés typiques dès l'âge de 5 mois ainsi que des très jeunes enfants (e.g. Baudouin et al., 2016 ; Palama et al., 2018 ; pour une revue, voir Tardif et al., 2016). On compte également un nombre important de travaux ayant recouru à ce dispositif dans le domaine de l'autisme, notamment pour l'identification précoce des facteurs de risque (Franchini et al., 2016 ; Pierce et al., 2011 ; pour des revues, voir Chita-Tegmark, 2016 ; Cilia et al., 2018).

Cependant, malgré son potentiel, l'utilisation de l'oculométrie pour évaluer les personnes polyhandicapées demeure extrêmement rare. Cela est d'autant plus surprenant que, parmi les réponses comportementales souvent très limitées de cette population, l'activité oculomotrice reste généralement préservée, sauf en cas de déficience visuelle cérébrale associée (Woodhouse et al., 2000). En raison de son caractère non-invasif et de sa capacité à fournir des mesures fiables même lorsque d'autres systèmes de réponse sont fortement altérés, l'oculométrie apparaît comme un outil particulièrement adapté et pertinent pour cette population (Saunders et al., 2005 ; Spevack et al. 2006).

À ce jour, seule l'étude de Chard et al. (2014) a exploré l'utilisation de l'oculométrie dans le cadre d'une méthode d'évaluation auprès de personnes polyhandicapées. Ces chercheurs ont mis en place une procédure d'habituation visuelle au cours de laquelle 15 adultes polyhandicapés ont été exposés, de manière répétée, à deux objets différents. Cette approche visait à tester l'existence du phénomène d'habituation et de réaction à la nouveauté chez cette population, en suivant les principes d'une procédure contrôlée par le participant. En effectuant des analyses qualitatives et quantitatives des comportements observés (par exemple, les processus d'obtention et de maintien de l'attention), les auteurs ont pu montrer que les adultes polyhandicapés présentaient les mêmes profils d'habituation que ceux généralement obtenus dans les recherches menées dans le champ de la petite enfance.

Il apparaît ainsi que l'eye-tracking constitue une potentielle nouvelle forme d'évaluation pouvant permettre aux professionnels de recueillir des informations objectives et quantifiables en observant directement les réactions de la personne polyhandicapée évaluée afin de mieux comprendre et respecter ses choix, ses besoins émotionnels et ses préférences individuelles, éléments essentiels pour développer des stratégies de soin personnalisées et enrichir leur qualité de vie. Cette technologie pourrait s'avérer d'autant plus pertinente lorsqu'elle est combinée avec d'autres mesures d'observation telles que des questionnaires hétéro-rapportés.

Au-delà de la démarche évaluative, l'eye-tracking est également une technologie dont la pertinence en tant que dispositif d'assistance est non-négligeable pour les personnes en situation de handicap, notamment celles dont les mouvements corporels sont limités. En permettant le suivi précis des mouvements oculaires, cette technologie offre une interface de communication alternative pour les individus incapables d'utiliser des moyens conventionnels. En effet, des études ont démontré l'efficacité de l'eye-tracking dans le développement de systèmes de communication assistée. Par exemple, Wilkinson et Mitchell (2014) ont exploré comment l'eye-tracking peut répondre aux besoins des personnes avec des troubles de la communication, en facilitant l'accès à des systèmes de communication alternative et améliorée (CAA). De plus, des recherches ont montré que les technologies utilisant le suivi oculaire peuvent être adaptées pour les enfants et adolescents atteints de paralysie cérébrale améliorant ainsi leur capacité à interagir avec leur environnement (Amantis et al., 2011).

Dans ce contexte, l'oculométrie s'est également révélée être une technologie prometteuse pour développer des programmes d'entraînement destinés aux jeunes polyhandicapés, notamment à travers l'utilisation de logiciels de jeux vidéo éducatifs, ludiques et interactifs (*serious games*). Ces jeux permettent aux utilisateurs de contrôler l'ordinateur par le biais de leurs mouvements oculaires, l'eye-tracker se substituant ainsi à la souris et au clavier traditionnels. Des initiatives telles que le projet *GazePlay* (Schwab et al., 2020) ont été développées pour créer une plateforme *open source* de jeux vidéo de type *serious games* accessibles via l'eye-tracking spécifiquement conçue pour les personnes polyhandicapées. Ces jeux visent, non seulement, à stimuler les capacités cognitives et socio-émotionnelles des utilisateurs en proposant des activités interactives adaptées à leurs besoins spécifiques mais aussi à encourager l'engagement et la motivation grâce à des environnements stimulants. L'intégration de l'eye-tracking dans des *serious games* offre ainsi une interface intuitive et adaptée pour les jeunes polyhandicapés, leur permettant de participer à des activités éducatives interactives. Cette approche favorise le développement de leurs compétences socio-émotionnelles tout en contournant les limitations motrices rendant l'apprentissage à la fois accessible et engageant.

En résumé, la technologie d'eye-tracking représente une avancée significative tant dans le domaine de l'évaluation qu'en tant que dispositifs d'assistance pour les personnes en situation de handicap où elle offre des solutions innovantes pour soutenir la communication et l'interaction avec l'environnement particulièrement pour celles dont les capacités motrices sont restreintes.

Résumé 3. L'évaluation de la personne polyhandicapée

L'évaluation psychologique des personnes polyhandicapées, essentielle pour personnaliser leur prise en charge, se heurte à des défis majeurs en raison de la complexité de leurs déficiences et de leurs limites de communication. Les approches fondées sur des observations rapportées, comme l'échelle Évaluation-Cognition-Polyhandicap (ECP), permettent une évaluation indirecte en croisant les informations recueillies auprès de différents observateurs (e.g. professionnels de santé, éducateurs, proches) mais souffrent de limites psychométriques et subjectives. Les méthodes d'observation comportementale directe, centrées sur les réponses approche-évitement ou les mesures physiologiques, apportent des données complémentaires mais restent limitées par leur faible généralisation. L'oculométrie (eye-tracking) émerge comme une alternative prometteuse pour cette population, offrant des données précises et objectives sur les préférences et les centres d'intérêt en suivant les mouvements oculaires. En plus de son potentiel évaluatif, cette technologie permet de développer des outils d'assistance et des *serious games* adaptés stimulant les compétences cognitives et socio-émotionnelles tout en contournant les limitations motrices. L'eye-tracking s'inscrit ainsi comme une technologie novatrice pour améliorer le processus d'évaluation et favoriser la qualité de vie ainsi que l'inclusion sociale des personnes polyhandicapées.

Chapitre 2. Les compétences socio-émotionnelles

Compte tenu de la forte volonté de la direction et des membres des équipes pluridisciplinaires de l'IME La Clé des champs de développer la CAA des résidents de l'institut, le projet de recherche né de cette collaboration se concentre sur l'étude de compétences jouant un rôle majeur dans le développement de la communication. Ce dernier étant sous-tendu par différentes compétences socio-émotionnelles précoces qui, lorsqu'elles sont altérées, impactent son développement.

2.1. Définition

Les compétences sociales et émotionnelles constituent un ensemble de capacités permettant à un individu de reconnaître, comprendre, exprimer et réguler ses émotions ainsi que d'interagir de manière appropriée avec les autres. Elles sont fondamentales pour le développement personnel et l'intégration sociale, influençant à la fois les comportements interpersonnels et l'adaptation dans des contextes variés, qu'ils soient familiaux, scolaires ou professionnels (Denham, 2006).

Les compétences émotionnelles englobent un ensemble de processus psychologiques qui permettent à l'individu de percevoir, de comprendre, de gérer et d'exprimer ses propres émotions ainsi que celles des autres (Mayer & Salovey, 1997). Selon la littérature, elles incluent plusieurs dimensions interreliées : (1) la conscience émotionnelle, ou la capacité à identifier et différencier les émotions, tant les siennes que celles d'autrui. Cette compétence est essentielle pour une bonne régulation émotionnelle et un ajustement social adéquat (Saarni, 1999) ; (2) la compréhension des émotions, qui se réfère à la capacité de reconnaître les causes et les conséquences des émotions et à percevoir les relations complexes entre les émotions et les événements contextuels ; (3) la régulation émotionnelle, qui consiste à moduler l'intensité et la durée des expériences émotionnelles de façon à favoriser le bien-être psychologique et social (Gross, 2013) ; (4) l'expression des émotions, soit la capacité à communiquer de manière appropriée ses émotions aux autres en tenant compte du contexte social et culturel.

Les compétences sociales, quant à elles, se définissent comme l'ensemble des aptitudes permettant d'interagir de manière constructive avec les autres, de former des relations interpersonnelles positives et de s'adapter aux normes sociales. Elles incluent : (1) la capacité à comprendre et à interpréter les signaux sociaux, qui est essentielle pour ajuster ses

comportements aux attentes des autres et aux contextes interpersonnels. Cela inclut la compréhension des indices verbaux et non-verbaux (gestes, expressions faciales, ton de la voix), ainsi que l'empathie qui permet de comprendre et de ressentir ce que vit autrui (Decety & Jackson, 2004) ; (2) les compétences relationnelles, qui renvoient à la capacité d'initier et de maintenir des relations positives, d'établir des liens de confiance et de résoudre les conflits de manière adaptée ; (3) la collaboration et la coopération, qui sont cruciales dans les contextes sociaux et impliquent la capacité de travailler en équipe, de négocier et d'accepter les perspectives et les besoins des autres.

Les compétences sociales et émotionnelles sont étroitement liées et interagissent en permanence. Par exemple, la régulation des émotions influence la qualité des interactions sociales et les compétences sociales permettent de mieux naviguer dans des situations émotionnellement complexes. Cette interdépendance fait que ces compétences sont souvent regroupées dans le concept de compétences socio-émotionnelles. Ce terme met en lumière l'importance de l'articulation entre l'affectif et le social dans le développement des individus particulièrement dans des environnements qui exigent une forte adaptation interpersonnelle (Elias et al., 1997).

Dans le cadre du polyhandicap, ces compétences sont souvent considérées comme difficiles à évaluer en raison des déficiences motrices, sensorielles ou cognitives qui peuvent limiter l'expression verbale ou non-verbale. Cependant, la reconnaissance et le développement des compétences socio-émotionnelles chez les jeunes polyhandicapés sont essentiels pour améliorer leur qualité de vie, renforcer leur autonomie et favoriser leur inclusion sociale. De plus, la mise en place de nouvelles méthodes d'évaluation adaptées à leurs besoins particuliers permet non seulement de mieux comprendre leurs capacités mais aussi d'orienter des interventions éducatives et thérapeutiques plus ciblées (Sigafos et al., 2008).

2.2. Les six compétences évaluées

Il est crucial d'être capable de différencier les stimuli socialement saillants des stimuli neutres dans l'environnement et, une fois avoir identifié les individus humains, de pouvoir détecter une série d'indices sociaux tels que les visages (et, plus précisément, repérer les yeux et vers quelle direction ils sont dirigés) ou encore l'expression faciale qu'ils manifestent. L'identification de ces signaux sociaux est primordiale puisqu'ils véhiculent de nombreuses

informations essentielles pour déterminer l'état attentionnel, affectif et même intentionnel d'autrui. C'est pourquoi, nous avons décidé d'examiner six habiletés précoces ayant une importance majeure dans le développement social et communicatif, à savoir (1) l'attention préférentielle au mouvement biologique, (2) l'orientation sociale, (3) l'exploration visuelle des visages humains et (4) la discrimination des expressions faciales de joie et de colère (puis de joie et de tristesse et de colère et de tristesse), (5) l'attention conjointe et (6) les évaluations socio-morales. Ensemble, elles soutiennent la communication non-verbale et permettent une stimulation sociale appropriée, essentielle au développement de l'intention de communication.

2.2.1. L'attention préférentielle au mouvement biologique

La première compétence évaluée est l'attention préférentielle au mouvement biologique, c'est-à-dire les mouvements produits par des organismes vivants vertébrés qui se caractérisent par des régularités dynamiques reflétant la structure et les schémas de contrôle du système musculosquelettique (Bardi et al., 2011). Pour l'étudier, Johansson (1973) a développé le « paradigme des points lumineux » (*Point-light paradigm*) en plaçant stratégiquement des marqueurs lumineux sur les principales articulations d'un individu (e.g. tête, épaules, coudes, poignets, hanches, genoux, chevilles) marchant sur un tapis roulant dans l'obscurité. Il est ainsi parvenu à modéliser le mouvement de ce marcheur en une séquence de points lumineux se mouvant selon une locomotion humaine de marche (cf. Figure 6) qu'il pouvait ensuite présenter à côté d'un second nuage de points bougeant de manière aléatoire afin de tester la préférence pour le mouvement biologique (vs. non-biologique).

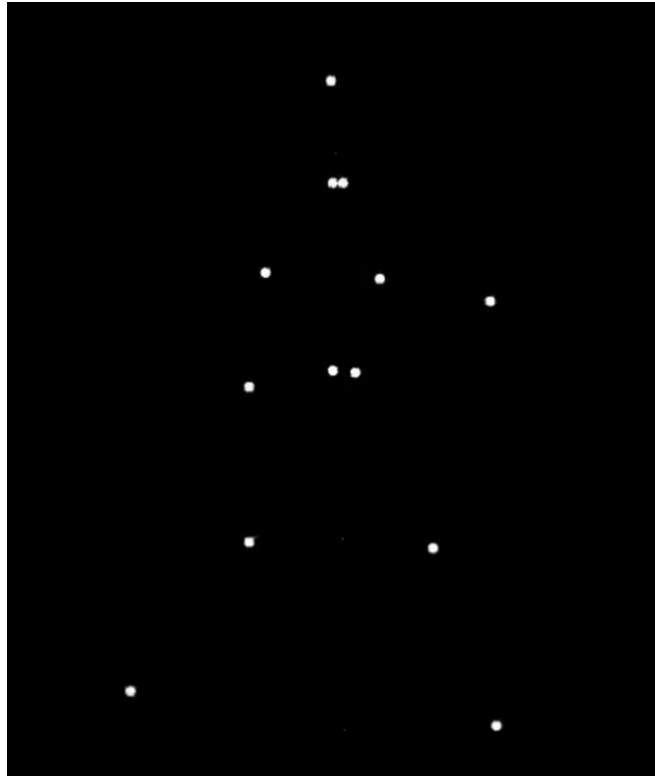


Figure 6. Représentation du paradigme des points lumineux dynamiques décrivant un mouvement de marche humaine (*Point-light paradigm*) développé par Johansson (1973).

Particulièrement sensible aux mouvements d'autrui, le système visuel humain parvient à traiter et discriminer le mouvement biologique de manière extrêmement rapide (100 millisecondes) (Johansson, 1973). En utilisant des paradigmes similaires, de très nombreux travaux ont confirmé et démontré la présence d'une préférence spontanée pour l'observation du mouvement biologique par rapport aux mouvements non-biologiques, non seulement, chez l'humain mais aussi chez un large éventail d'espèces animales (Salva et al, 2015). Par ailleurs, cette sensibilité apparaît très tôt dans le développement : dès les premiers jours de vie, le nouveau-né humain s'oriente préférentiellement vers ce type de mouvements, comme l'ont démontré Simion et al. (2008) avec leur étude princeps dont les résultats ont été retrouvés dans d'autres travaux proposant une grande variété de stimuli (Bardi et al., 2011 ; Bidet-Ildei et al., 2014).

Ensemble, ces données suggèrent l'existence d'un mécanisme perceptif précoce dédié au traitement et à la détection du mouvement biologique, essentiel à la survie et qui facilite également l'interaction adaptative avec les autres êtres vivants. En effet, outre l'évidente valeur de survie immédiate que représente la détection des congénères dont les bébés dépendent, la discrimination des mouvements biologiques joue un rôle essentiel dans de nombreux aspects

du développement social et communicatif. En dirigeant leur attention vers les mouvements d'autrui, les bébés créent des opportunités d'apprentissage des nombreux signaux sociaux véhiculés par le mouvement biologique. Ces signaux comprennent notamment les expressions faciales et la direction du regard mais également les intentions qui sous-tendent les actions d'autrui et la capacité d'attribuer des intentions aux autres.

2.2.2. L'orientation sociale

Dans le prolongement de la compétence précédente, l'orientation sociale désigne l'orientation de l'attention lorsqu'elle est portée vers une personne ou vers un événement avec un contenu socialement pertinent (Mundy & Newell, 2007). Tout comme l'attention préférentielle au mouvement biologique, l'orientation sociale apparaît très tôt dans le développement : dès la naissance, les nouveau-nés montrent une sensibilité particulière aux stimuli sociaux. Ils sont notamment particulièrement attirés par les personnes qui les entourent mais aussi par les sons, les mouvements et les caractéristiques du visage humain (Farroniet al., 2006). Cette préférence initiale pour les visages augmente entre 2 et 9 mois et corrèle avec les capacités d'orientation de l'attention et de recherche visuelle des bébés (Frank et al. 2014), ce qui suggère que les compétences d'attention visuelle constitueraient un facteur important pour favoriser l'orientation sociale au début du développement.

De plus, cette prédisposition à s'orienter préférentiellement vers l'environnement social a une importance cruciale dans le développement socio-communicatif (Franchini et al., 2016). En effet, en s'orientant vers des congénères, les bébés invitent à une interaction ultérieure créant ainsi de riches possibilités d'apprentissage par le biais d'un engagement social réciproque. Ceci est appuyé par plusieurs études ayant testé l'orientation sociale d'enfants avec un trouble du spectre autistique (TSA) ou avec un retard de développement, en leur présentant simultanément une scène composée d'images sociales dynamiques (par exemple, un enfant en mouvement) à côté d'une scène non-sociale constituée d'images dynamiques telles que des déplacements de formes géométriques (voir Figure 7, pour deux exemples de paires de stimuli). Les résultats montrent une altération de l'orientation sociale chez les enfants avec un TSA, un trouble du développement caractérisé par des déficiences sociales et communicatives (Franchini et al., 2016 ; Pierce et al., 2011 ; pour une revue, voir Chita-Tegmark, 2016).

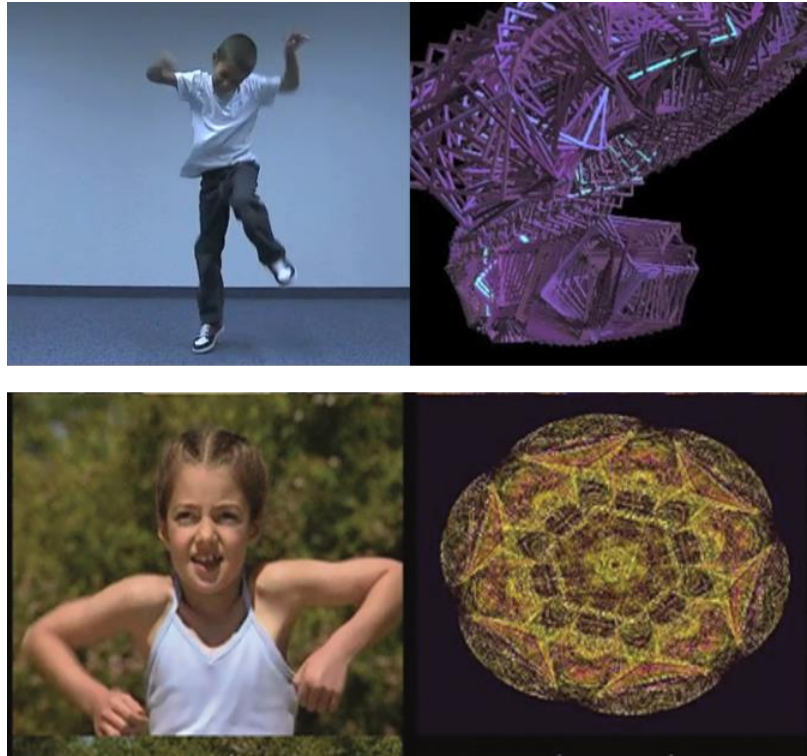


Figure 7. Exemples de paires de stimuli visuels utilisés dans le cadre de procédures de préférences visuelles pour tester l'orientation sociale par Franchini et al. (2016) (en haut) et Pierce et al. (2011) (en bas).

2.2.3. L'exploration visuelle des visages

Au vu des éléments déjà abordés, il nous semblait indispensable de porter un intérêt particulier au type de stimulus social le plus saillant pour l'humain : les visages. Dès la naissance, le nouveau-né s'oriente préférentiellement vers les visages plutôt que vers tout autre objet : dès 9 minutes après la naissance, le nouveau-né est déjà sensible à la configuration schématique de visages (configuration « humanoïde ») (Goren et al., 1975). Quelques heures plus tard, il est capable de discriminer des visages très familiers, tels que celui de sa mère de visages inconnus, et ce même s'ils se ressemblent (Pascalis et al., 1995). À partir de 12 heures, il peut reconnaître des visages qui ne lui sont pas familiers (auxquels il n'a été exposé que brièvement) (Turati et al., 2006). De plus, le regard joue un rôle très important dans l'intérêt précoce du nouveau-né pour les visages : celui-ci regarde davantage les visages ayant les yeux ouverts plutôt que fermés et préfère également regarder un visage dont les yeux sont dirigés vers lui (de face) plutôt que détournés (Farroni et al., 2006).

Les progrès technologiques en oculométrie permettent d'étudier plus précisément l'exploration visuelle des éléments faciaux internes (e.g. yeux, nez, bouche) et externes (e.g.

coiffure, mâchoire, oreilles) et de démontrer, qu'adultes comme enfants, regardent la zone des yeux plus que tout autres traits composant un visage (Hunnius et al., 2011), préférence également retrouvée chez les bébés dès l'âge de 3 mois (Dollion et al., 2015). Cette exploration particulière des visages joue un rôle fondamental dans le développement de la communication sociale : en plus de l'identité des individus, les visages nous apportent des informations relativement stables sur nos partenaires sociaux, nous permettant de catégoriser une personne, même inconnue, selon différentes dimensions utiles dans les interactions sociales (comme le sexe, l'âge ou l'origine ethnique) mais également de pouvoir inférer l'état affectif et attentionnel d'autrui ainsi que leurs intentions grâce à l'analyse des caractéristiques faciales (Cavadini et al., 2022 ; pour une revue, voir Pascalis et al., 2020).

2.2.4. La discrimination des expressions émotionnelles

Nous nous sommes, ensuite, intéressés à la discrimination des expressions émotionnelles. Le croisement des regards des professionnels et des familles a mis en lumière un besoin d'étudier si les enfants polyhandicapés percevaient une différence entre un visage adulte exprimant la colère et le même exprimant la joie.

De très nombreux travaux ont étudié le développement typique de la discrimination des expressions faciales émotionnelles durant les premières années de vie. L'analyse critique de l'ensemble des travaux de Bayet et al. (2014) montre l'existence d'une sensibilité aux changements d'expression faciale ainsi qu'une attirance pour les visages joyeux dès les premiers jours de vie. Cette dernière n'est toutefois pas systématiquement rapportée à cet âge-là car les capacités de discrimination des nouveau-nés sont limitées par leur faible acuité et expérience visuelles et modulées par plusieurs facteurs environnementaux (e.g. familiarité, contrastes, intensité du stimulus) (Tanaka & Gordon, 2011). Cette préférence pour les visages souriants observée, dans des conditions spécifiques, dès la naissance, persiste et s'affine durant les premiers mois. Entre 3 et 6 mois, le bébé va progressivement être capable de différencier la joie d'autres expressions émotionnelles : à 3 mois, il discrimine l'expression de joie de la colère (froncement des sourcils) ; il parvient, ensuite, à différencier la joie de la tristesse entre 3 et 5 mois et de la peur à 4 mois ; à partir de 5 mois, il est capable de distinguer la joie et les expressions neutres ainsi que la joie et la surprise. C'est seulement à partir de 6-7 mois que le bébé est capable de distinguer, entre elles, les expressions autres que le sourire (Bayet et al., 2014).

2.2.5. L'attention conjointe

Nous nous sommes intéressés à la capacité à suivre le regard d'autrui en étudiant l'attention conjointe, définie comme le partage d'intérêt commun de plusieurs personnes pour un même objet (Aubineau et al., 2015). Il s'agit d'un des premiers mécanismes qui permet à l'enfant de pouvoir échanger et apprendre (Mundy & Newell, 2007). Essentielle au développement de la communication non-verbale, cette compétence émerge très tôt : une relation dyadique entre le parent et bébé se met en place dès la naissance par des échanges mutuels du regard qui vont augmenter en quantité (nombre d'occurrences) et en qualité (intégration d'autres modalités de communication, tels que des sourires, gestes ou vocalises) durant les premiers mois. Puis, entre 4 et 9 mois, le bébé commence à initier des comportements d'attention conjointe spontanés visant à orienter l'attention d'autrui vers une cible précise (Mundy et al., 2007). Par la suite, les enfants diversifient l'utilisation de leur propre coordination visuelle afin de manifester des comportements de réponse à l'attention conjointe qui visent au partage attentionnel comme, par exemple, le fait de suivre le regard du parent afin de partager une même source d'intérêt.

Deux composantes de l'attention conjointe sont ainsi distinguées : l'*initiation* et la *réponse* à l'attention conjointe, dimension sur laquelle nous nous sommes concentrés dans le cadre de cette thèse. Franchini et al. (2017) ont proposé une tâche expérimentale pour étudier le développement typique et atypique (chez des enfants avec un TSA) des comportements de réponse à l'attention conjointe, composée de séquences vidéo dans lesquelles une actrice dirigeait soudainement son attention vers l'un des deux objets identiques disposés devant elle en le regardant avec une expression intensément surprise (cf. Figure 8). Les résultats montrent, qu'en comparaison avec les enfants au développement typique, les comportements d'attention conjointe sont altérés chez les enfants présentant un TSA, soulignant ainsi l'importance majeure de cette compétence dans le développement socio-communicatif (Franchini et al., 2017 ; pour une revue, voir Cilia et al., 2018). En effet, à travers des échanges triadiques favorisant l'engagement dans les interactions sociales, l'attention conjointe est le précurseur du pointage, de l'intentionnalité et du langage.

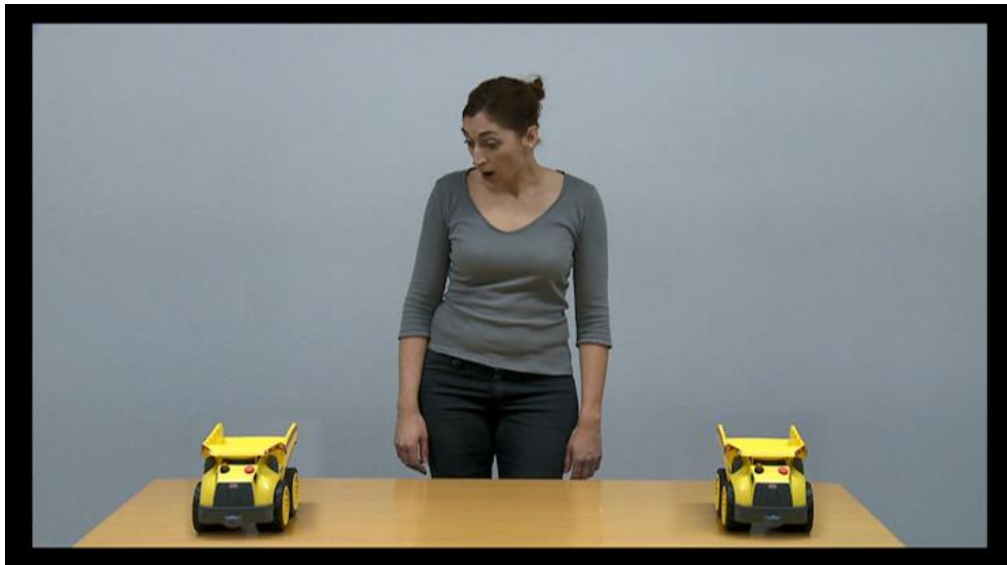


Figure 8. Capture d'écran d'un exemple d'extrait vidéo de la condition « surprise intense » développé par Franchini et al. (2017).

2.2.6. Les évaluations socio-morales

La dernière compétence, socio-morale, examine la capacité d'évaluer d'autres personnes selon leurs actions prosociales ou antisociales envers autrui (Hamlin et al., 2007). Bien que le jugement moral (étudié traditionnellement avec des tâches verbales) connaisse un développement en stades qui s'étend de l'enfance à l'adolescence (Kohlberg, 1963), ses fondements pourraient se mettre en place très précocement. Ainsi, les bébés sont capables d'évaluer intuitivement certaines interactions sociales, bien avant l'apparition de la conscience de soi, du langage et de la théorie de l'esprit (Kuhlmeier et al., 2014). En créant le paradigme de l'ascension de la colline (*The hill paradigm*), Hamlin et al. (2007) montrent, pour la première fois, que les bébés sont davantage attirés (comportements d'approche, de préhension) par les actions prosociales dès l'âge de 6 mois. Ce paradigme est composé d'une scène initiale où une marionnette ronde rouge en bois sur laquelle sont disposés deux yeux mobiles en plastique tente à deux reprises d'escalader une colline en étant déplacée à l'aide d'une tige à travers une fente par un expérimentateur (cf. Figure 9a). Lors de sa troisième tentative de grimpe, une deuxième marionnette (soit un triangle jaune, soit un carré bleu) arrive pour aider (comportement prosocial, Figure 9b) ou empêcher (comportement antisocial, Figure 9c) le grimpeur d'atteindre le sommet de la colline.

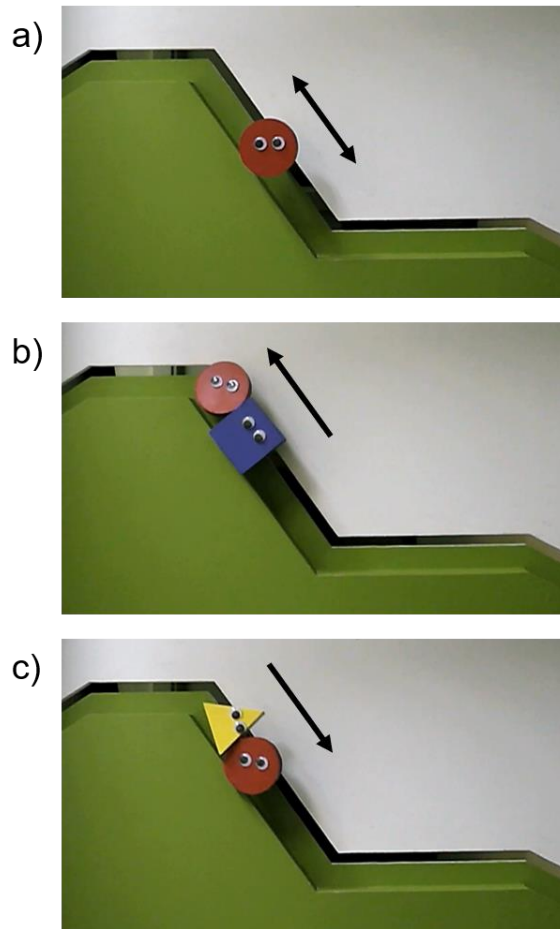


Figure 9. Illustration du paradigme de la colline (*The hill paradigm* ; Hamlin et al., 2007). Situation initiale de grimpe (a), condition prosociale (b), condition antisociale (c).

En ajoutant une procédure de préférence visuelle à ce paradigme (i.e. en présentant simultanément les marionnettes triangulaire et carrée au bébé après qu'il ait observé les deux scènes successives), les auteurs observent que les nourrissons regardent davantage les agents prosociaux dès l'âge de 3 mois (Hamlin et al., 2010). Cette préférence précoce est également retrouvée avec une tâche différente : Hamlin et Wynn (2011) observent qu'à 3 mois les bébés préfèrent une marionnette qui donne sa balle à un autre personnage à celle qui prend la balle de quelqu'un.

La manifestation précoce de ces évaluations socio-morales met en évidence que les bébés sont capables d'interpréter la valence sociale de ces scénarii et d'exprimer une préférence envers les caractères prosociaux en s'orientant vers eux ou en les saisissant quand ils en ont l'opportunité. Néanmoins, les nombreuses études similaires menées ces dernières années révèlent des résultats variables. En effet, la revue de littérature de Holvoet et al. (2016) montre qu'en ce qui concerne le paradigme de l'ascension de la colline, sur 14 expériences menées

avec des jeunes enfants de 3 à 24 mois issues de cinq articles scientifiques, huit retrouvent cette préférence pour les actions prosociales, une met en évidence le résultat inverse (i.e. préférence pour les comportements antisociaux) et enfin dans cinq expériences aucune préférence n'est observée. Ces résultats suggèrent que ce type de paradigme expérimental est très sensible aux conditions expérimentales et en particulier aux caractéristiques visuelles des stimuli utilisés.

Résumé 4. Les compétences socio-émotionnelles

Les compétences socio-émotionnelles regroupent des aptitudes essentielles pour comprendre, exprimer et réguler les émotions, tout en permettant des interactions sociales adaptées. Elles incluent différentes dimensions, telles que la conscience et la régulation émotionnelles, l'expression des émotions, l'orientation sociale et les capacités relationnelles. Ces compétences interagissent, dès les premières étapes du développement, influençant la communication et l'adaptation sociale. Dans le cadre de cette thèse, six compétences précoces ont été explorées chez des jeunes polyhandicapés : l'attention préférentielle au mouvement biologique, l'orientation sociale, l'exploration visuelle des visages, la discrimination des expressions faciales émotionnelles, l'attention conjointe et les évaluations socio-morales. Ces aptitudes jouent un rôle fondamental dans le développement de la communication non-verbale et des interactions sociales. Nous proposons, ici, de recourir à des paradigmes et stimuli visuels issus d'études antérieures dont la pertinence a déjà été démontrée pour étudier ces habiletés dès le plus jeune âge en mettant en lumière les mécanismes perceptifs et processus cognitifs sous-jacents. Ces travaux, menés dans le domaine de la petite enfance, révèlent que les compétences socio-émotionnelles sont déterminantes pour l'épanouissement des interactions sociales. Par conséquent, parvenir à procéder à leur évaluation chez les populations présentant des déficiences complexes ouvrirait des perspectives particulièrement pertinentes pour mettre en place des interventions éducatives et thérapeutiques adaptées.

II.

CONTRIBUTIONS EXPÉRIMENTALES

Chapitre 3. Objectifs principaux et présentation des études

Le but de cette thèse est d’approfondir les connaissances sur le développement social et émotionnel des personnes polyhandicapées. Plus particulièrement, son premier objectif général est de contribuer à améliorer le processus d’évaluation de cette population en proposant une méthode innovante utilisant l’oculométrie comme instrument de mesure. Le second est de développer des programmes d’entraînement socio-émotionnels centrés sur la personne à l’aide de *serious games* utilisant le suivi oculaire pour soutenir les compétences individuelles.

3.1. Objectif 1 : évaluer les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés via les préférences visuelles

Face aux nombreuses limites que présentent les différentes méthodes d’évaluation destinées aux personnes polyhandicapées, il semble qu’il y ait un véritable besoin de développer de nouveaux protocoles pour permettre une meilleure compréhension du développement psychologique de cette population (Scelles & Petitpierre, 2013). Pour tenter de répondre à ce besoin, nous avons choisi d’adopter une approche innovante : partant du constat que les compétences des nourrissons des très jeunes enfants au développement typique font l’objet d’études scientifiques depuis de très nombreuses années et que l’évaluation de celles de la population polyhandicapée se heurte à de nombreuses difficultés méthodologiques, nous avons décidé de recourir aux paradigmes expérimentaux, stimuli et outils de mesure utilisés pour étudier les nourrissons typiques dans le but d’investiguer les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés. Plus précisant, un paradigme expérimental a été développé combinant un ensemble de tâches de préférences visuelles testant les six compétences socio-émotionnelles d’intérêt adaptées d’études antérieures menées dans le champ de la psychologie développementale.

La notion de préférence visuelle fait référence à une méthode expérimentale proposée initialement par Fantz (1963) pour étudier les capacités perceptives des bébés. Elle consiste à présenter simultanément à une personne deux scènes visuelles qui diffèrent par une propriété, l’une située à droite d’un écran de présentation et l’autre à gauche de celui-ci, et à comparer le temps de regard sur chacune de ces scènes. Les deux scènes sont présentées de manière répétées en contrebalançant latéralement leur position sur l’écran à travers les différents essais. Si, au cours de ceux-ci, la personne passe, en moyenne, plus de temps à regarder l’une des scènes, il

est alors possible d'affirmer qu'elle a bien perçu une différence entre les deux stimuli présentés. En revanche, dans le cas où les deux scènes sont regardées autant l'une que l'autre (ou avec très peu de différence), il est impossible de conclure quant à une préférence éventuelle et donc de savoir si les personnes perçoivent ou non une différence entre les deux stimuli visuels.

3.2. Objectif 2 : entraîner les compétences socio-émotionnelles de jeunes poly-handicapés à l'aide de logiciels de *serious games* innovants

La majorité des travaux menés dans le but d'améliorer le processus d'évaluation des personnes polyhandicapées se concentre sur des objectifs de nature fonctionnelle visant notamment à favoriser l'expression des choix, le développement social et émotionnel ou encore la qualité de vie de ces individus (Nieuwenhuijse et al., 2019) ou cherche à évaluer leurs compétences cognitives à l'aide de questionnaires explorant différentes dimensions (par exemple, les compétences attentionnelles, mémorielles, spatio-temporelles, communicatives ou encore de raisonnement) mais n'investigue pas les processus sous-jacents nécessaires pour effectuer les comportements attendus (Chard et al., 2014). En effet, manifester un comportement d'approche ou d'évitement vis-à-vis d'un stimulus requière de distinguer les objets de leur arrière-plan, de détecter leurs caractéristiques de base (couleur, forme, mouvement), leur emplacement ou leurs relations spatiales et d'être capable de les identifier et de les reconnaître ce qui implique un large éventail de fonctions cognitives (par exemple, l'attention, la discrimination visuelle, la catégorisation) (Gibson, 1969 ; Kellman, 2002). Il apparaît ainsi que, grâce à une exposition quotidienne à des événements perceptifs répétés associés à une expérience subjective, les personnes polyhandicapées peuvent avoir développé des compétences cognitives insoupçonnées qui ne peuvent pas être évaluées avec les méthodes et instruments d'évaluation existants. C'est donc dans le but de mieux comprendre le processus d'apprentissage perceptif chez cette population que nous avons construit notre second objectif. Il vise à entraîner les compétences des participants polyhandicapés par la mise en application d'entraînement centrés sur la personne consistant à l'utilisation de *serious games* développés en s'appuyant sur les travaux de Schwab et al. (2020) pour soutenir les compétences étudiées via le suivi oculaire. En effet, à travers le projet *GazePlay*, ces auteurs ont démontré que l'oculométrie peut s'intégrer à des approches numériques interactives qui stimulent les apprentissages dans un cadre ludique et engageant. L'intégration de cette technologie pourrait donc transformer les pratiques actuelles en apportant des solutions innovantes et accessibles.

3.3. Présentation de l'étude 1

3.3.1. Objectifs

Cette première étude a trois principaux objectifs. Tout d'abord, elle vise à investiguer la faisabilité et la pertinence d'un paradigme expérimental développé pour évaluer les compétences socio-émotionnelles d'enfants et d'adolescents polyhandicapés via leurs préférences visuelles pour différents stimuli tirés d'études préexistantes dans le domaine de la petite enfance. En s'appuyant sur les patterns de préférences visuelles individuels ainsi recueillis, le second objectif de cette étude est de pouvoir établir des profils de compétences propres à chaque participant polyhandicapé et de pouvoir comparer ceux-ci avec les résultats d'un groupe contrôle composé d'enfants au développement typique dont l'âge moyen équivaut à l'âge développemental estimé de la population polyhandicapée (i.e. égale ou inférieur à 2 ans, Nakken & Vlaskamp, 2007 ; Ware, 1994). Enfin, le troisième objectif de l'étude 1 est d'investiguer les liens potentiels entre les données oculométriques des participants polyhandicapés (exploration et préférences visuelles) et leurs scores obtenus aux sous-échelles de l'ECP évaluant les capacités attentionnelles et les compétences socio-émotionnelles.

3.3.2. Procédure générale

L'étude 1 explore la faisabilité d'un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie pour évaluer différentes compétences socio-émotionnelles chez neuf jeunes polyhandicapés âgés de 6 à 17 ans pris en charge à l'IME La Clé des Champs de la Croix-Rouge française situé à Saint-Cergues (Haute-Savoie, France) où se sont déroulées toutes les passations avec ces derniers. Elles ont eu lieu dans une salle calme dédiée à l'utilisation de l'eye-tracking (voir Figure 10, pour une photographie dispositif expérimental à l'IME).



Figure 10. Photographie du dispositif expérimental de test des participants polyhandicapés durant une passation à l'IME La Clé des Champs de Saint-Cergues.

L'âge développemental de la population dite polyhandicapée étant estimé comme égal ou inférieur à 2 ans (Nakken & Vlaskamp, 2007 ; Ware, 1994), un groupe contrôle composé de 32 enfants au développement typique âgés de 12 à 36 mois ($M = 22.53$, $ET = 7.46$) a également été recruté et testé au sein du Babylab du laboratoire de psychologie du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS) de l'Université de Genève à l'aide du même paradigme expérimental dans le but d'obtenir un point de référence en vue de procéder à des comparaisons cas-contrôle.

Le paradigme expérimental développé pour cette première étude regroupait différentes tâches de préférences visuelles préexistantes dans le domaine de la psychologie développementale (cf. Figure 11). Il était composé de six « blocs » de contenu expérimental (chacun dédié à l'évaluation de l'une des six compétences socio-émotionnelles étudiées) dont l'ordre de présentation était aléatoire. Entre chaque bloc, une croix de fixation dynamique associée à un son stimulant était présentée au centre de l'écran jusqu'à ce que le participant la

regarde pendant au moins 300 millisecondes (ms) pour déclencher le bloc suivant afin d'éviter qu'un biais latéral ne compromette la fiabilité des données enregistrées.

Les blocs étaient composés de différents essais (allant de deux pour l'attention préférentielle au mouvement biologique à huit pour l'orientation sociale) au cours desquels deux types de stimuli visuels étaient présentés simultanément à l'écran pendant une durée prédéfinie. Ces stimuli ont notamment été choisis pour la grande variabilité de leurs caractéristiques visuelles (contraste élevé/faible, noir et blanc/couleur, dynamique/statique ou avec beaucoup/peu de détails) mais aussi la surface d'écran qu'ils occupaient (couvrant tout l'écran ou seulement une partie), le niveau d'abstraction de leur contenu (formes abstraites contre situations concrètes, objets ou individus) et leurs modalités de présentation (peu d'essais avec des temps de présentation longs vs. beaucoup d'essais avec des temps de présentation courts). La croix de fixation placée entre les blocs était également présentée entre chacun des essais mais, cette fois, pour une durée fixe (1500 ms) qui ne dépendait plus du regard des participants.

La durée totale d'une séance expérimentale (comprenant un dessin animé d'ouverture, une procédure de calibration, la phase expérimentale et un bref message de remerciement final) était d'environ 7 minutes. Elle pouvait être plus longue si la calibration devait être répétée et/ou si le participant ne regardait pas directement le centre de l'écran entre les blocs (retardant ainsi leur activation).

Afin d'augmenter la fiabilité des données mesurées, il avait été décidé à priori que les participants polyhandicapés seraient testés plusieurs fois afin de constituer un temps de mesure, ainsi chacun d'eux a effectué soit cinq, soit huit séances expérimentales pour ceux qui étaient les plus disponibles et/ou qui étaient plus souvent dans un état de santé et de vigilance propice à la réalisation d'une séance. En revanche, les enfants au développement typique ayant également participé à l'étude n'effectuaient qu'une seule séance expérimentale.

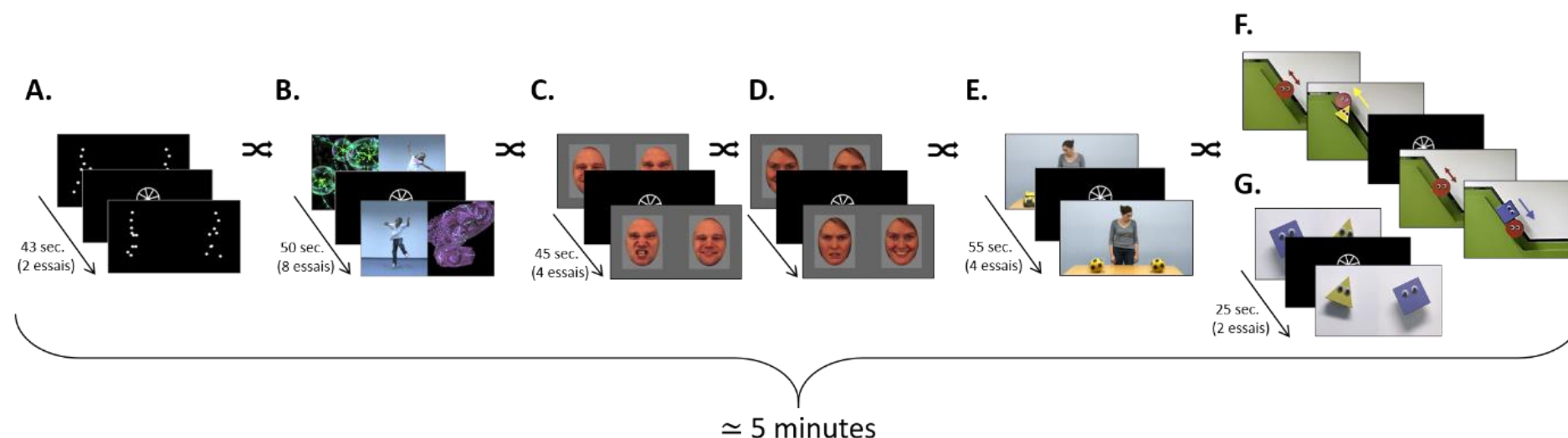


Figure 11. Illustration des différents « blocs » de contenu visuel composant le paradigme expérimental développé pour étudier les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés, tirée de Cavadini & Gentaz (2023).

A. Paradigme des points lumineux, inspiré des travaux de Johansson (1973), évaluant l'Attention préférentielle au mouvement biologique. Cette tâche était composée de deux essais de 20 secondes entre lesquels la position latérale des deux stimuli (mouvements bio- et non-biologiques) sur l'écran était alternée.

B. Exemples de deux séquences vidéo évaluant l'Orientation sociale. Cette tâche comptait huit séquences vidéo similaires tirées de Franchini et al. (2016) et la durée de présentation de chacun de ces essais était de 5 secondes.

C-D. Visages masculin et féminin (respectivement, références M17 et F22 de la KDEF de Lundqvist, Flykt et al., 1998) exprimant la colère et la joie utilisés pour évaluer l'Exploration visuelle des visages humains ainsi que la Discrimination de ces expressions émotionnelles. Chacune de ces paires était présentée quatre fois 10 secondes.

E. Exemples de deux séquences vidéo évaluant l'Attention conjointe. Cette tâche comptait quatre séquences vidéo similaires tirées de Franchini et al. (2017) et la durée de présentation de chacun de ces essais était de 13 secondes.

F-G. Paradigme de la colline, inspiré des travaux de Hamlin, Wynn et Bloom (2007), évaluant les Évaluations socio-morales. Le contenu de cette tâche se subdivisait en deux types de stimuli visuels. Elle débutait par la présentation successive de deux scènes de grimpe de 15 secondes (F) : dans l'une, le grimpeur était aidé dans la réalisation de son action par un autre personnage (ici le triangle jaune) alors que dans l'autre un troisième personnage (ici le carré bleu) l'empêchait de gravir la colline en le poussant en contrebas. Le rôle du triangle et du carré (comportement pro- vs. anti-social à l'égard du grimpeur) ainsi que l'ordre d'apparition des deux comportements étaient aléatoires. Ces séquences vidéo étaient suivies d'une scène de préférence visuelle (G) consistant à présenter le triangle à côté du carré lors de deux essais consécutifs de 12 secondes pour contrebalancer leur position sur l'écran.

3.3.3. Hypothèses

Différentes hypothèses ont été émises pour chacun des objectifs visés par cette première étude. Concernant, tout d'abord, la faisabilité du paradigme expérimental, sur la base de travaux menés dans le domaine de la petite enfance (Hunnius, et al., 2011 ; Palama et al., 2018), nous attendions à ce que les participants passent plus de la moitié de la passation à regarder l'écran de présentation (au moins 50% du temps de regard) et que ces temps de regard ne soient pas influencés par des effets liés à la présentation (effets d'ordre et de fatigue) ou au contenu (stimuli visuels) des tâches. Le second objectif était d'explorer les capacités socio-émotionnelles de neuf participants polyhandicapés (analyses de cas uniques), en étudiant s'ils manifestaient les préférences visuelles pour (a) le mouvement biologique (vs. non-biologique), (b) les scènes socialement saillantes (vs. non-sociales), (c) la zone faciale des yeux (vs. de la bouche), (d) les visages de joie (vs. en colère), (e) les objets d'attention conjointe (vs. les objets non-regardés) et pour (f) les comportements prosociaux (vs. antisociaux) et si ces patterns de préférences étaient similaires à ceux du groupe contrôle. Enfin, concernant la mise en évidence de liens entre les données oculométriques les profils de compétences établis avec l'échelle ECP, nous avons émis les hypothèses selon lesquelles (a) la sous-échelle consacrée aux capacités attentionnelles serait liée aux taux de regard aux différentes séances effectuées (i.e. proportion de temps passé à regarder l'écran par rapport à la durée de la séance) et que (b) la sous-échelle évaluant les compétences socio-émotionnelles corrélait avec les capacités à discriminer les différents types de stimuli appariés dans les six tâches du paradigme expérimental.

3.4. Présentation de l'étude 2

3.4.1. Objectifs

L'étude 2 se concentre exclusivement sur des jeunes enfants au développement typique. L'étude 1 ayant mis en évidence un certain nombre de limites concernant différents aspects du paradigme expérimental, une version révisée de celui-ci a été développée. Par ailleurs, quelques résultats surprenants ont été observés chez le groupe contrôle de l'étude 1. Ainsi, l'étude 2 a pour but de tester un groupe contrôle d'une taille plus importante avec le paradigme révisé afin de procéder à une évaluation plus fiable des compétences socio-émotionnelles des enfants âgés de 1 à 3 ans – tranche d'âge relativement peu étudiée dans le champ de la psychologie développementale – et visant également à étudier les éventuels liens entre ces compétences.

3.4.2. Procédure générale

Dans cette étude, 86 enfants au développement typique âgés de 12 à 36 mois ont été accueillis accompagnés de leurs parents au Babylab de l'Université de Genève. Afin de réaliser la passation expérimentale dans des conditions optimales, les participants étaient installés soit sur un siège adapté soit sur les genoux d'un de leurs parents (cf. Figure 12). Dans ce cas, ces derniers étaient invités à porter des lunettes opaques afin de ne pas influencer sur l'enregistrement des mouvements oculaires de leur enfant.



Figure 12. Photographie du dispositif expérimental de test des enfants au développement typique durant une passation au Babylab de Genève où l'enfant se trouve sur les genoux de sa maman.

Suite aux limites mises en évidence dans l'étude 1, différentes modifications ont été apportées au paradigme expérimental pour cette seconde étude. Tout d'abord, la tâche des points lumineux en mouvement testant l'attention préférentielle au mouvement biologique (*Point-light paradigm*) n'est plus composée de deux essais de 20 secondes mais de quatre essais de 10 secondes afin que chaque participant soit exposé à toutes les conditions (direction du marcheur vers le centre vs. la périphérie de l'écran lorsqu'il est placé à droite vs. à gauche de l'écran). La tâche d'orientation sociale ainsi que le paradigme de l'ascension de la colline (*The hill paradigm*) testant les évaluations socio-morales sont restées inchangées. En revanche, la durée de présentation des visages émotionnels a été réduite (passant de quatre essais de 10 secondes dans l'étude 1 à quatre essais de 8 secondes dans l'étude 2) afin d'améliorer l'attention visuelle des participants pour ces stimuli statiques et répétitifs. Enfin, la tâche d'attention

conjointe est celle dont les stimuli ont connu le plus de modifications, compte tenu des résultats mitigés obtenus à cette tâche dans l'étude 1. Afin de maximiser l'enregistrement des temps de regard sur ces stimuli, les vidéos utilisées ont été agrandies et une grande partie de l'espace vide entourant l'actrice a été rognée (voir Figure 13, pour une comparaison entre les stimuli de l'étude 1 avec ceux de l'étude 2).

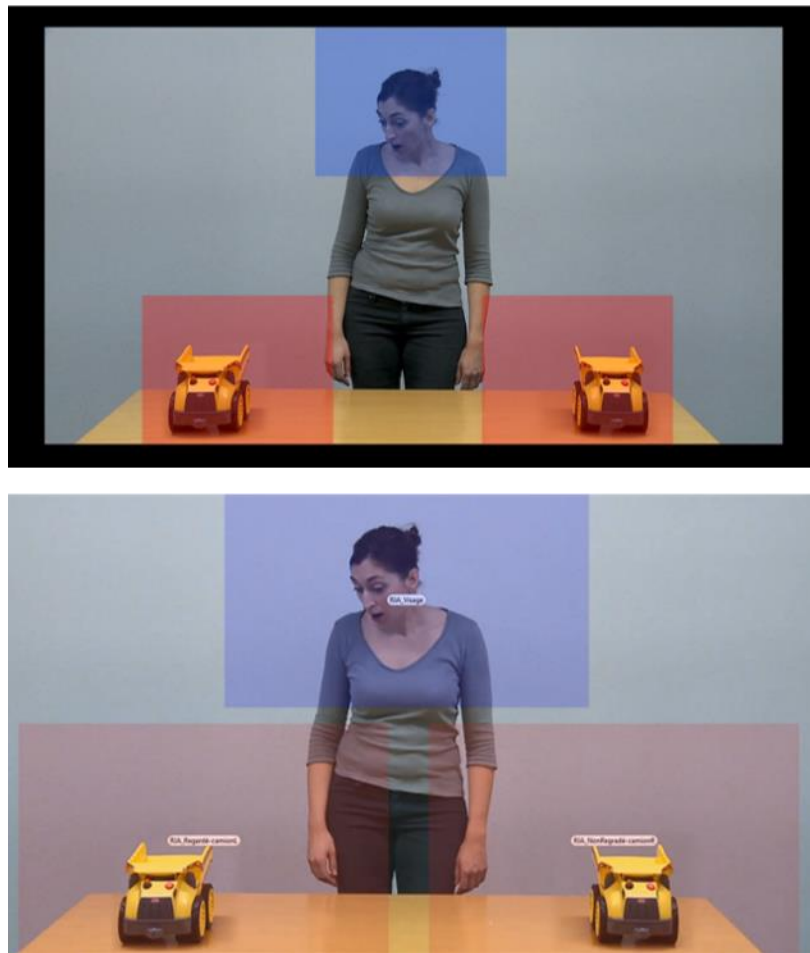


Figure 13. Exemples de stimuli et zones d'intérêt (AOIs) de la tâche d'attention conjointe (*RJA-Task*) utilisés dans l'étude 1 (en haut) et dans l'étude 2 (en bas).

3.4.3. Hypothèses

Compte tenu du fait qu'une version révisée du paradigme expérimental de l'étude 1 a été utilisée dans cette seconde étude, son premier objectif était de vérifier que les modifications apportées n'aient pas affecté la structure du paradigme. Pour se faire, l'hypothèse selon laquelle les temps de regard sur les six blocs de stimuli visuels présentés ne seraient pas influencés par des effets liés à la présentation (effets d'ordre et de fatigue) ou au contenu (stimuli visuels) des

tâches a été émise, similairement à l'étude 1. Nous nous attendions également à mesurer des préférences visuelles similaires à celles mesurées chez le groupe contrôle de l'étude 1. Nous avons, ensuite, formulé plusieurs hypothèses concernant les corrélations entre les temps de regard et l'âge des enfants. Nous nous attendions à ce que l'âge soit corrélé (a) avec les pourcentages de temps de regard pour l'ensemble de la séance expérimentale ainsi que pour chaque tâche individuelle et (b) avec la différence de temps de regard entre les deux stimuli appariés dans chaque tâche, indiquant leur degré de discrimination. De plus, en supposant qu'un processus sous-jacent commun puisse être à l'origine des compétences étudiées, l'hypothèse selon laquelle les scores de différence de temps de regard seraient corrélés entre eux a également été émise.

3.5. Présentation de l'étude 3

3.5.1. Objectifs

L'objectif principal de cette troisième étude est d'utiliser l'oculométrie pour soutenir les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés par la mise en œuvre, sur une période d'une année, de programmes d'entraînement centrés sur la personne.

3.5.2. Procédure générale

Parallèlement au recrutement et à l'évaluation des enfants au développement typique (cf. étude 2), les neuf participants polyhandicapés de l'étude 1 ont continué à être suivis : leurs compétences socio-émotionnelles ont été testées une nouvelle fois à l'aide du paradigme expérimental révisé (cf. étude 2) une année après la première évaluation effectuée avec le paradigme dans son format original (cf. étude 1). Une fois ce nouveau temps de mesure (composé de 6 à 7 séances individuelles) réalisé (T1), la phase dite d'entraînement a débuté. Cette phase s'étendait sur une année au cours de laquelle chacun des neuf participants a bénéficié de 1 à 5 séances hebdomadaires de 15 à 30 minutes chacune. Au terme de cette phase d'entraînement, chacun des neuf participants a réalisé un second temps de mesure (T2).

L'étude 3 explore l'effet de l'entraînement individualisé proposé en comparant les performances individuelles mesurées à T1 avec celles mesurées à T2. L'entraînement mis en place dans cette troisième étude s'inscrit dans une approche centrée sur la personne qui permet d'adapter les services à l'individu plutôt que d'imposer une structure « unique » (Ratti et al.,

2016). En effet, contrairement aux séances de test (T1 et T2) où le même protocole expérimental était mis en œuvre dans des conditions similaires avec tous les participants, le contenu des séances d'entraînement était adapté aux compétences et à l'état de chacun au moment de la séance. L'expérimentateur disposait d'une palette de logiciels de *serious games* développés spécifiquement pour soutenir les compétences étudiées et choisissait ceux qui lui semblaient les plus adaptés lors de chaque séance d'entraînement. Son positionnement était également radicalement différent de celui adopté lors des séances de test (où il n'intervenait pas et se plaçait hors du champ de vision du participant) : ici il s'asseyait aux côtés du participant et interagissait avec celui-ci pour l'encourager dans la réalisation des différents jeux numériques (cf. Figure14).



Figure 14. Photographie du dispositif utilisé durant une séance d'entraînement à l'IME La Clé des Champs de Saint-Cergues.

Il est également à noter que le paradigme expérimental utilisé à T1 et à T2 a été quelque peu modifié par rapport à celui de l'étude 1 puis de l'étude 2. Si les stimuli utilisés pour la tâche des points lumineux en mouvement testant l'attention préférentielle au mouvement biologique ainsi que la tâche d'orientation sociale sont strictement les mêmes que dans l'étude 2, les visages émotionnels ont connu quelques changements. En effet, suite à la présentation des premiers résultats aux familles des participants polyhandicapés celles-ci ont manifesté l'intérêt d'investiguer non plus uniquement la capacité de leur enfant à discriminer entre la joie et la colère mais également entre la joie et la tristesse ainsi qu'entre la colère et la tristesse. Il a donc

été décidé d'intégrer la tristesse comme troisième émotion au paradigme expérimental. Pour rappel, dans l'étude 1 et 2, les visages émotionnels constituaient deux blocs du paradigme expérimental (l'un contenant les visages de joie et de colère féminins, l'autre les visages masculins), chacun composé de quatre essais de 10 secondes (étude 1) puis de 8 secondes dans l'étude 2 (cf. Figure 15). Dans l'étude 3, ces stimuli sont toujours répartis en deux blocs (visages féminins et masculins) mais cette fois-ci ils ne comptent que trois essais de 8 secondes afin de ne pas augmenter significativement la durée du paradigme (cf. Figure 16).

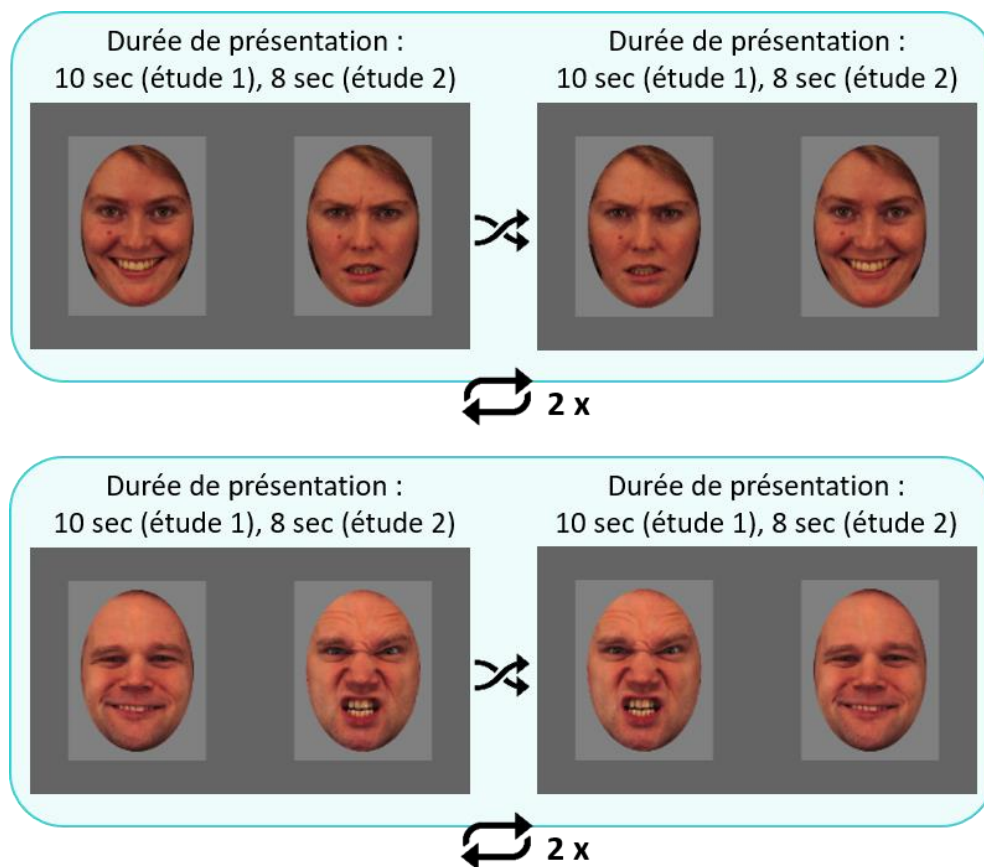


Figure 15. Composition des blocs dédiés à l'exploration des visages émotionnels féminins (en haut) et masculins (en bas) du paradigme expérimental utilisés pour les études 1 et 2.

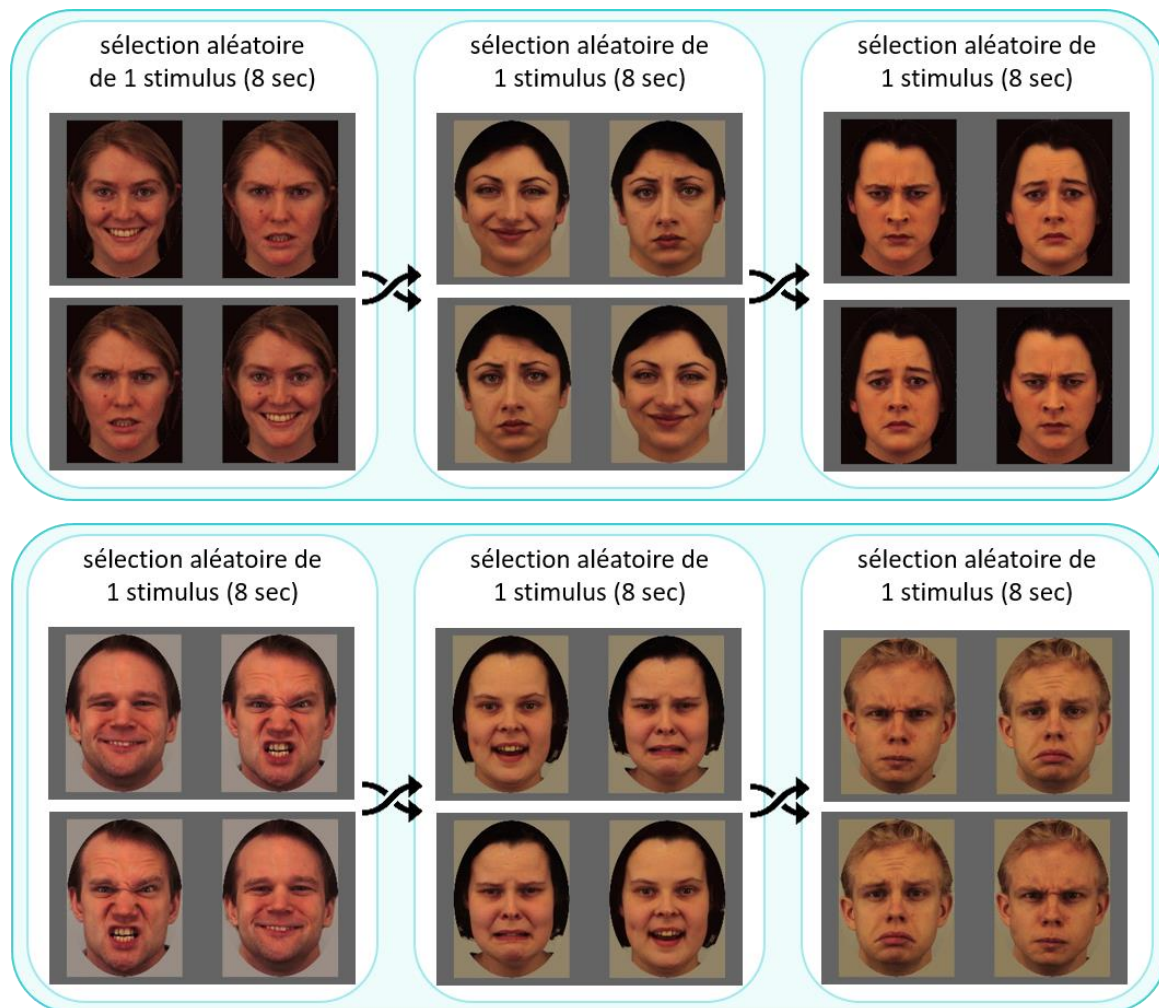


Figure 16. Composition des blocs dédiés à l'exploration des visages émotionnels féminins (en haut) et masculins (en bas) du paradigme expérimental utilisés pour l'étude 3.

Compte tenu des modifications apportées au paradigme expérimental, deux nouveaux groupes contrôle ont été recrutés dans le cadre de cette troisième étude en vue de procéder à des comparaisons de type cas-contrôle : le premier composé de 56 enfants au développement typique (28 filles et 28 garçons) âgés de 12 à 35 mois ($M = 22.31$, $ET = 6.88$) et le second composé de 101 adultes tout-venant (63 femmes et 38 hommes) âgés de 18 à 62 ans ($M = 28.3$, $ET = 9.49$) dont la majorité ($n = 68$) était étudiante à l'Université de Genève. Tous ces participants ont été accueillis au sein du Babylab pour prendre part à l'étude.

3.5.3. Hypothèses

Les hypothèses de cette troisième et dernière étude reposaient sur l'idée que la mise en œuvre d'un programme d'entraînement personnalisé utilisant l'oculométrie pourrait favoriser des améliorations significatives dans l'exploration visuelle et les compétences socio-

émotionnelles de neuf enfants et adolescents polyhandicapés. L'étude adoptait un design expérimental de type pré-test (T1) – entraînement – post-test (T2) avec une phase d'entraînement d'une durée d'un an. Les compétences socio-émotionnelles et les capacités d'exploration visuelle des participants ont été évaluées avant le début de l'entraînement (T1) et après celui-ci (T2).

Trois hypothèses principales ont été formulées. Premièrement, nous nous attendions à observer des progrès au niveau de l'attention visuelle des participants polyhandicapés, mesurés par des temps de regard sur l'écran significativement plus élevés à T2 qu'à T1. Deuxièmement, nous anticipions des améliorations dans leurs compétences socio-émotionnelles, se traduisant par une capacité accrue à discriminer les différents types de stimuli visuels présentés à T2 par rapport à T1. Enfin, en testant également deux groupes contrôle composés d'enfants et d'adultes au développement typique, nous émettions l'hypothèse que les performances des participants polyhandicapés à T2 se rapprocheraient de celles des groupes contrôle, suggérant une réduction des écarts initiaux. Ces hypothèses visaient à démontrer la pertinence de l'oculométrie comme outil d'intervention novateur et inclusif pour accompagner cette population spécifique dans leur développement en offrant un entraînement centré sur les besoins et les capacités individuelles des participants.

Résumé 5. Objectifs et présentation des études

Cette thèse vise à approfondir les connaissances sur le développement socio-émotionnel des personnes polyhandicapées à travers deux objectifs principaux : améliorer leur évaluation grâce à un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie et soutenir leurs compétences via des entraînements individualisés. Dans ce cadre, trois études ont été menées. La première a testé la faisabilité d'un paradigme expérimental innovant fondé sur les préférences visuelles pour évaluer six compétences socio-émotionnelles chez neuf participants polyhandicapés. Les résultats ont été comparés à ceux d'un groupe contrôle composé d'enfants au développement typique âgés de 1 à 3 ans. La deuxième étude a révisé ce paradigme pour combler les limites identifiées et approfondir l'évaluation des compétences socio-émotionnelles auprès de 86 enfants typiques de la même tranche d'âge. Enfin, la troisième étude a introduit un programme d'entraînement centré sur la personne, utilisant des *serious games* utilisant l'oculométrie pour améliorer les compétences des participants polyhandicapés sur une année. Les résultats attendus incluent une meilleure exploration visuelle, des progrès significatifs dans les compétences socio-émotionnelles et une réduction des écarts avec les groupes contrôle confirmant ainsi l'efficacité et la pertinence de l'oculométrie comme outil d'évaluation et d'intervention.

Chapitre 4. Étude 1 : Conception d'un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie pour évaluer les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés

Résumé de l'étude 1

Les personnes polyhandicapées présentent une combinaison de déficiences cognitives et motrices sévères fréquemment associées à des déficits sensoriels additionnels et à de nombreux troubles médicaux. L'objectif de la présente étude était de proposer un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie qui combinait diverses tâches préexistantes issues de la recherche sur la petite enfance en tant qu'outil d'évaluation destiné à cette population. Ceci dans le but d'étudier les compétences socio-émotionnelles de neuf jeunes individus polyhandicapés par le biais de leurs préférences visuelles pour différents types de stimuli. Le premier objectif était de tester la faisabilité de ce paradigme, en s'attendant à ce que les participants regardent davantage l'écran de présentation des tâches qu'ailleurs pendant leur exécution. Le second objectif était d'étudier si les participants manifestent des préférences visuelles pour (a) les mouvements biologiques (vs. non-biologiques), (b) les scènes socialement saillantes (vs. non-sociales), (c) la zone faciale des yeux (vs. de la bouche), (d) les visages exprimant la joie (vs. la colère), (e) les objets d'attention conjointe (vs. les objets non-regardés par autrui) et pour (f) les comportements prosociaux (vs. antisociaux) similaires à celles d'un groupe contrôle composé de 32 enfants au développement typique âgés de 2 ans en moyenne. Dans l'ensemble, la faisabilité de ce paradigme s'est avérée bonne, avec des taux de regard individuels élevés qui n'ont pas été affectés par l'ordre de présentation des stimuli ni par le contenu des tâches. Les analyses des compétences socio-émotionnelles individuelles, étayées par les patterns de préférences visuelles de chaque individu polyhandicapé, ont tout d'abord révélé une forte, mais attendue, variabilité intra- mais aussi inter-individuelle et ont également permis de mettre en évidence certaines aptitudes individuelles spécifiques, bien que peu de similitudes aient été constatées entre ces résultats individuels et ceux du groupe contrôle. Ces résultats soulignent la grande pertinence de l'utilisation de ce type de paradigme expérimental pour évaluer les personnes polyhandicapées et contribuer ainsi à une meilleure compréhension de leur développement social et émotionnel.

Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities¹

4.1. Abstract

Individuals with Profound Intellectual and Multiple Disabilities (PIMD) experience a combination of severe cognitive and motor impairments frequently associated with additional sensory deficits and numerous medical disorders. The purpose of the present study was to propose an experimental paradigm based on eye-tracking that combines various pre-existing tasks from infancy research as an assessment tool. This would enable the investigation of social-emotional abilities in nine young individuals with PIMD through their visual preferences for different types of stimuli. The first objective was to test the feasibility of this paradigm, by expecting individuals to look more at the tasks' presentation screen than elsewhere during its implementation. The second objective was to investigate whether PIMD individuals exhibit visual preferences for (a) biological (vs. non-biological) motion, (b) socially salient (vs. non-social) scenes, (c) the facial area of the eyes (vs. the mouth), (d) happy (vs. angry) faces, (e) objects of joint attention (vs. non-looked at ones), and for (f) prosocial (vs. anti-social) behaviors similar to those of a control group of typically developing children aged two years on average. Overall, the feasibility of this paradigm proved to be good, resulting in high individual looking rates that were not affected by the presentation or the content of the tasks. Analyses of individual social-emotional abilities, supported by the visual preference patterns of each PIMD individual, firstly revealed strong—but expected—variability both within and between subjects, and secondly highlighted some individual task-specific abilities although few similarities between these individual results and those of the control group were found. These findings underline the great relevance of using this type of paradigm for assessing PIMD individuals and thus contribute to a better understanding of their social and emotional development.

¹ Cette expérience est une reproduction de l'article : Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (2022). Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *PLoS ONE*, 17(4), e0266176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266176>

4.2. Introduction

The clinical population with Profound Intellectual and Multiple Disabilities (PIMD) is described by Nakken and Vlaskamp (2002; 2007) as a heterogeneous group of individuals with severe to profound cognitive disabilities (with a statistically estimated IQ below 20–25, and an overall developmental age of 24 months or less) and extensive motor limitations [2]. Additional sensory impairments are also frequently experienced by PIMD individuals [3]. They also have an overall risk of developing numerous health conditions or medical complications, and almost all require regularly administered medication [4]. This population forms a physically vulnerable group of persons with a heavy or total dependence on support from others for everyday tasks and daily living activities [5]. In order to provide appropriate personalized assistance to people with such severe disabilities, support persons have to be sufficiently knowledgeable about individual needs, possibilities, or preferences [6]. This is particularly difficult to do with the PIMD population since assessing persons with PIMD is a challenging process with multiple issues [2, 5].

The extreme heterogeneity that characterizes the population with PIMD is the first limitation to proceed with their psychological evaluation of competences. However, according to Nakken and Vlaskamp (2007), assessing a person with PIMD is also extremely difficult because each individual represents a unique configuration of abilities and constraints to functioning, as well as an idiosyncratic communicative repertoire [2]. Due to the extensive problems in communication they experience (e.g., limited or non-existent use of expressive nor receptive language) coupled with the fact that most PIMD individuals are unable to reach, point, or grasp objects, they are only able to express themselves through an extremely limited range of communicative signals [7]. Therefore, the use of common standardized tests or self-report questionnaires with these individuals is invalidated [8, 9]. In addition, the severity and multiplicity of disabilities in the PIMD population result in unconventional reactions and inconsistent responses to sensory stimuli of items from common sensorimotor assessment batteries [10, 11]. Given these limitations in assessing individuals with PIMD, observation remains the most effective method today [5, 12]. Facilitating the report of observed behaviors that are not language-based [13], a number of indirect observational scales are currently available, especially for support persons willing to gather key-information from these individuals in order to provide appropriate assistance. However, the psychometric properties of such tools are generally limited [5]. Indeed, observation-based methods involve examining

individual behaviors and interpreting them according to the knowledge of the evaluator (e.g., a professional or a family member) about the person being assessed, whereas it has been shown that preference rankings based on respondents' opinions do not consistently coincide with the results of formal assessment procedures consisting of direct observation of both approach and avoidance behaviors [14–16]. Therefore, there is a need to improve the evaluation process of individuals with PIMD by diversifying and multiplying the instruments (given the extensive inter-individual variability characterizing this population) and by conducting direct evaluations for a deeper investigation of individual competences. This would contribute to better understand the psychological development of persons with PIMD who are frequently labelled as 'untestable' because of the theoretical and practical difficulties involved in this process [2, 17, 18].

Among the extremely limited behavioral responses available to PIMD individuals, oculomotor activity is generally minimally impacted (at least in the absence of cerebral visual impairment [19] by the severe and multiple disabilities that characterize this population [20, 21]. As oculomotor activity is considered to be an appropriate measure to use when other response systems are limited [22], it therefore appears to be a highly relevant measure in the assessment process. This is especially true in the framework of a visual preference procedure, which is probably one of the most suitable methods available considering the short time-window of alertness of the PIMD population [23].

The present study offers an experimental paradigm using a classic fixed-trial visual preference procedure initially designed by Fantz (1963) for testing visual responsiveness to various object features in newborn infants [24]. The measure of interest is commonly the looking duration at each stimulus or the percentage of looking duration at one or the other stimulus, to determine whether there is a statistically significant difference in the time infants spend looking at each of two paired stimuli, and thus conclude a visual preference for one of them, indicating that the subject discriminates between the two stimuli. Although this type of paradigm has been widely used to study the development of early abilities in infancy over the last 50 years, very little work has been achieved to date using gaze orientation in persons with PIMD in order to explore their psychological development. An exception is Chard, Roulin and Bouvard (2014) who have recently attempted using a visual habituation procedure [25]. In this study, the authors repeatedly exposed 15 adults with PIMD to two different objects to test the existence of the habituation/novelty reaction phenomenon in these individuals following the principles of a participant-controlled procedure. By conducting both qualitative and quantitative

analyses of the observed behaviors (e.g., attention getting and holding processes) using a specially designed apparatus, they were able to show that the PIMD participants presented the same habituation profiles generally obtained in infancy research [25].

Based on the hypothesis that a gaze fixation on a specific point provides a measure of attention [26], eye-tracking technology has been widely used for the study of visual attention to various stimuli types. In addition, the use of eye-tracking technology as an experimental measurement provides great spatial and temporal precision: by defining Areas of Interest (AOIs) on the stimuli presented on the screen, this device allows the precise examination of individual visual exploration (e.g., time spent looking at the *eyes* vs. at the *mouth* of a face) [27]. Thus, a growing number of studies have used this technology to investigate various abilities in typically developing (TD) infants [28] and in older children [29].

This technology has also proven its relevance in disability research, particularly in the field of Autism spectrum disorders (ASD) [30]. Considering the relevance of this technology in the early identification of risk factors for autism [31, 32] and given that the feasibility of eye-tracking-based assessments in low-resource settings has been demonstrated [33], a recent study has even developed stimuli specifically adapted to the South American population in order to provide a tool that can help local practitioners to identify the early signs of autism in this geographic area [34]. Some authors have also highlighted the great relevance of using this technology in computer-based support programs, in particular by serving as an assistive device [35], especially to support the communication of individuals with limited general body movement [36].

In order to better understand the psychological development of individuals with PIMD, the present study intended to perform an eye-tracking-based experimental paradigm using a visual preference procedure for assessing six social-emotional abilities. For this purpose, we designed a paradigm combining different pre-existing tasks from infancy research whose experimental contents have provided significant contributions to current scientific knowledge on the typical development of early social communication.

Starting with (1) *the discrimination of biological vs. non-biological motion*, likely one of the earliest perceptual abilities involved in the development of nonverbal communication [37] since it has been observed from birth in TD newborns [38], we were interested in determining whether PIMD individuals would show a preference for biological motion

represented by dynamic point-light depicting human actions over random non-biological moving dots, through an adaptation of Johansson's (1973) "Point-light" stimuli [39].

As a continuation of the previous ability, we then focused on (2) *social orienting* (SO), referring to the intrinsic ability to preferentially orient to our surrounding social environment [40], which autism research proved to be of paramount importance for the early development of social communication [41] since the lack of social orienting is thought to impair the social communicative development of children with ASD [42]. Using Franchini et al.'s (2016) stimuli [32], we wanted to investigate whether this preference for socially salient scenes would also be found in individuals with PIMD, by presenting not only basic white moving dots as in the previous task, but also concrete stimuli consisting in children dancing solo (vs. dynamic geometric motion).

Taking a closer look at concrete human stimuli, we then focused on human faces, which are known to be a highly salient stimulus type [43], whose visual processing and comprehension play a fundamental role in social communication [44]. Using pairs of emotional faces, we were interested in (3) *the visual scanning of facial features* by investigating whether the early typical exploration pattern of preferring the eye area [45] would also be exhibited by PIMD individuals, as well as (4) *the discrimination of emotions* and more specifically whether these individuals would be able to differentiate between happy and angry faces, two contrasting emotions that TD infants are able to discriminate as early as 7 months of age showing a preference for happy faces [46].

Beyond the visual exploration of static faces, we were then interested in (5) *the joint attention capacities* of individuals with PIMD. Referring to a co-created outcome of an interaction in which two people's attention is directed towards each other or towards an object, joint attention requires both expressive (i.e., initiation of joint attention behaviors) and receptive (i.e., responding to joint attention behaviors; abbreviated here as RJA) abilities [47]. In the present study, we focused on RJA behaviors (i.e., the ability to follow the direction of the gaze and gestures of others to share a common point of reference [48]) of PIMD individuals by presenting them with videos created by Franchini et al. (2017) in which an actress directed attention to a moving object by looking at it with an intensely surprised expression [49].

Finally, after directing one's gaze to what catches others' attention, we then investigated whether PIMD individuals would be able to (6) *produce Socio-Moral Evaluations* (SME), i.e.,

the ability to understand others' intentions by observing their actions and judging the moral valence of their behavior, which is fundamental to processing the social world and interactions [50]. We therefore focused on the SME abilities of PIMD individuals using an adaptation of Hamlin, Wynn, and Bloom's (2007) "Climbing the hill" paradigm [51] through which they demonstrated that, as early as 6 months of age, TD infants were able to exhibit such evaluations by showing a visual preference for the agent performing a prosocial action (a helper aiding the climber) over an antisocial one (a hinderer pushing the climber down). Since PIMD individuals experience significantly reduced social interactions in their lives [52], it is particularly relevant to investigate whether they would exhibit similar visual preferences.

While the typical development of these six abilities in the first year of life has been widely studied to date, little work has already explored them in older infants, especially around the age of two years, which corresponds to the estimated developmental level of the PIMD population [1, 2, 53]. For this reason, we decided to also implement our paradigm with a group of TD children of this age, providing a baseline for case-control comparisons to better understand patterns of visual preference of each PIMD individual.

In summary, the first objective of the present study was to test the feasibility of the proposed eye-tracking-based experimental paradigm. We expected that participants would spend more than half of the session looking at the presentation screen (at least 50% of looking time) and that these looking times would not be influenced by effects related to the presentation (order and fatigue effects) or the content (visual stimuli) of the tasks. The second objective was to explore the social-emotional abilities of nine PIMD individuals (single-case analyses), by testing whether they showed expected visual preferences in six tasks, and by comparing their individual results to those of the control group.

4.3. Methods

4.3.1. Participants

The present study included two distinct populations: an average 2-year-old control group and young individuals with PIMD. All parents gave their informed written consent for their child to take part. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and its experimental protocol had been approved by the Ethics Committee of the University of Geneva.

The control group was composed of 32 TD children (14 girls, 18 boys), aged 12 to 36 months ($M = 22.53$, $SD = 7.46$). They were all French-speaking, coming from families with low to high socioeconomic status (SES). Families' SES, calculated as a percentage using the formula proposed by the Swiss author Genoud (2011) [54], ranged from 15% (referring to the lower class) to 85% (i.e., the upper class). The average SES was 67% ($SD = 17.7$) corresponding to the middle class. Participants lived in rural areas (< 2000 inhabitants; $n = 7$), villages (2000–5000 inhabitants; $n = 3$), and urban areas (5001 to $+ 20'000$ inhabitants; $n = 22$) in the surroundings of Geneva, Switzerland. Their parents were between 24 and 47 years old ($M = 34.13$, $SD = 5.60$).

This single-case study included nine Caucasian children and adolescents (six girls and three boys, aged 6–17 years) with a diagnosis of PIMD. They all met the criteria set by the internationally accepted definition that the PIMD population consists of individuals with a profound intellectual disability in combination with a severe or profound motor disability [2]. Individual profiles of each of the nine participants are described below. Overall, none of them had functional verbal communication. They also all experienced severe motor limitations in their movement, not walking autonomously, and were thus totally dependent on support persons for all activities of daily life. Each was enrolled in the same Medical-Educational Institute (MEI) of the French Red Cross, located in the department of Haute Savoie (France).

Each participant's cognitive skill profile was established by a psychologist using the revised version of the "P2CJP questionnaire" [55]: the ECP scale (Evaluation-Cognition-PIMD) [56]. This recent francophone observation-based instrument, was developed by a group of academics and clinical psychologists to assess a wide range of competencies and thus establish valid individual profiles of the following eight cognitive skills explored through 62 items: sensory skills, attention, memory, communication, reasoning, spatial-temporal skills, learning and social-emotional skills. The MEI staff were all familiar with this instrument before the implementation of the present study as they were already using it in their daily practice to define the objectives of each resident and to follow up on individual progress. Individual standardized scores (t -scores) on the ECP subscales are presented in [Table 1](#).

Table 1. Standardized scores (*t*-scores) on the ECP Scale of the nine PIMD participants.

ECP subscales	Children (< 13 years old)				Adolescents (13 to 18 years old)							
	#1 Zoe	#2 Nina	#3 Suzan	#4 Jane	#5 Betty	#6 Elise	#7 Mike	#8 John	#9 Tim			
Sensory	56 ^{Pa}	46	36 ^{Pa}	41	44	35 ^{Pa}	46	61 ^{Pa}	42	50		
Attentional	68 ^{Pa}	70	46 ^{Pa}	66	50	50 ^{Pa}	68	69 ^{Pa}	60	63		
Memory	60 ^{Pa}	60	40 ^{Pa}	44	48	54 ^{Pa}	50	70 ^{Pa}	66	54		
Communicative	57 ^{Pa}	52	36 ^{Pa}	47	51	50 ^{Pa}	54	65 ^{Pa}	60	50		
Reasoning	44 ^{Pa}	52	37 ^{Pa}	47	51	49 ^{Pa}	56	62 ^{Pa}	65	54		
Spatio-temporal	58 ^{Pa}	46	33 ^{Pa}	58	52	55 ^{Pa}	44	69 ^{Pa}	40	47		
Learning	50 ^{Pa}	50	36 ^{Pa}	53	46	44 ^{Pa}	50	58 ^{Pa}	55	52		
Social-emotional	60 ^{Pa}	62	49 ^{Pa}	56	52	54 ^{Pa}	65	67 ^{Pa}	64	60		

^{Pa}. Standardized *t*-scores computed on parents' observations. In addition to the psychologist's assessment, the parents of participants #1 (Zoe), #3 (Suzan), #5 (Betty), and #7 (Mike) also completed the ECP Scale.

Participant #1: Zoe was a 6-year-8-month-old girl diagnosed with PIMD due to neonatal microcephaly caused by a mutation in the *ASNS* gene. This specific genetic anomaly responsible for Zoe's microcephaly was only identified in 2013 [57]: by 2018, no more than thirty cases had been described in the scientific literature [58]. Zoe presented axial hypotonia and peripheral hypertonia of the lower limbs with equinus feet. Despite this, she was able to crawl freely in her living space and was also capable of sitting up on her own. Zoe had no particular sensory deficits and showed relatively high attentional skills.

Participant #2: Nina was an 8-year-old girl diagnosed with PIMD due to a Rett syndrome (RTT) resulting from a mutation in the *MECP2* gene. Regarding the RTT cascade of clinical symptoms delineated in a staging system by Engerström (1990) [59], Nina entered the Late Motor Deterioration stage (stage IV) since she ceased walking and became wheelchair-dependent. She presented a severe loss of muscle tone (hypotonia), postural stiffness, and varus feet. Nina also showed stereotyped hand movements, breathing irregularities (hyperventilation during wakefulness, forced expulsion of air and saliva), and a seizure disorder. She had no particular sensory deficits except for a strabismus and slight hyperopia corrected by wearing glasses. Nina showed remarkable eye contact and visual pointing behaviors, and appeared to have high attentional skills.

Participant #3: Suzan was an 8-year-11-month-old girl diagnosed with PIMD due to a hypoxic-ischemic encephalopathy (HIE) resulting from a sudden infant death from which she was rescued at the age of 4 months. She presented spastic tetraparesia associated with significant hypotonia. Her secondary deficits included severe epilepsy, right hip dislocation, and sleeping disorders. Suzan tended to be quite floppy, showing minimal reactions to sights or sounds, and exhibiting fluctuating abilities. She had no particular sensory deficits other than the

fact that she was often hypothermic. She had relatively low scores on almost all ECP subscales that were consistent between the psychologist's and her parents' assessment.

Participant #4: Jane was a 9-year-11-month-old girl diagnosed with PIMD due to Nicolaides-Baraitser syndrome caused by a heterozygous missense mutation in the SMARCA2 gene combined with a Chiari type 1 malformation. Despite ankle dorsiflexion, equinovarus feet, and rheumatological disorders, Jane was able to walk (crouching gait) short distances with the assistance of a support person to move freely around a room or to reach a goal. She had no particular sensory deficits and exhibited relatively high attentional skills.

Participant #5: Betty was a young, 13-year-old adolescent girl diagnosed with PIMD due to infantile epileptic encephalopathy with hypsarrhythmia identified as idiopathic West syndrome (also known as infantile spasms). Betty's severe generalized tonic-clonic seizures (consisting of series of sudden involuntary muscle contractions in flexion) first appeared when she was 5 months old, although she had no genetic abnormalities or any brain damage. She presented axial hypotonia (mainly in the extensor muscles of the neck and spine, leading to a global kyphosis of the latter) and peripheral hypertonia (stiffness of the lower limbs). She had no particular sensory deficits but exhibited significant, challenging, self-aggressive behaviors and stereotyped movements of the upper limbs. Betty showed very limited attentional skills resulting in difficulties in maintaining eye contact and decreased responses to sound stimuli.

Participant #6: Elise was a 14-year-6-month-old teenage girl diagnosed with PIMD due to early infantile epileptic encephalopathy (EIEE) with suppression-burst, also known as Ohtahara syndrome, caused by a heterozygous missense mutation in the STXBP1 gene. She presented hypertonia, spasticity, dorso-lumbar scoliosis, hip subluxation as well as severe and irreducible foot deformities: equinovalgus left foot and varus right foot. As associated secondary disorders, Elise had early onset of puberty (from the age of 8 years) and chronic constipation. She had no particular sensory deficits except for reflexive startle movements to noises (accentuated by fatigue).

Participant #7: Mike was a 15-year-old teenage boy diagnosed with PIMD due to neonatal epileptic encephalopathy (NEE) caused by a heterozygous pathogenic variant in the KCNQ2 gene. He presented axial hypotonia and spastic quadriplegia yet he was able to walk a few meters with support (crouch gait), make the transition from sitting to standing, and stand for a while, especially when changing posture (e.g., from his wheelchair to other support devices),

during care or dressing. Mike exhibited several stereotyped behaviors but no particular sensory deficits. Consistently, he scored rather high on almost all ECP subscales both through the assessment of the psychologist and his parents. In addition, he had great eye contact and very precise visual pointing behaviors. Combined with his cognitive performance, Mike's accurate ocular movements enabled him to start learning to use an alternative communication system to express his choices by selecting corresponding pictograms.

Participant #8: John was a male adolescent of 16 years and 8 months diagnosed with PIMD due to an Aromatic L-amino acid decarboxylase (AADC) deficiency, consisting in a rare autosomal recessive neurometabolic disorder. John presented severe hypotonia, spasticity and muscle stiffness. He had no particular sensory deficits but exhibited many uncontrolled movements (oculogyric crisis, dystonia, and hypokinesia), and autonomic symptoms such as impaired sweating, nasal congestion, drooling, hypotension, and severe gastroesophageal reflux. John had relatively high cognitive skills, especially in memory (visual and auditory) and in reasoning. Through the regular use of computer-based educational programs over the past two years, John's understanding of causal relationships has improved significantly. He also had good social-emotional skills. John was very expressive (showing his joy, happiness and interest but also his disagreement and opposition through different reactions), joking and receptive to humor and irony.

Participant #9: Tim was a 17-year-old male adolescent diagnosed with PIMD due to Ring chromosome 14 syndrome, characterized by early onset refractory epilepsy, intellectual disability, autism spectrum disorder (whereby Tim was first diagnosed with ASD at the age of 4), and a number of diverse health problems such as dorso-lumbar scoliosis, flexion contractures, early arthritis, recurrent pneumonia and respiratory tract infections. Nevertheless, Tim did not have any additional sensory deficits and showed fairly good attentional and social-emotional skills.

4.3.2. Apparatus and procedure

Children in the control group completed a single individual eye-tracking session at Geneva's BabyLab. After having read and approved the consent form and completed a brief socio-demographic questionnaire, the accompanying parent placed his/her child comfortably in front of the screen, either in a suitable seat or on his/ her lap (in which case the parent wore opaque glasses to avoid any interference during the recording of the child's eye movements).

All parents were instructed not to move nor intervene for the duration of the experiment (unless necessary). The eye-tracking session, whose content is detailed in the Stimuli section, could then begin. Once finished, children received a medal as a thank you for participating.

Participants with PIMD each completed between 5 and 8 sessions at best (i.e., with participants who were more available, had less care or activities scheduled in their individual agenda and/or those who were more often in a state of health and alertness suitable to perform a session). Experiments took place in a quiet room of the MEI dedicated to eye-tracking use. The sessions were never scheduled in advance: the experimenter went to the MEI one to two days a week and conducted sessions with the participants as soon as one of them was available and suitable to perform one. A period of three months was necessary for all nine participants to have completed at least five sessions (i.e., the minimum number that had been set beforehand).

The individual eye-tracking sessions performed by the control group and by the PIMD participants were strictly identical. The ocular movements of both populations were measured using the same eye-tracking device: the infrared corneal reflection eye-tracker Tobii X3-120 (Tobii Pro AB, Danderyd, Sweden). Only the size of the presentation screen differed between the two populations. A 22'' screen (47.5 x 30 cm) was used with the control group and another 23'' one (50.9 x 28.6 cm) with the PIMD participants. Both displays had a spatial resolution of 1920 x 1080 pixels. Nevertheless, the difference in size between the two screens did not affect the required distance between participants' eyes and the eye-tracker (magnetized to the lower side of the screen), which had to be 60 to 65 cm (i.e., Tobii's recommendation for minimizing the impact of head movements on gaze data). Consequently, the gaze angle (α) remained the same with both displays ($\alpha \simeq 31.5^\circ$), having no impact on the recorded data, thus making them fully comparable. During the experiment, light conditions were kept low to minimize visual distraction.

A session consisted of the following elements: (a) a 30-second opening cartoon (to focus participants' attention), (b) a 3-point calibration procedure (i.e., completed when 3 points were successfully calibrated and repeated for the missing ones) in which an expanding-contracting circle appeared in every position of a 2 x 3 grid of white dots on a black background (a satisfactory calibration was achieved with less than 2° of deviation on the x and y axes), (c) the experimental phase, and (d) a brief final animation (a puppet thanking the participant and saying goodbye).

The experimental phase consisted of the successive presentation of various randomly ordered visual stimuli, divided into six ‘blocks’ of experimental content (each underpinning one of the six social-emotional abilities assessed). Between each block, a dynamic fixation cross paired with a stimulating sound was presented in the screen’s center until the participant looked at it (i.e., the 400 x 400 pixels AOI drawn around it had to be gazed at for at least 300 ms to trigger the next block) in order to prevent a side bias from compromising the reliability of the recorded data. This fixation cross was also presented between each of the trials composing the different blocks, but this time for a fixed duration (1500 ms) that no longer depended on participants’ gaze. Consequently, we checked post hoc whether they had looked at it between each trial or not: in this case, the concerned trial(s) were removed from the analyses.

The total duration of a session (including the opening cartoon, the calibration, the experimental phase, and the brief final thank-you message) was about 6 minutes. It could be longer if the calibration had to be repeated and/or if the participant did not look directly at the screen’s center between blocks (thus delaying their activation), but it never exceeded 10 minutes.

4.3.3. Stimuli

To measure the social-emotional abilities of interest, we integrated six ‘blocks’ of experimental content into our paradigm. This content consisted of visual stimuli specifically chosen for its variability. The variability related to the visual characteristics of the stimuli (high/low contrast, black and white/colored, dynamic/static, sparse/complex, or with many/few details), but also the screen area they occupied (covering the whole screen or only a part of it), the level of abstraction of their content (abstract forms vs. concrete situations, objects, or individuals), and their presentation modalities (few trials with long presentation times vs. many trials with shorter presentation times).

Since we decided to use a visual preference procedure involving the simultaneous presentation of two side-by-side stimuli, each task had a minimum of two trials in order to counterbalance the pairs of stimuli laterally.

The "Point-Light (PL)-Task" of our paradigm used the stimuli created by Bidet-Ildei, Kitromilides, Orliaguet, Pavlova, and Gentaz (2014) to measure our participants’ ability to discriminate biological motion from non-biological motion [38]. It included two 20-second

trials (for a total duration of approx. 42 seconds). The stimuli pairs thus presented on each trial consisted of moving white dots depicting a human point-light walker (biological motion) beside another point-light set of randomly moving dots (non-biological motion) (cf. Figure 17). The AOI drawn around each stimulus was 960 x 1080 pixels (covering the entire screen). Based on a previous eye-tracking study [60], participants had to look at the display for at least 500 ms for a trial to be validated and its data processed.

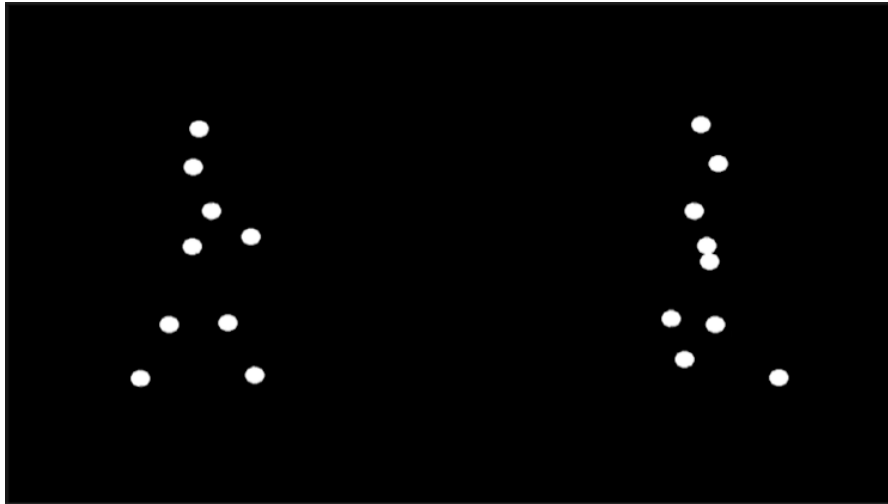


Figure 17. PL-Task stimuli representing biological (left) and non-biological (right) motion.

The "Social Orienting (SO)-Task" of our paradigm used the stimuli created by Franchini et al. (2016) [32], to measure the ability to discriminate socially salient visual scenes from non-social scenes in our participants. It included eight 5-second trials (for a total duration of approx. 48 seconds considering inter-trial delays). The stimuli pairs thus presented consisted of dynamic social images (sequences showing a young boy or girl moving and dancing solo) beside dynamic geometric images (moving geometrical shapes similar to classic abstract screen savers) (cf. Figure 18). The AOI drawn on each stimulus was 815 x 1080 pixels (corresponding to half of the screen minus the black stripe area on the edges of the original stimuli). As in the previous task, participants had to look at the display for at least 500 ms for a trial to be validated and its data processed.

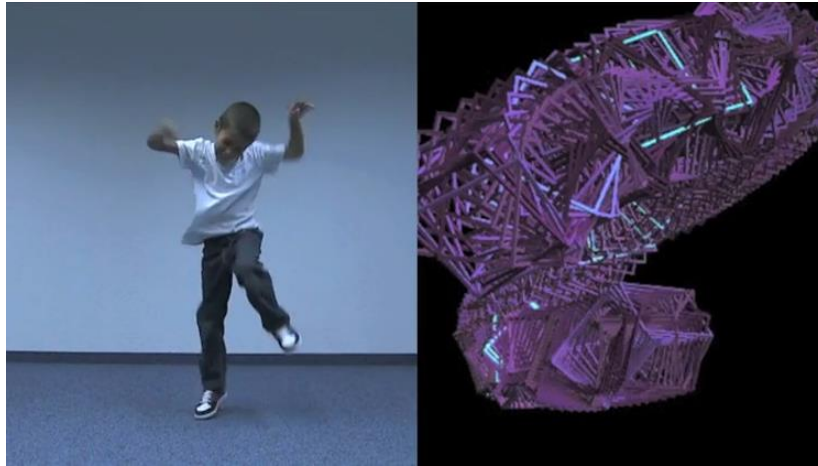


Figure 18. SO-Task stimuli representing socially salient (left) and non-social (right) scenes.

The male and female emotional (happy and angry) faces used to test our participants' visual scanning of facial features and emotion discrimination came from the “The Karolinska Directed Emotional Faces—KDEF”, references F22 (cf. Figure 19a) and M17 (cf. Figure 19b) [61]. This selection was based on the validation article of this database [62]: these were the only models in the 20 best joy and anger pictures established by the authors to have teeth visible, as teeth have been shown to be a particularly salient facial feature influencing emotion discrimination [63]. To increase ecological validity [64] the stimuli were presented in color on a medium gray background (RGB 100, 100, 100). The hairline, another facial feature known to affect the visual exploration of faces [65], was cropped using GIMP software.

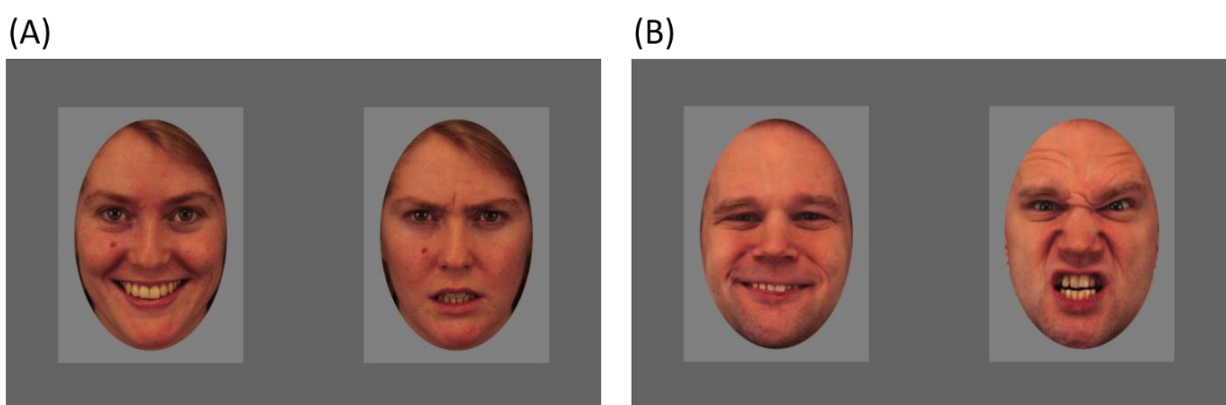


Figure 19. Female (left) and male (right) emotional faces from the KDEF database (Lundqvist et al., 1998).

A. Happy (left) and angry (right) female faces (reference F22).

B. Happy (left) and angry (right) male faces (reference M17).

Since we aimed to assess two distinct abilities from these two pairs of faces, we allocated one experimental ‘block’ (consisting of two 20-second trials) to each. Different AOIs were drawn as the two abilities were actually measured by comparing the time spent looking at different locations: (a) time on the eye area (composed of two AOIs of 160 x 160 pixels each, spaced 140 pixels apart) vs. the mouth area (consisting of an AOI of 320 x 160 pixels, equivalent to the size of the eye region) for visual scanning of facial features, and (b) time on happy face vs. angry face (i.e., on each of the two 600 x 790 pixels AOIs, symmetrically located at a distance of 180 pixels from the screen center) for emotion discrimination (cf. Figure 20).

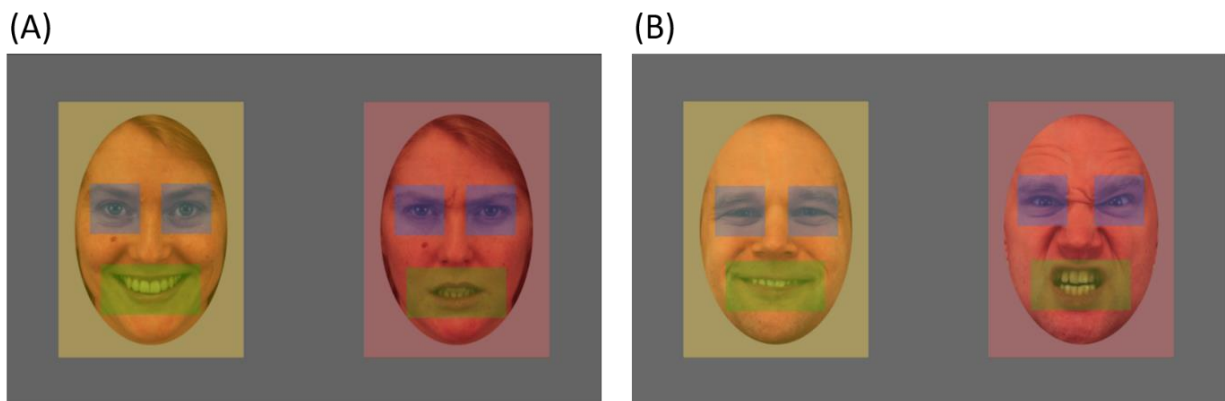


Figure 20. AOIs delineating emotions and facial features of female and male faces from the KDEF database (Lundqvist et al., 1998).

A. AOIs delineating happy (yellow) and angry (red) faces of reference F22 and the facial areas of the eyes (blue) and mouth (green).

B. AOIs delineating happy (yellow) and angry (red) faces of reference M17 and the facial areas of the eyes (blue) and mouth (green).

Trial validation also depended on looking times at the different AOIs: for visual scanning, participants had to have looked at the three AOIs (i.e., mouth, left and right eye areas) for at least 200 ms, whereas for emotion discrimination they had to have looked at the two AOIs delimiting both emotional faces for at least 300 ms.

The "RJA-Task" of our paradigm used the stimuli created by Franchini et al. (2017) [49] to test participants' ability to follow the direction of others' gaze to share a common point of reference. Only the videos of the ‘intense’ condition that had previously generated significantly higher looking times were integrated into our experimental paradigm: they consisted of four 15-second videos in which an actress was standing behind a table with two identical objects (of different natures, shapes, and colors in each video). In this initial position,

the actress was looking directly at the camera. After 4 seconds, the objects started to move, she then suddenly focused her attention on one of them with an expression of intense surprise that lasted 10 seconds (cf. Figure 21a). The AOI was drawn on each of the two 450 x 350 pixels objects (the one that was looked at and the one that was not). Both AOIs were symmetrically located at a distance of 225 pixels from the center of the screen length. An additional area (of identical size) was also drawn around the actress' face in order to control for the quality of the visual exploration: participants had to look at it for at least 300 ms for a trial to be validated and its data processed (cf. Figure 21b).

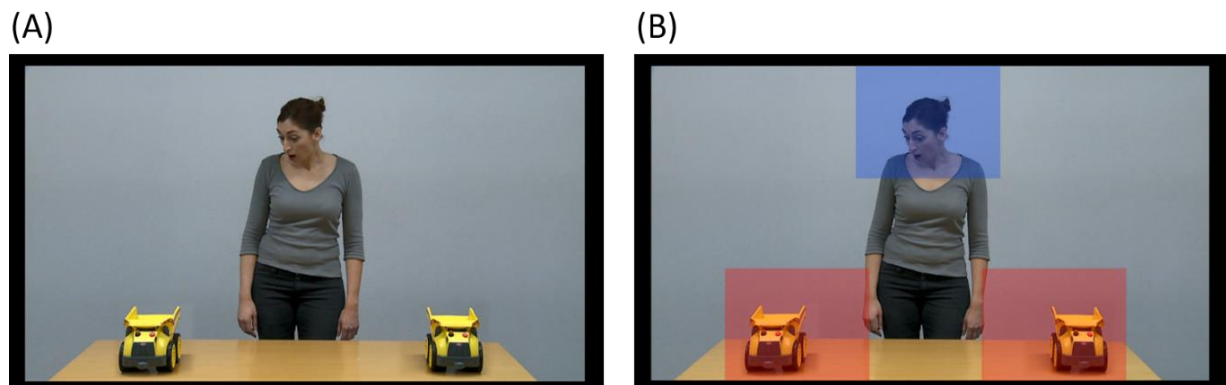


Figure 21. A. Example of RJA-Task stimuli representing the actress directing her attention to one ("looked-at object", right) of the two identical moving objects in front of her. B. Drawing representation of the different AOIs.

The "SME-Task" of our paradigm was an adaptation of the "Climbing the hill" paradigm [51], in which a 'climber' puppet (a red, circular wooden character with large plastic 'googly' eyes) tried but failed to climb a steep hill, and was randomly either bumped up the hill by the 'helper' (prosocial behavior) or bumped down the hill by the 'hinderer' (antisocial behavior), see Figure 22a. Each of these "climbing scenes" lasted 15 seconds. This first part of the task was followed by a final visual preference scene (consisting of two 15-second trials), in which both the helper and the hinderer puppets (a blue square and a yellow triangle with googly eyes) were simultaneously presented side by side on the entire screen surface (delineated by two 960 x 1180 pixels AOIs), see Figure 22b. Consequently, our SME-Task differed from the others by its structure (the visual preference scene was only a part of the task, occurring only after the presentation of the first two climbing scenes), but also by the fact that the visual preference measurement depended on the quality of the visual exploration of the previous climbing scenes: the participants had to have looked at each of them for at least 5 seconds and

the difference in their respective looking times had to be no more than 10 seconds for a trial to be valid. Since these inclusion criteria might eliminate a number of trials, participants' socio-moral evaluation ability was also measured by comparing the time spent gazing at each climbing scene to determine whether one of the two observed behaviors (pro- vs. anti-social) attracted more visual attention.

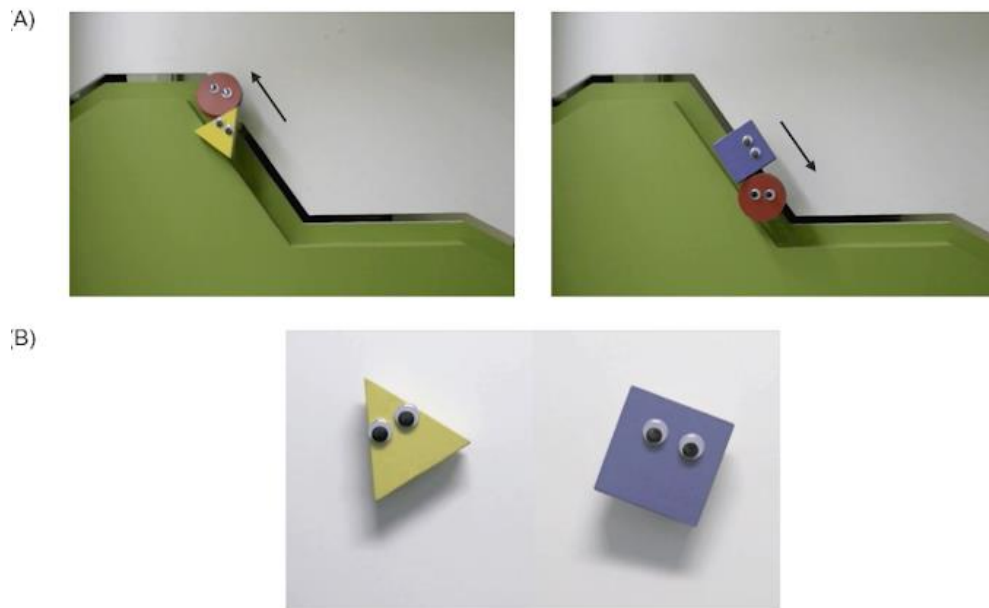


Figure 22. Example of SME-Task video sequences adapted from *The hill paradigm* by Hamlin et al. (2007).

A. Screenshots of an example of the two consecutive climbing scenes representing prosocial (left) and antisocial (right) behaviors. The two behaviors occurred in a random order and the role of each puppet counterbalanced. The arrows depict the direction the puppets are moving.

B. Screenshot of the final visual preference scene representing both the "helper" (left) and the "hinderer" (right) puppets. The final scene consisted of two 15-second trials. Helper and hinderer were randomly assigned to the left or right sides of the screen for each trial.

4.3.4. Data analysis

Raw data were extracted using Tobii Pro Lab (Version 1.162) computer software. We were interested in the total looking times (LT) at all the AOIs drawn on every stimulus, computed by this software as the total visit duration. Visits are defined as the portion of gaze data between the start of the first fixation on the AOI until the end of the last fixation on the AOI, before an exit saccade. Fixations can be defined as the periods of time where the eyes are relatively still, holding the central foveal vision in place so that the visual system can take in detailed information about what is being looked at, whereas saccades refer to rapid, ballistic

movements of the eyes that abruptly change the point of fixation [27]. These raw times (in seconds) were relevant primarily for exploring and comparing the general characteristics of individual oculomotor behaviors in response to different visual stimuli.

Nevertheless, statistical analyses were not performed on these raw data but on proportions of looking times (expressed as LT percentages), which were computed on different ratios depending on what was being tested: (1) for feasibility, proportions of LTs on the different blocks/tasks of the paradigm relative to their respective durations; (2) for visual preferences, proportions of LTs on one of the paired stimuli (or on a specific AOI) relative to the LTs on both stimuli (or on all the specific AOIs compared).

First, regarding the feasibility of the paradigm, we started by running preliminary analyses consisting of descriptive statistics (means, standard deviations, ranges) of total LT percentages of both the PIMD individuals at each session performed, and the control group. We then focused on the individual data of the PIMD participants and performed a within-subject analysis of variance (ANOVA) of the mean LT percentages to test the effect of the blocks' order of presentation (regardless of their specific content), the effect of fatigue between the first two and the last two blocks presented (through complementary post-hoc contrast analyses), and the effect of the blocks' content (i.e., task-specific visual stimuli). Additionally, before proceeding with the analysis of visual preferences, the symmetry (left/right side of the screen and upper/lower part of it) of the participants' visual exploration was examined using the data from the opening cartoon and the final animation. We extracted the number of fixations on each of these four screen areas, calculated the ratios, and verified that there was no significant asymmetry in individual exploration of the screen.

Second, regarding the visual preferences, we started by excluding all individual trials that failed to meet the task-specific inclusion criteria from the analyses (c.f. Stimuli Section), as well as those whose priming fixation cross presented in the center of the screen had not been gazed at, before proceeding to skill-by-skill and case-by-case data processing. Then, the LT percentages on each of the paired stimuli (or on a specific AOI) of both the PIMD individuals and the control group were compared either through paired-sample *t*-tests (when the distribution of our dependent variables was normal) or non-parametric Wilcoxon matched-pair tests (when the distribution was not normal). Whenever the mean LT percentage was significantly higher on one of the two stimuli/AOIs compared, we concluded that there was a visual preference for

it. Normality was tested using the Shapiro-Wilk W -test. All statistical analyses were conducted using TIBCO Statistica (version 13.2). A p -value ≤ 0.05 was considered significant.

4.4. Results

4.4.1. Feasibility of the eye-tracking-based experimental paradigm

Considering the general characteristics of the eye-tracking data of the two populations studied, we first noted that PIMD participants spent overall less time looking at the screen compared to the control group (Mann-Whitney $U = 342$, $p < .001$), thereby justifying the fact that we calculated percentages of looking times (at the screen and then at specific AOIs) and performed the statistical tests on these proportions rather than on the raw times.

4.4.1.1. Preliminary analyses: Descriptive statistics of LT percentages

[Table 2](#) presents the percentages of time each of the nine PIMD participants spent looking at the screen in the different sessions they individually performed (over the session duration), as well as the total mean LT percentage for each of them and for the control group. We observed that seven of the nine participants spent more than half the time looking at the screen (LT percentages $> 50\%$) by the very first session (S1): only participants #5 (Betty) and #6 (Elise) spent more time looking away from the screen during its completion (respective LT percentages of 24.06 and 15.09). While the gaze rate of participant #6 (Elise) was indeed particularly low at S1, it increased considerably at S2 (48.88%), reached the 50% threshold at S3 (51.96%), and decreased again in the last two sessions (30.39 and 20.80%). This variability was not found in the session percentages of participant #5 (Betty). With a mean LT percentage of 29.22 ($SD = 4.76$), Betty appeared to be the participant who spent, on average, the least amount of time looking at the screen during the five sessions she performed. Additionally, this extremely low gaze rate tended to be especially consistent across sessions: no other participant obtained such a small standard deviation. Although relatively little variability was also observed in the session LT percentages of participant #1 (Zoe), which ranged from 45.05 (at S7) to 67.52 (at S1) ($M = 54.15\%$, $SD = 8.44$).

In contrast, the gaze rates of participants #4 (Jane), #8 (John), and #9 (Tim), whose mean LT percentages were close to Zoe's (52.69, 47.59 and 58.27, respectively) were much less consistent across the different sessions they individually performed (with respective standard deviations of 23.43, 18.24, and 25.14). Participant #9 (Tim) had the widest range of LT

percentages: from only 25.78 in the 4th session, up to 94.03 in the 1st one, which is the highest gaze rate measured in the PIMD individuals.

Nevertheless, some variability was also found in the control group, whose LT percentages ranged from 27.22 to 97.53. With a total mean LT percentage of 75.82 ($SD = 17.28$), it seemed that the variability observed within the control group was very close to the PIMD participants' intra-individual variability (with a tendency for the latter to be slightly lower). Finally, it should be noted that two PIMD participants have a mean LT percentage very similar to that of the control group: these are #2 (Nina) ($M = 70.28$, $SD = 15.10$), and #7 (Mike) ($M = 71.23$, $SD = 19.32$).

Table 2. Preliminary analyses: descriptive statistics of looking times (LT) of the nine PIMD participants and the control group (session percentages, means, standard deviations, and ranges).

Participant	LT percentage ¹ at each session performed								Mean (SD)		Range
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8			
# 1 Zoe	67.52	50.23	54.09	49.69	65.45	45.66	45.05	55.49	54.15	(8.44)	45.05–67.52
# 2 Nina	73.29	51.24	69.07	85.77	70.74	75.35	90.20	46.61	70.28	(15.10)	46.61–90.20
# 3 Suzan	55.14	24.61	67.60	17.51	41.78				41.33	(20.79)	17.51–67.60
# 4 Jane	54.66	83.15	61.24	45.41	18.96				52.69	(23.43)	18.96–83.15
# 5 Betty	24.06	27.68	35.28	26.02	33.04				29.22	(4.76)	24.06–35.28
# 6 Elise	15.09	48.88	51.96	30.39	20.80				33.41	(16.49)	15.09–51.96
# 7 Mike	78.37	29.56	89.08	86.12	59.27	76.46	69.18	81.82	71.23	(19.32)	29.56–89.08
# 8 John	52.30	22.30	57.11	37.04	69.20				47.59	(18.24)	22.30–69.20
# 9 Tim	94.03	46.14	64.49	25.78	60.90				58.27	(25.14)	25.78–94.03
Control Group ($n = 32$)									75.82	(17.28)	27.22–97.53

¹. Calculated as the proportion of time spent looking at the presentation screen over the session duration.

4.4.1.2. Effects of block presentation (order and fatigue) and task content

For the different effects tested, focusing first on those related to the presentation of the blocks (see [Table 3](#)), we observed that the repeated measures ANOVA performed to test the order effect was significant only in one PIMD individual: participant #1 (Zoe), $F(5,35) = 3.442$, $p = .012$. A post-hoc analysis (Tukey HSD tests) revealed that, on average, Zoe tended to look significantly longer at the 4th block presented to her (highest mean LT percentage: 63.94, $SD = 12.83$) than the 5th one (lowest mean LT percentage: 44.48, $SD = 9.2$), $p = .018$.

A contrast analysis testing for a possible fatigue effect during the completion of the sessions (comparing the individual LT percentages on the first two blocks presented with those on the last two) was also significant in only one PIMD individual: participant #4 (Betty). However, this was not a fatigue effect since Betty tended to look significantly longer at the last

two blocks ($M = 46.89\%$, $SD = 11.95$) than at the first two ($M = 16.61\%$, $SD = 6.79$), $t(4) = -3.838$, $p = .018$.

Consistent with the results for most PIMD participants, neither the order effect nor the fatigue effect was significant in the control group.

Table 3. Mean percentage (and standard deviation) of looking times (LT) at each of the 6 blocks composing a session of both the nine PIMD participants and the control group, and statistical analyses for the two presentation effects (order and fatigue).

Participant	N	Mean LT percentage ¹ (SD)						Presentation effects	
		Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	Order ²	Fatigue ³
# 1 Zoe	8	61.83 (8.74)	49.90 (14.41)	52.08 (13.56)	63.94 (12.83)	44.48 (9.2)	57.31 (17.7)	$F(5,35) = 3.442^*$	$t(7) = 0.940$
# 2 Nina	8	73.80 (13.41)	72.69 (18.2)	68.97 (15.67)	72.56 (18.19)	70.13 (28.57)	67.60 (28.58)	$F(5,35) = 0.192$	$t(7) = 0.614$
# 3 Suzan	5	51.64 (31.67)	35.68 (37.48)	52.92 (26.47)	35.29 (15.66)	35.29 (20.92)	35.93 (22.1)	$F(5,20) = 1.288$	$t(4) = 0.870$
# 4 Jane	5	54.25 (32.83)	49.29 (26.32)	59.55 (22.66)	49.03 (37.88)	41.94 (35.02)	55.04 (26.49)	$F(5,20) = 0.438$	$t(4) = 0.300$
# 5 Betty	5	20.03 (12.62)	13.20 (9.09)	27.91 (11.16)	37.90 (22.12)	46.08 (41.01)	47.71 (33.46)	$F(5,20) = 1.455$	$t(4) = -3.838^*$
# 6 Elise	5	45.30 (33.26)	26.96 (13.77)	19.82 (10.53)	28.72 (26.5)	44.97 (34.25)	36.22 (28.81)	$F(5,20) = 1.202$	$t(4) = -0.669$
# 7 Mike	8	69.62 (29.64)	74.99 (19.71)	67.28 (18.32)	78.99 (25.24)	76.298 (30.05)	57.21 (21.78)	$F(5,35) = 1.466$	$t(7) = 1.251$
# 8 John	5	33.66 (23.14)	46.37 (25.62)	46.08 (18.69)	57.67 (28.65)	52.46 (22.12)	45.55 (14.23)	$F(5,20) = 1.356$	$t(4) = -2.499$
# 9 Tim	5	69.71 (16.37)	51.65 (32.33)	60.83 (26.26)	55.87 (32.78)	60.03 (30.12)	49.88 (29.96)	$F(5,20) = 1.213$	$t(4) = 0.750$
CG ($n = 32$)		72.98 (22.03)	78.44 (23.66)	76.59 (24.30)	72.43 (27.07)	74.80 (22.72)	77.96 (23.70)	$F(5,155) = 0.601$	$t(31) = -0.237$

¹. Calculated as the time spent looking at the screen during the presentation of each block at the different sessions performed divided by the blocks' duration.

². Main effect of the order of presentation of the six blocks tested using within-subject repeated measure ANOVAs.

³. Fatigue effect tested using contrast analyses comparing the individual mean LT percentages on the first two blocks presented vs. the last two.

* $p < .05$.

Regarding the effect of the content, the ANOVA conducted to test whether gaze rates depended on the visual stimuli specific to each block was significant for two PIMD participants as well as for the control group (see [Table 4](#)). Participant #4 (Jane) spent less time on average looking at the stimuli from the PL-Task ($M = 32.33\%$, $SD = 22.74$) than those from the SO-Task ($M = 63.29\%$, $SD = 18.69$), $F(5,20) = 3.379$, $p = .023$. Participant #7 (Mike) spent, on average, less time looking at the PL-Task ($M = 52.47\%$, $SD = 16.28$) than at both the SO-Task ($M = 78.46\%$, $SD = 31.94$) and the RJ-Task ($M = 82.24\%$, $SD = 22.95$), $F(5,35) = 3.104$, $p = .02$. Finally, TD children spent significantly more time looking at the stimuli from the SO-Task ($M = 80.87\%$, $SD = 17.0$) than at the pair of happy and angry female faces ($M = 68.16\%$, $SD = 25.03$), $F(5,155) = 2.958$, $p = .014$.

Table 4. Mean percentage (and standard deviation) of looking times (LT) on each of the 6 tasks composing a session of both the nine PIMD participants and the control group, and statistical analyses testing the main effect of the content, using within-subject repeated measures ANOVAs

Participant	N	Mean LT percentage ¹ (SD)						Content effect
		PL-Task	SO-Task	Female faces	Male faces	RJA-Task	SME-Task	
# 1 Zoe	8	56.48 (17.50)	57.83 (15.69)	45.93 (10.80)	55.44 (14.76)	49.73 (12.02)	64.13 (9.10)	$F(5,35) = 2.241$
# 2 Nina	8	65.85 (22.97)	69.12 (17.77)	77.43 (15.47)	71.55 (20.58)	64.94 (15.21)	76.85 (29.21)	$F(5,35) = 1.036$
# 3 Suzan	5	46.97 (26.34)	30.03 (17.24)	45.11 (9.97)	52.50 (32.94)	38.94 (26.60)	33.21 (37.45)	$F(5,20) = 1.267$
# 4 Jane	5	32.33 (22.74)	63.29 (18.69)	37.58 (26.29)	59.81 (31.64)	60.71 (31.48)	55.36 (35.29)	$F(5,20) = 3.379^*$
# 5 Betty	5	23.84 (13.81)	24.26 (9.80)	31.07 (26.0)	39.66 (20.48)	15.04 (13.14)	58.94 (42.94)	$F(5,20) = 1.90$
# 6 Elise	5	45.35 (38.27)	36.90 (21.96)	20.96 (9.31)	20.11 (14.37)	35.98 (21.61)	42.68 (36.68)	$F(5,20) = 1.347$
# 7 Mike	8	52.47 (16.28)	78.46 (31.94)	67.40 (24.67)	69.03 (23.89)	82.24 (22.95)	74.76 (18.67)	$F(5,35) = 3.104^*$
# 8 John	5	49.62 (20.24)	47.89 (19.70)	44.37 (24.13)	36.76 (24.62)	57.79 (28.46)	45.37 (19.11)	$F(5,20) = 0.913$
# 9 Tim	5	55.44 (24.51)	57.0 (23.73)	62.36 (30.98)	46.82 (30.46)	65.81 (31.39)	60.54 (29.94)	$F(5,20) = 0.975$
CG ($n = 32$)		69.55 (27.51)	80.87 (17.0)	68.16 (25.03)	77.57 (17.68)	80.31 (26.41)	76.75 (25.40)	$F(5,155) = 2.958^*$

¹. Calculated as the time spent looking at the screen during each task's completion at the different sessions performed divided by the tasks' duration.

* $p < .05$.

In addition, it is interesting to note that the individual gaze rates presented above are related to scores on the attentional skills subscale of the ECT questionnaire (measured through items such as "Voluntarily directs attention 'to a person' or 'to an object of interest'" and "Maintains sustained attention"). Pearson correlations then showed that attentional skills were significantly associated with the mean LT percentage in each session ($r = .454$) and with the mean LT percentage in the following tasks ($p < .05$): PL-Task ($r = .328$), SO-Task ($r = .539$), emotional faces ($r = .262$), RJA-Task ($r = .439$) and SME-Task ($r = .312$).

4.4.1.3. Visual exploration symmetry

In most eye-tracking studies, participants are assumed to be able to explore the entire screen surface based on their calibration output, but as we opted for a low-demand procedure (only 3 successful points) in order to maintain participants' attention, the analysis of the distribution of fixations on the screen during both the opening cartoon and the final animation completes and strengthens this undemanding procedure by providing additional information regarding participants' visual exploration symmetry.

Overall, the fixations of both the control group and the PIMD participants were symmetrically distributed over the entire screen surface, resulting in small differences between the percentages of fixations on the left and right side of the screen, as well as between on the upper and lower part of it. Differences greater than 10% were observed in only two individuals. Participant #7 (Mike) showed the highest difference between his visual exploration of the left vs. right side of the screen (respective mean fixation percentages: 55.5 vs. 44.5%, $SD = 3.23$).

Regarding the visual exploration of the upper versus lower part of the screen, the greatest difference in fixation percentages was shown by participant #8 (John) ($M = 56.2$ vs. 43.8% respectively, $SD = 2.94$). This result appears to be consistent with calibration outputs indicating that the completion of this 3-point procedure was systematically problematic with participant #8 (John) (e.g., recurrent insufficient data collected for each calibration point, often remaining poorly accurate even once validated).

4.4.2. Visual preference in the six social-emotional abilities

4.4.2.1. Biological vs. non-biological motion

The control group showed no visual preference for biological or non-biological motion. Although TD children tended to look slightly longer at biological motion than at non-biological (51.75 vs. 48.25% , $SD = 23.62$), this difference was not significant [$t(58) = 0.568$, $p = .572$]. Similarly, the difference between the LT percentages for the two types of stimuli of the PL-Task was not significant for any of the PIMD individuals. However, the same tendency to look longer at biological motion was found in seven of them. Only participants #3 (Suzan) and #8 (John) showed the opposite pattern, resulting in higher LT percentages on non-biological motion. Results are detailed in [Table 5](#).

Table 5. Mean (and SD) looking times (raw and percentage) at each of the two stimuli of the PL-Task (i.e., biological vs. non-biological motion), consisting of two 20-second trials, of the control group and the nine PIMD participants.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT percentages	
		Biological motion		Non-biological motion		Biological motion		Non-biological motion		<i>t(n-1)</i>	<i>p</i>
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)		
Control group ($n = 30^1$)	59	8.305	(4.653)	7.021	(3.737)	51.75	(23.62)	48.25	(23.62)	0.568	.572
Participant #											
# 1 Zoe	16	5.857	(3.631)	5.199	(3.423)	53.01	(24.26)	46.99	(24.26)	0.497	.626
# 2 Nina	16	6.761	(4.441)	6.812	(5.139)	51.74	(27.48)	48.26	(27.48)	0.253	.804
# 3 Suzan	10	2.519	(2.163)	6.364	(5.657)	35.68	(35.03)	64.32	(35.03)	-1.293	.228
# 4 Jane	6	5.832	(4.193)	2.655	(2.886)	60.71	(37.79)	39.29	(37.79)	0.694	.519
# 5 Betty	8	3.725	(3.850)	1.659	(1.535)	60.55	(34.82)	39.45	(34.82)	0.857	.420
# 6 Elise	10	5.070	(6.318)	4.254	(6.226)	50.59	(43.24)	49.41	(43.24)	0.043	.967
# 7 Mike	16	4.715	(2.747)	5.516	(4.431)	52.71	(27.16)	47.29	(27.16)	0.399	.695
# 8 John	10	4.781	(4.497)	4.725	(4.598)	48.15	(38.07)	51.85	(38.07)	-0.153	.881
# 9 Tim	9	5.696	(3.586)	6.174	(6.082)	54.85	(29.24)	45.15	(29.24)	0.498	.632

¹. Data from two TD children were excluded from the analyses; the remaining sample consisted of 30 TD children (12 girls, 18 boys) aged 12 to 36 months ($M = 23.03$, $SD = 7.42$).

4.4.2.2. Socially salient vs. non-social scenes

The control group showed a visual preference for socially salient stimuli [$t(247) = 15.891, p < .001$]. Among the PIMD individuals, this same preference was found in two participants: #1 (Zoe) looked longer at social than at non-social scenes (60.74 vs. 39.26%, $SD = 25.45$; $t(63) = 3.378, p = .001$), as did #8 (John), with respective LT percentages of 70.85 and 29.15 ($SD = 28.02$), $t(37) = 4.587, p < .001$. Despite non-significant differences, four PIMD individuals exhibited the same tendency as the TD children to look slightly longer at social stimuli: participants #2 (Nina), #4 (Jane), #6 (Elise), and #7 (Mike). Finally, participants #3 (Suzan), #5 (Betty), and #9 (Tim) showed the opposite pattern, resulting in higher LT percentages on non-social scenes. Results are detailed in [Table 6](#).

Table 6. Mean (and *SD*) looking times (raw and percentage) at each of the two stimuli of the SO-Task (i.e., social vs. non-social scenes), consisting of eight 5-second trials, of the control group and the nine PIMD participants.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT	
		Social scenes		Non-social scenes		Social scenes		Non-social scenes		percentages	
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>t</i> (<i>n-1</i>)	<i>p</i>
Control group (<i>n</i> = 32)	248	3.589	(1.431)	1.254	(1.239)	74.27	(24.05)	25.73	(24.05)	15.891	< .001
Participant #											
# 1 Zoe	64	1.907	(1.136)	1.327	(1.054)	60.74	(25.45)	39.26	(25.45)	3.378	.001
# 2 Nina	56	1.976	(1.659)	1.925	(1.653)	51.97	(33.88)	48.03	(33.88)	0.436	.665
# 3 Suzan	25	0.824	(0.909)	1.294	(1.480)	48.25	(40.72)	51.75	(40.72)	-0.215	.831
# 4 Jane	39	1.674	(1.685)	1.930	(1.983)	53.35	(37.97)	46.65	(37.97)	0.551	.585
# 5 Betty	22	1.302	(1.591)	1.137	(1.164)	49.85	(37.89)*	50.15	(37.89)*	-0.019	.985
# 6 Elise	29	1.483	(1.635)	1.248	(1.250)	50.01	(39.40)	49.99	(39.40)	0.002	.998
# 7 Mike	60	2.301	(1.725)	2.495	(1.807)	50.12	(32.80)	49.88	(32.80)	0.028	.978
# 8 John	38	1.845	(1.514)	0.645	(0.823)	70.85	(28.02)	29.15	(28.02)	4.587	< .001
# 9 Tim	35	1.504	(1.468)	1.759	(1.657)	47.53	(37.12)	52.47	(37.12)	-0.394	.696

* Since the distribution of these variables was not normal (Shapiro-Wilk W -test = 0.873, $p = .009$), a non-parametric Wilcoxon matched-pair test was performed to compare them, which also turned out to be non-significant ($Z = 0.097, p = .922$).

4.4.2.3. Facial area of the eye vs. the mouth

The control group showed a significant difference in visual scanning of facial features, with a preference for the eye area over the mouth (71.19 vs. 28.81%, $SD = 25.71$; $t(122) = 9.142, p < .001$) of male and female emotional (happy and angry) faces (regardless of emotion and gender). In the PIMD participants, this visual preference was also found in four individuals: on average, participants #2 (Nina), #5 (Betty), #7 (Mike), and #9 (Tim) all looked significantly longer at the eye area (63.91, 80.3, 61.34, and 70.54%, respectively) than at the mouth (36.09, 19.7, 38.66, and 29.46%, respectively). Furthermore, among the five participants where the difference was not significant, none showed the opposite pattern: all PIMD individuals tended to look longer at the eyes than at the mouth area. Results are detailed in [Table 7](#).

Table 7. Mean (and *SD*) looking times (raw and percentage) at each of the two facial AOIs (i.e., eye vs. mouth areas) of the control group and the nine PIMD participants recorded during the repeated presentation (four 20-second trials) of pairs of male and female happy and angry faces.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT percentages	
		Eye area		Mouth area		Eye area		Mouth area			
		<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>t(n-1)</i>	<i>p</i>
Control group (<i>n</i> = 32)	123	4.573	(3.352)	1.969	(2.400)	71.19	(25.71)	28.81	(25.71)	9.142	< .001
Participant #											
# 1 Zoe	31	0.790	(0.637)	0.805	(0.953)	55.58	(28.63)	44.42	(28.63)	1.086	.286
# 2 Nina	30	2.012	(1.482)	1.371	(1.358)	63.91	(24.16)	36.09	(24.16)	3.153	.004
# 3 Suzan	12	0.446	(0.480)	0.314	(0.347)	66.94	(33.68)	33.06	(33.68)	1.742	.109
# 4 Jane	17	1.107	(1.426)	0.761	(0.996)	60.08	(32.99)	39.92	(32.99)	1.260	.226
# 5 Betty	14	1.321	(1.490)	0.251	(0.447)	80.30	(19.74)	19.70	(19.74)	5.745	< .001
# 6 Elise	16	0.247	(0.245)	0.187	(0.220)	58.37	(31.65)	41.63	(31.65)	1.058	.307
# 7 Mike	31	2.062	(1.704)	1.424	(1.348)	61.34	(23.06)	38.66	(23.06)	2.738	.010
# 8 John	15	0.647	(0.698)	0.514	(0.661)	56.49	(35.65)	43.51	(35.65)	0.705	.492
# 9 Tim	13	1.691	(2.121)	0.449	(0.400)	70.54	(29.83)	29.46	(29.83)	2.483	.029

4.4.2.4. Happy vs. angry faces

The control group showed a significant difference in emotion discrimination, with a visual preference for angry faces over happy faces (56.77 vs. 43.23%, *SD* = 16.57), $t(124) = 4.57$, $p < .001$. No significant difference was found in the LT percentages on any pair of emotional faces in PIMD individuals. However, the majority (five participants) showed a similar tendency to spend more time looking at angry faces, while only four of them showed the opposite pattern. Results are detailed in [Table 8](#).

Table 8. Mean (and *SD*) looking times (raw and percentage) at each of the two emotional expressions (i.e., angry and happy faces) of the control group and the nine PIMD participants recorded during the repeated presentation (four 20-second trials) of pairs of male and female happy and angry faces.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT percentages	
		Angry face		Happy face		Angry face		Happy face			
		<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>M</i>	<i>(SD)</i>	<i>t</i> (<i>n</i> -1)	<i>p</i>
Control group (<i>n</i> = 32)	125	6.702	(3.554)	5.021	(2.828)	56.77	(16.57)	43.23	(16.57)	4.570	< .001
Participant #											
# 1 Zoe	32	2.750	(1.817)	2.959	(2.311)	49.29	(28.65)	50.71	(28.65)	-0.139	.890
# 2 Nina	32	5.934	(3.843)	3.930	(2.747)	57.52	(25.67)	42.48	(25.67)	1.657	.108
# 3 Suzan	15	1.297	(1.280)	2.232	(1.920)	43.19	(38.46)	56.81	(38.46)	-0.686	.504
# 4 Jane	17	2.705	(2.404)	2.768	(2.269)	46.81	(34.19)	53.19	(34.19)	-0.385	.705
# 5 Betty	16	1.640	(1.907)	1.927	(3.637)	52.25	(42.18)	47.75	(42.18)	0.213	.834
# 6 Elise	17	1.008	(1.042)	1.245	(1.597)	52.60	(40.19)	47.40	(40.19)	0.267	.793
# 7 Mike	32	4.154	(3.163)	5.409	(3.249)	43.59	(21.43)	56.41	(21.43)	-1.693	.101
# 8 John	17	2.534	(3.036)	2.406	(3.402)	52.31	(41.66)	47.69	(41.66)	0.229	.822
# 9 Tim	14	4.069	(3.869)	2.538	(2.148)	54.18	(34.27)	45.82	(34.27)	0.457	.655

4.4.2.5. Objects of joint attention vs. non-looked-at objects

The control group showed a significant difference in the amount of time spent looking at the objects that the actress was –or was not– looking at in the RJA-Task, with a visual

preference for the looked-at objects (i.e., those reflecting correct RJA behaviors) over the non-looked-at ones (57.98 vs. 42.02%, $SD = 22.96$), $t(97) = 3.424$, $p = .001$.

In PIMD individuals, this same visual preference was found in participant #2 (Nina), who showed significantly higher LT percentages on looked-at objects than on non-looked-at ones (74.38 vs. 25.62%, $SD = 35.34$), $t(16) = 2.845$, $p = .012$. Despite non-significant differences, four individuals showed the same tendency as TD children to look slightly longer at objects of joint attention: participants #1 (Zoe), #4 (Jane), #6 (Elise), and #7 (Mike). In contrast, we observed for the first time an opposite visual preference in one individual. Participant #5 (Betty) exhibited significantly higher LT percentages (averaged over only three trials) on non-looked at objects than on those reflecting RJA behaviors (89.67 vs. 10.33%, $SD = 14.8$), $t(2) = -4.641$, $p = .043$. This same pattern was also found in the LT percentages of participants #8 (John) and #9 (Tim). In addition, the data from the only four valid trials of participant #3 (Suzan) turned out to be problematic as zero visit durations were recorded on the AOI drawn around the looked-at object, thus making it impossible to calculate LT percentages for this participant. Results are detailed in [Table 9](#).

Table 9. Mean (and SD) looking times (raw and percentage) at each of the two stimuli of the RJA-Task (i.e., looked-at vs. non-looked-at objects), consisting of four 15-second trials, of the control group and the nine PIMD participants.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT percentages	
		Looked-at objects (RJA behaviors)		Non-looked-at objects		Looked-at objects (RJA behaviors)		Non-looked-at objects		<i>t(n-1)</i>	<i>p</i>
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)		
Control group ($n = 27^1$)	97	1.847	(1.208)	1.424	(1.139)	57.98	(22.96)	42.02	(22.96)	3.424	.001
Participant #											
# 1 Zoe	18	0.498	(0.467)	0.504	(0.435)	53.47	(29.86)	46.53	(29.86)	0.493	.628
# 2 Nina	17	0.787	(1.173)	0.294	(0.634)	74.38	(35.34)	25.62	(35.34)	2.845	.012
# 3 Suzan	4	0		0.056	(0.096)						
# 4 Jane	8	0.229	(0.285)	0.143	(0.204)	50.72	(44.0)	49.28	(44.0)	0.046	.964
# 5 Betty	3	0.019	(0.017)	0.314	(0.479)	10.33	(14.80)	89.67	(14.80)	-4.641	.043
# 6 Elise	6	0.147	(0.219)	0.099	(0.172)	54.45	(47.26)	45.55	(47.26)	0.231	.827
# 7 Mike	23	0.956	(1.064)	0.605	(0.636)	57.39	(34.61)*	42.61	(34.61)*	1.024	.317
# 8 John	11	0.229	(0.354)	0.312	(0.381)	43.80	(50.45)	56.20	(50.45)	-0.407	.692
# 9 Tim	4	0.408	(0.700)	0.326	(0.592)	38.61	(48.31)	61.39	(48.31)	-0.471	.670

¹. Data from five TD children were excluded from the analyses; the remaining sample consisted of 27 TD children (11 girls, 16 boys) aged 12 to 36 months ($M = 22.8$, $SD = 7.3$).

* Since the distribution of these variables was not normal (Shapiro-Wilk W -test = 0.852, $p = .003$), a non-parametric Wilcoxon matched-pair test was performed to compare them, which also turned out to be non-significant ($Z = 1.08$, $p = .28$).

4.4.2.6. Prosocial vs. antisocial behaviors and scenes

Focusing first on the final visual preference scene (cf. [Table 10](#)), we observed that the control group did not show a visual preference for either the pro-social or the anti-social puppet.

Although TD children tended to look slightly longer at the hindering puppet, which had previously impeded the climber's action, than at the helper (52.96 vs. 47.04%, $SD = 14.73$), this difference was not significant [$t(43) = -1.335$, $p = .189$]. Similarly, the difference between the LT percentages for the two puppets was not significant for any of the PIMD individuals. However, the majority (five participants) also tended to look slightly longer at the anti-social puppet, while only four of them showed the opposite pattern.

Table 10. Mean (and SD) looking times (raw and percentage) at each of the two stimuli of the SME-Task's final preference scene (i.e., prosocial – or helper – puppet vs. antisocial – or hinderer – puppet), consisting of two 15-second trials, of the control group and the nine PIMD participants.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage)				Difference in LT percentages	
		Prosocial puppet		Antisocial puppet		Prosocial puppet		Antisocial puppet		<i>t(n-1)</i>	<i>p</i>
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)		
Control group ($n = 29^1$)	44	4.829	(1.911)	5.426	(2.061)	47.04	(14.73)	52.96	(14.73)	-1.335	.189
Participant #											
# 1 Zoe	16	3.774	(2.382)	3.184	(1.799)	51.89	(23.45)	48.11	(23.45)	0.322	.752
# 2 Nina	14	5.180	(3.109)	4.777	(3.146)	49.72	(29.33)	50.28	(29.33)	-0.035	.972
# 3 Suzan	7	1.033	(1.081)	3.844	(3.902)	31.05	(33.16)	68.95	(33.16)	-1.511	.181
# 4 Jane	4	5.437	(4.162)	3.862	(4.118)	60.51	(43.58)	39.49	(43.58)	0.482	.663
# 5 Betty	4	6.606	(2.906)	3.454	(3.020)	66.0	(26.7)	34.0	(26.7)	1.199	.317
# 6 Elise	6	4.342	(3.504)	3.261	(1.649)	46.33	(37.15)	53.67	(37.15)	-0.242	.818
# 7 Mike	12	3.788	(2.026)	4.868	(1.955)	42.59	(14.97)	57.41	(14.97)	-1.714	.115
# 8 John	9	2.636	(2.575)	2.232	(1.881)	48.24	(33.35)	51.76	(33.35)	-0.158	.878
# 9 Tim	6	3.737	(2.493)	5.741	(3.648)	41.94	(27.83)	58.06	(27.83)	0.709	.510

¹. Data from three TD children were excluded from the analyses; the remaining sample consisted of 29 TD children (12 girls, 17 boys) aged 12 to 36 months ($M = 22.17$, $SD = 7.28$).

Comparing the time spent gazing at each of the two climbing scenes (cf. [Table 11](#)), we then observed a significant difference in the control group who spent, on average, more time looking at the pro-social scene (86.37%, $SD = 11.36$) than the anti-social one (77.17%, $SD = 13.91$) (regardless of their order of presentation) (independent t -test: $t(30) = 3.784$, $p < .001$). Regarding the PIMD individuals, participant #7 (Mike) showed this same visual preference: on average, he spent significantly more time looking at the pro-social climbing scene (84.92%, $SD = 14.61$) than the anti-social one (67.03%, $SD = 22.59$), $t(7) = 3.176$, $p = .016$. Moreover, this same tendency was also found in six other individuals (although the differences were not significant). Only participants #5 (Betty) and #8 (John) showed the opposite pattern, resulting in higher LT percentages on the anti-social climbing scene.

Table 11. Mean (and *SD*) looking times (raw and percentage) at each of the two climbing scenes of the SME-Task (i.e., prosocial vs. antisocial scenes) each lasting 15 seconds, of the control group and the nine PIMD participants. Differences in LT percentages were tested using independent *t*-tests.

	<i>n valid trials</i>	Raw looking times (LT) in seconds				LT in proportion (percentage) ¹				Difference in LT percentages	
		Prosocial scene		Antisocial scene		Prosocial scene		Antisocial scene		<i>t</i> (<i>n</i> -1)	<i>p</i>
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)		
Control group (<i>n</i> = 31 ²)	31	15.978	(2.101)	14.277	(2.573)	86.37	(11.36)	77.17	(13.91)	3.784	.001
Participant #											
# 1 Zoe	8	12.024	(3.113)	10.875	(3.444)	70.73	(18.31)	63.97	(20.26)	0.674	.522
# 2 Nina	8	13.050	(2.514)	10.758	(3.822)	76.77	(14.79)	63.28	(22.48)	1.750	.124
# 3 Suzan	5	8.958	(6.341)	6.187	(5.209)	49.77	(35.23)	34.37	(28.94)	2.059	.109
# 4 Jane	5	8.895	(6.861)	6.266	(5.946)	52.32	(40.36)	36.86	(34.98)	1.450	.221
# 5 Betty	5	5.494	(3.621)	7.695	(6.268)	32.32	(21.30)	45.26	(36.87)	-0.577	.595
# 6 Elise	5	7.480	(5.446)	4.141	(6.300)	44.00	(32.04)	24.36	(37.06)	1.611	.182
# 7 Mike	8	15.286	(2.630)	12.066	(4.066)	84.92	(14.61)	67.03	(22.59)	3.176	.016
# 8 John	5	8.731	(1.994)	9.522	(3.360)	51.36	(11.73)	56.01	(19.76)	-0.556	.608
# 9 Tim	5	8.776	(6.871)	6.952	(7.094)	48.75	(38.17)	38.62	(39.41)	1.709	.163

¹. Calculated as the time spent looking at each climbing scene divided by the duration of the scene.

². Data from one TD child were excluded from the analyses; the remaining sample consisted of 31 TD children (13 girls, 18 boys) aged 12 to 36 months (*M* = 22.10, *SD* = 7.16).

4.5. Discussion

4.5.1. Feasibility of the eye-tracking-based experimental paradigm

Overall, findings appeared to support the feasibility of the eye-tracking-based experimental paradigm proposed in the present study for assessing individuals with PIMD. This was first shown through the preliminary analyses conducted on the gaze rates of PIMD participants. From the very first session, seven individuals spent most of the time of the session duration looking at the screen rather than elsewhere. This suggested that the duration and content of the paradigm were quite appropriate to their attentional resources. However, by repeating the procedure, we observed that these individual gaze rates were poorly consistent and tended to vary (more or less strongly, depending on the participant) from one session to another. Such results were nevertheless expected. Indeed, this intra-individual variability has already been highlighted by numerous studies conducted in the field of severe and multiple disabilities research [5, 10, 66]. Potential causes of this wide variability include the various neurological impairments of each PIMD individual but also the somatic factors (discomfort, pain, etc.) they each may have experienced at the time they were performing an experimental session. Indeed, the lack of functional language that characterizes the PIMD population prevents these individuals from being able to communicate their desires and/or needs [6], especially during daily activities, and consequently when they were performing a session in the

framework of the present study. However, in order to limit the impact of possible somatic factors, we took a certain number of precautions beforehand. First, we decided to conduct repeated sessions (with a fixed minimum number of five) with each participant, alternating days of the week and times of the day (morning/afternoon). In addition, the experimenter systematically asked the support persons if the participant's state of health and alertness were suitable for performing a session.

Since we assumed that the more sessions a participant did, the more reliable the results would be [5], we conducted up to eight sessions with three participants who were the most available (i.e., those with the fewest care visits scheduled and thus with the most free time). Nevertheless, when we compared the mean LT percentage of these participants obtained in their first five sessions with the percentage they actually obtained after completing their eight sessions, we found very similar values: 57.4 vs. 54.15% respectively for participant #1 (Zoe), 70.02 vs. 70.28% for participant #2 (Nina), and 68.48 vs. 71.23% for participant #7 (Mike). One possible interpretation of these results would be to consider that five repetitions of the same experimental procedure may be sufficient, at least in these three specific individuals, to account for intra-individual variability. Moreover, this could probably even be generalized to other participants because, in most cases, the standard deviations of participants who only completed five sessions were quite comparable to those of these three individuals who did eight. Furthermore, the comparison of the LT percentages of the PIMD individuals with those of the control group also seemed to be consistent with these initial findings. Indeed, a similar variance was found in the mean LT percentage of the 32 TD children in the control group, thus supporting the idea that five repetitions may be sufficient to reflect a certain variability expected at an estimated equivalent developmental level.

We then focused on the composition of the experimental phase of a session (i.e., six 'blocks', each lasting just under a minute, presented successively in random order) by investigating whether there were any order and/or fatigue effects that influenced the individual LT percentages. Again, the results seemed to support the feasibility of the paradigm, since the main effect of the order of presentation of the six blocks turned out to be significant only in one PIMD individual. This isolated result differed from our predictions since we had hypothesized that each block should be explored for equivalent durations, and thus not have any significant order effect. Similarly, we expected not to observe any fatigue effect, which was investigated by comparing the mean LT percentages on the first two blocks presented with the mean LT

percentages on the last two blocks. This specific analysis was of greater importance because the presence of such a fatigue effect would imply an experimental phase that was too long for the participant's attentional abilities, and consequently a poor feasibility of our paradigm. Therefore, the fact that this effect was indeed non-significant in all nine participants definitely supported the feasibility of the paradigm.

However, compared to the other PIMD individuals, participant #5 (Betty) showed somewhat abnormal recurrent results: indeed, through the five sessions she completed, it appeared that her LT percentage tended to increase as the experimental phase progressed. It is important to underline that Betty's data set actually stood out from other individuals. Interestingly, she was the participant with the lowest mean LT percentage but also with the smallest standard deviation. In other words, Betty looked at the screen very little during her sessions and this was extremely stable across them. Based solely on her gaze rates, we would have tended to conclude that the proposed experimental paradigm was poorly suited to Betty's attentional abilities. Nevertheless, the analysis of the symmetry of her visual exploration revealed some interesting additional results: despite the very small number of fixations (due to the very short visit durations), they were distributed over the entire surface of the screen, just like the visual exploration patterns observed in the other participants. Therefore, even though Betty spent little time looking at the screen, when she did look at it, she was able to scan its entire surface. This finally supported the feasibility of the paradigm for this participant, thus highlighting the possibility of collecting valid data in the visual preference tasks with her.

To conclude, we previously opened the Results section by pointing out that the control group looked significantly more at the screen than the PIMD individuals, which could have reflected a difference in the general level of attention between the two populations studied. However, the preliminary analyses discussed above clarify this result. Although TD children focused on the screen more than the PIMD participants, analyses of the latter's gaze rates showed that there was no significant effect of block presentation order nor fatigue effect across the completion of experimental sessions. This suggests that the PIMD individuals tended to look at the screen intermittently throughout the session (and not in a decreasing manner from start to finish). This seems to indicate that their gaze was moving back and forth between the screen and 'elsewhere' (off-screen) more frequently than the control group, but then still managed to redirect their attention towards the screen during the experiment. Therefore, we can

assume that we would not measure significantly higher gaze rates with a shorter assessment paradigm.

4.5.2. Individual social-emotional abilities

The results of the analyses of visual preferences for the different tasks tested may, at first sight, seem inconclusive. Nonetheless, several relevant findings can still be highlighted from them.

First of all, one task stands out from the others by its particularly convincing results: visual scanning of facial features. Indeed, four PIMD individuals had similar results to the control group (i.e., significantly higher LT percentages at the eye area than at the mouth area). Moreover, this tendency to look longer at the eyes than the mouth was found in each of the nine PIMD participants. Thus, it is very interesting to observe that, despite their severe disabilities, all PIMD participants explored faces in a similar pattern to that already demonstrated in the TD population at different ages [46, 60]. This is probably related to the fact that, just like TD children, PIMD individuals are also highly exposed to human faces, especially in everyday tasks and daily living activities [1, 5]

Social orienting was another ability in which we also obtained significant results consistent with our predictions in the control group as well as in several PIMD participants. Indeed, this early ability of preferentially orienting to socially salient stimuli has already been observed in TD children aged between 22 and 51 months [32]. In line with these previous results, we found this preference in our control group of TD children aged, on average, 24 months. In addition, six PIMD participants showed the same tendency to look longer at the social scenes of the SO-Task, and in two of them the difference in LT percentages between the two stimuli (socially salient vs. non-social scenes) was also significant, just as for the control group. In addition, it should be noted that participant #9 (Tim) was among the three PIMD individuals who exhibited the opposite pattern (resulting in a tendency to look longer at non-social scenes). He presented autistic disorders and was first diagnosed with ASD at the age of 4. Given that the stimuli used in the present SO-Task had previously revealed significant differences in visual preferences between 20 children with ASD and a control group of 20 age-matched TD children (the latter preferring socially salient stimuli) in their original study [32], it is not surprising to find a similar reduced orienting to social scenes in Tim.

While the results of the control group on the RJA-Task were consistent with our expectations based on previous research (i.e., TD children did show a significant preference for objects looked at by the actress), this was undoubtedly the task in which PIMD participants performed the most trivially. Although one of them obtained a similar result to the control group, this was the only task where we found a significant preference for the stimulus opposite to our expectations (i.e., for the non-looked at objects) in one participant. Furthermore, this is the only task where no visit duration was recorded on either of the two compared AOIs, thus preventing the calculation of the proportion of LT in an individual. These results can partly be explained by several factors. Firstly, this is a more complex task than a 'standard' visual preference procedure. Here, for a trial to be included in the analyses, the participant did not only have to explore the two AOIs compared (located on either side of the lower part of the screen), but also, and more importantly, he or she had to look at a third one: the face of the actress (located in the center of the upper part of the screen). These requirements generate three major difficulties related to (1) the asymmetric location of the three AOIs on the screen that required fine and precise scanning of the screen, and consequently high oculomotor control; (2) the size of the AOIs: the AOIs drawn here were considerably smaller than in the tasks where they each cover half of the screen and therefore required even more accurate oculomotor movements; and [3] the distinction of the two paired stimuli: although we selected only the video of the "intense surprise" condition of the original stimuli set [49], the two identical objects presented simultaneously could only be differentiated from each other on the basis of the direction of the actress's gaze and by her expression of surprise. These two visual cues are extremely subtle, and thus potentially difficult to perceive. Moreover, these cues occurred in an AOI measuring only 450 x 350 pixels (i.e., the actress's face): therefore, differentiating between them required much higher visual abilities, especially compared to other visual preference tasks where the two stimuli presented occupied half the screen each. These difficulties resulted in a considerable drop in the measured looking times, and consequently in the limited number of valid trials for each individual.

The decrease in looking times related to the AOIs' size can similarly be seen in the outcomes of the face scanning task, where the eye and mouth areas were also delineated by very small AOIs. Although we have previously discussed the overwhelming evidence for this task, if we focus on the raw times, we can note that they are extremely low compared to the duration of the stimuli presentation. It is actually for this reason (i.e., insufficient data) that we did not formulate any hypotheses about potential interaction effects between the exploration of

facial features and the emotional expression of the face, despite the fact that previous works have highlighted differences in the visual scanning of faces according to the emotions they express [60, 67]. Moreover, regarding emotion discrimination, the task was unexpectedly rather inconclusive in PIMD individuals where no significant difference was observed, whereas children in the control group exhibited a visual preference for angry faces. This skill has been little investigated in 2-year-old TD children before [68], thus it is interesting to find that they spent significantly more time looking at angry faces compared to happy ones. This same tendency was, nevertheless, also manifested by six PIMD individuals, representing more than half of them. One might assume that both TD infants and participants with PIMD are more exposed to smiling faces than to angry ones, which would indicate a reaction to novelty here [69].

Finally, the two remaining tasks did not reveal any significant results in the control group or in the PIMD individuals. Regarding firstly the visual processing of biological motion, we had hypothesized significant differences between the LT percentages on the two types of stimuli, specifically expecting to find a visual preference for biological motion. Such a result was not observed in any of the PIMD individuals, however it is comforting to note that neither did the TD children statistically look at one of the two stimuli longer than the other. This is again an interesting finding since the sensibility to biological motion has already been investigated in TD newborns [38] as well as in older children and in adults [70] but no study had previously explored this ability in infants of the age range of our control group.

Secondly, similar findings were observed regarding socio-moral evaluations. Nevertheless, their interpretation requires considering that the “Climbing the hill” paradigm combined with a visual preference procedure as used in the present study has previously been implemented only with 12 TD infants aged 3 months, where it revealed a preference for prosocial behaviors [71]. Indeed, although prosocial preferences have already been observed in older TD children (notably aged 24-36-month-olds), this has been done using different paradigms (e.g., “Playing a ball game”) and testing methods (e.g., manual choice) [72]. Moreover, some works have also observed opposite results: for example, by using the “Retrieving a dropped ball” paradigm, Hamlin (2014) found a preference (manifested through reaching behaviors) for anti-social behaviors in 27-month-old TD children [73]. Finally, the task used in the present study does not correspond to a ‘standard’ visual preference procedure since it is actually directly related to the quality of the visual exploration of the two successive

climbing scenes that preceded it. Therefore, we also decided to compare the time spent looking at each of these two climbing scenes to determine whether one of them had been gazed at longer than the other. This new analysis revealed a significant difference in the control group and in a PIMD individual: in both cases, the antisocial scene was gazed at statistically longer than the prosocial one. This finding could be explained by the fact that this scene would constitute a violation of one's expectations, thus attracting more attention [50]. This pattern was also found in the majority (seven out of nine) of the PIMD participants, supporting this potential explanation.

4.5.3. General conclusion

In conclusion, the results support the feasibility and the relevance of eye-tracking as a new theoretical and practical framework in the study of profound intellectual and multiple disabilities. Overall, individuals responded with good visual attention to the experimental content, resulting in high looking rates from the very first session performed that were not affected by the presentation of the tasks or their content. However, only a few individual patterns of visual preference were found to be similar to those of the control group, limiting the comparison between the two populations studied and therefore the interpretation of individual results.

The main limitation of this study concerns the method used. Indeed, the major limitation of the visual preference procedure is that when there is no statistically significant difference in the time participants spend looking at each of the two paired stimuli presented simultaneously, no conclusion can be drawn. Indeed, equivalent durations do not shed light on whether or not the person has perceived that they were different from each other because it is possible that the person can distinguish between them without showing a visual preference. This is, for example, what we observed with the results of the control group in the PL-task: although the TD infants were able to discriminate human movements from other non-biological motions for a long time (as early as a couple of days after birth), they did not exhibit any preference here. This limitation especially affected the interpretation of the results of the PIMD individuals, whose looking times were very rarely found to be significantly different. Therefore, using assessment instruments based solely on a visual preference procedure may suffer from a sensitivity limitation as they may not detect a skill that exists in an individual with PIMD.

Finally, an interesting perspective would be to develop computer-based trainings tailored on individual strengths and weaknesses to explore the learning potential abilities of these individuals. Because of the scarce significant results observed, we have, at this stage, only been able to establish the visual preference patterns of each individual in response to the different stimuli presented, whereas the implementation of such trainings would allow us to go much further by providing knowledge about the perceptual learning process of PIMD individuals. According to Gibson's (1969) ecological approach to perception, perceptual learning is the means of discovering distinctive features and invariant properties of objects and events by extracting meaningful information from the environment to guide actions adaptively [74]. This specific and implicit type of early learning occurs at different levels of information processing. Distinguishing objects from their background, detecting their basic features (color, form, motion), location, or spatial relationships, as well as being able to identify and recognize them involve a wide range of cognitive functions (e.g., attention, visual discrimination, categorization) [75]. Hence, through daily exposure to repeated perceptual events associated with subjective experience, PIMD individuals may have developed unsuspected cognitive skills that cannot be assessed with existing evaluation methods and instruments but that eye-tracking-based training programs could help to identify, thus contributing to better understanding the perceptual learning process in this population. This would be particularly important for the support persons who work with individuals with PIMD, in whom progress may be slow and difficult to detect, and for whom delay of regression may be regarded as a positive outcome [2], providing them with directions to improve their assistance work.

4.6. References

1. Nakken H, Vlaskamp C. Joining Forces: Supporting Individuals with Profound Multiple Learning Disabilities. *Tizard Learning Disability Review*. 2002;7(3):10–5. <https://doi.org/10.1108/13595474200200023>
2. Nakken H, Vlaskamp C. A Need for a Taxonomy for Profound Intellectual and Multiple Disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*. 2007;4(2):83–7. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2007.00104.x>
3. Janicki MP, Dalton AJ. Sensory impairments among older adults with intellectual disability. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*. 1998;23(1):3–11. <https://doi.org/10.1080/13668259800033541>
4. van Timmeren EA, van der Putten AA, van Schroyen Lantman-de Valk HM, van der Schans CP, Waninge A. Prevalence of reported physical health problems in people with

- severe or profound intellectual and motor disabilities: a cross-sectional study of medical records and care plans. *Journal of Intellectual Disability Research*. 2016;60(11):1109–18. <https://doi.org/10.1111/jir.12298>
5. Vlaskamp C. Assessing People with Profound Intellectual and Multiple Disabilities. In: Hogg JL, A., editor. *Assessing Adults with Intellectual Disabilities: A Service Providers' Guide*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2005. pp. 152–63.
 6. Vlaskamp C, Hiemstra SJ, Wiersma LA. Becoming aware of what you know or need to know: Gathering client and context characteristics in day services for persons with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*. 2007;4(2):97–103.
 7. Grove N, Bunning K, Porter J, Olsson C. See What I Mean: Interpreting the Meaning of Communication by People with Severe and Profound Intellectual Disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*. 1999;12(3):190–203. <https://doi.org/10.1111/j.1468-3148.1999.tb00076.x>
 8. Visser L, Ruiter SAJ, van der Meulen BF, Ruijsenaars WAJ, Timmerman ME. Accommodating the Bayley-III for Motor and/or Visual Impairment: A Comparative Pilot Study. *Pediatric Physical Therapy*. 2014;26(1):57–67. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000004>
 9. Carnaby S. Developing Good Practice in the Clinical Assessment of People With Profound Intellectual Disabilities and Multiple Impairment. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*. 2007;4(2):88–96. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2007.00105.x>
 10. Lima M, Silva K, Amaral I, Magalhaes A, de Sousa L. Beyond behavioural observations: a deeper view through the sensory reactions of children with profound intellectual and multiple disabilities. *Child Care Health and Development*. 2013;39(3):422–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2011.01334.x>
 11. Vlaskamp C, Cuppen-Fontaine H. Reliability of assessing the sensory perception of children with profound intellectual and multiple disabilities: a case study. *Child Care Health and Development*. 2007;33(5):547–51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2007.00776.x>
 12. Cannella HI, O'Reilly MF, Lancioni GE. Choice and preference assessment research with people with severe to profound developmental disabilities: a review of the literature. *Research in Developmental Disabilities*. 2005;26(1):1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2004.01.006>
 13. Vlaskamp C. Interdisciplinary Assessment of People with Profound Intellectual and Multiple Disabilities. In: Hogg JL, A., editor. *Assessing Adults with Intellectual Disabilities: A Service Providers' Guide*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2005. pp. 39–51.
 14. Green CW, Reid DH, White LK, Halford RC, Brittain DP, Gardner SM. Identifying reinforcers for persons with profound handicaps: staff opinion versus systematic assessment of preferences. *Journal of Applied Behavior Analysis*. 1988;21(1):31–43. <https://doi.org/10.1901/jaba.1988.21-31>

15. Green CW, Reid DH, Canipe VS, Gardner SM. A comprehensive evaluation of reinforcer identification processes for persons with profound multiple handicaps. *Journal of Applied Behavior Analysis*. 1991;24(3):537–52. <https://doi.org/10.1901/jaba.1991.24-537>
16. Ivancic MT, Bailey JS. Current limits to reinforcer identification for some persons with profound multiple disabilities. *Research in Developmental Disabilities*. 1996;17(1):77–92. [https://doi.org/10.1016/0891-4222\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0891-4222(95)00038-0)
17. Wessels MD, van der Putten AJ. Assessment in people with PIMD: Pilot study into the usability and content validity of the Inventory of the personal Profile and Support. *Cogent Psychology*. 2017;4(1):e1340082. <https://doi.org/10.1080/23311908.2017.1340082>
18. Saunders MD, Saunders RR. Innovation of a reinforcer preference assessment with the difficult to test. *Research in Developmental Disabilities*. 2011;32(5):1572–9. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.049>
19. Woodhouse JM, Griffiths C, Gedling A. The prevalence of ocular defects and the provision of eye care in adults with learning disabilities living in the community. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2000;20(2):79–89. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2000.00491.x>
20. Saunders MD, Saunders RR, Mulugeta A, Henderson K, Kedzierski T, Hekker B, et al. A novel method for testing learning and preferences in people with minimal motor movement. *Research in Developmental Disabilities*. 2005;26(3):255–66. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2004.03.002>
21. Spevack S, Yu CT, Lee MS, Martin GL. Sensitivity of Passive Approach during Preference and Reinforcer Assessments for Children with Severe and Profound Intellectual Disabilities and Minimal Movement. *Behaviour Intervention*. 2006;21(3):165–75. <https://doi.org/10.1002/bin.216>
22. Colombo J, Mitchell DW. Infant visual habituation. *Neurobiology of Learning and Memory*. 2009;92(2):225–34. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.06.002>
23. Munde VS, Vlaskamp C, Ruijsenaars AJ, Nakken H. Alertness in individuals with profound intellectual and multiple disabilities: a literature review. *Research in Developmental Disabilities*. 2009;30(3):462–80. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2008.07.003>
24. Fantz RL. Pattern Vision in Newborn Infants. *Science*. 1963;140(3564):296–7. <https://doi.org/10.1126/science.140.3564.296>
25. Chard M, Roulin J-L, Bouvard M. Visual Habituation Paradigm With Adults With Profound Intellectual and Multiple Disabilities: A New Way for Cognitive Assessment? *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*. 2014;27(5):481–8. <https://doi.org/10.1111/jar.12079>
26. Sheliga BM, Riggio L, Rizzolatti G. Orienting of attention and eye movements. *Experimental brain research*. 1994;98(3):507–22. <https://doi.org/10.1007/BF00233988>

27. Holmqvist K, Nyström M, Andersson R, Dewhurst R, Jarodzka H, Van de Weijer J. Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. Oxford, UK: Oxford University Press; 2011.
28. Palama A, Malsert J, Gentaz E. Are 6-month-old human infants able to transfer emotional information (happy or angry) from voices to faces? An eye-tracking study. PLoS ONE. 2018;13(4):e0194579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194579>
29. Palama A, Malsert J, Grandjean D, Sander D, Gentaz E. The cross-modal transfer of emotional information from voices to faces in 5-, 8- and 10-year-old children and adults: An eye-tracking study. Emotion. 2020;22(4):725–39. <https://doi.org/10.1037/emo0000758>
30. Falck-Ytter T, Bölte S, Gredebäck G. Eye tracking in early autism research. Journal of Neurodevelopmental Disorders. 2013;5(28). <https://doi.org/10.1186/1866-1955-5-28>
31. Pierce K, Conant D, Hazin R, Stoner R, Desmond J. Preference for Geometric Patterns Early in Life as a Risk Factor for Autism. Archives of General Psychiatry. 2011;68(1):101–9. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.113>
32. Franchini M, Wood de Wilde H, Glaser B, Gentaz E, Eliez S, Schaer M. Brief Report: A Preference for Biological Motion Predicts a Reduction in Symptom Severity 1 Year Later in Preschoolers with Autism Spectrum Disorders. Frontiers in Psychiatry. 2016;7(143). <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2016.00143>
33. Forssman L, Ashorn P, Ashorn U, Maleta K, Matchado A, Kortekangas E, et al. Eye-tracking-based assessment of cognitive function in low-resource settings. Archives of Disease in Childhood. 2017;102(4):311–5. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-310525>
34. Buffle P, Cavadini T, Posada A, Gentaz E. A study on visual preference for social stimuli in typical Ecuadorian preschoolers as a contribution to the identification of autism risk factors. Scientific Reports. 2021;11(1):8461. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87888-3>
35. Wilkinson KM, Mitchell T. Eye Tracking Research to Answer Questions about Augmentative and Alternative Communication Assessment and Intervention. Augmentative and Alternative Communication. 2014;30(2):106–19. <https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904435>
36. Karlsson P, Allsop A, Dee-Price BJ, Wallen M. Eye-gaze control technology for children, adolescents and adults with cerebral palsy with significant physical disability: Findings from a systematic review. Developmental Neurorehabilitation. 2018;21(8):497–505. <https://doi.org/10.1080/17518423.2017.1362057>
37. Pavlova MA. Biological Motion Processing as a Hallmark of Social Cognition. Cerebral Cortex. 2011;22(5):981–95. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr156>
38. Bidet-Ildei C, Kitromilides E, Orliaguet JP, Pavlova M, Gentaz E. Preference for point-light human biological motion in newborns: contribution of translational displacement. Developmental Psychology. 2014;50(1):113–20. <https://doi.org/10.1037/a0032956>

39. Johansson G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*. 1973;14(2):201–11. <https://doi.org/10.3758/BF03212378>
40. Dawson G, Meltzoff AN, Osterling J, Rinaldi J, Brown E. Children with Autism Fail to Orient to Naturally Occurring Social Stimuli. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 1998;28(6):479–85. <https://doi.org/10.1023/a:1026043926488>
41. Chevallier C, Kohls G, Troiani V, Brodtkin ES, Schultz RT. The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*. 2012;16(4):231–9. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>
42. Chita-Tegmark M. Social attention in ASD: A review and meta-analysis of eye-tracking studies. *Research in Developmental Disabilities*. 2016;48:79–93. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.011>
43. Goren CC, Sarty M, Wu PYK. Visual Following and Pattern Discrimination of Face-like Stimuli by Newborn Infants. *Pediatrics*. 1975;56(4):544–9.
44. Dawson G, Webb SJ, McPartland J. Understanding the Nature of Face Processing Impairment in Autism: Insights From Behavioral and Electrophysiological Studies. *Developmental Neuropsychology*. 2005;27(3):403–24. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2703_6
45. Farroni T, Csibra G, Simion F, Johnson MH. Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002;99(14):e9602. <https://doi.org/10.1073/pnas.152159999>
46. Grossmann T, Striano T, Friederici AD. Developmental changes in infants' processing of happy and angry facial expressions: A neurobehavioral study. *Brain and Cognition*. 2007;64(1):30–41. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.10.002>
47. Tasker SL, Schmidt LA. The “dual usage problem” in the explanations of “joint attention” and children's socioemotional development: A reconceptualization. *Developmental Review*. 2008;28(3):263–88. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.07.001>
48. Mundy P, Block J, Delgado C, Pomares Y, Van Hecke AV, Parlade MV. Individual differences and the development of joint attention in infancy. *Child Development*. 2007;78(3):938–54. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01042.x>
49. Franchini M, Glaser B, Gentaz E, Wood de Wilde H, Eliez S, Schaer M. The effect of emotional intensity on responses to joint attention in preschoolers with an autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2017;35:13–24. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.11.010>
50. Hamlin JK. Moral Judgment and Action in Preverbal Infants and Toddlers: Evidence for an Innate Moral Core. *Current Directions in Psychological Science*. 2013;22(3):186–93. <https://doi.org/10.1177/0963721412470687>
51. Hamlin JK, Wynn K, Bloom P. Social evaluation by preverbal infants. *Nature*. 2007;450(7169):557–9. <https://doi.org/10.1038/nature06288>

52. Hostyn I, Maes B. Interaction between persons with profound intellectual and multiple disabilities and their partners: a literature review. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*. 2009;34(4):296–312. <https://doi.org/10.3109/13668250903285648>
53. Ware J. *Educating Children with Profound and Multiple Learning Difficulties*. 1st ed. London, UK: Routledge; 1994.
54. Genoud PA. Indice de position socioéconomique (IPSE): un calcul simplifié [Socio-Economic Position Index (SEPI): A Simplified Calculation]. Fribourg, Switzerland: University of Fribourg; 2011.
55. Pereira Da Costa M, Scelles R. Un outil d'évaluation des compétences cognitives des jeunes polyhandicapés: le P2CJP [A questionnaire for the evaluation of cognitive skills for children with multiple functional impairments: The P2CJP]. *Alter*. 2012;6(2):110–23. <https://doi.org/10.1016/j.alter.2012.02.010>
56. Poujol AL, Boissel A, Guédon D, Guénolé N, Mellier D, Scelles R. Évaluation-Cognition-Polyhandicap (ECP): apports d'une approche qualitative dans l'élaboration et la validation d'un outil [The Cognitive Skills Assessment Scale for profound intellectual and multiple disabilities persons: The qualitative process contributions for the validation]. *Psychologie Française*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2020.09.003>
57. Ruzzo EK, Capo-Chichi J-M, Ben-Zeev B, Chitayat D, Mao H, Pappas AL, et al. Deficiency of Asparagine Synthetase Causes Congenital Microcephaly and a Progressive Form of Encephalopathy. *Neuron*. 2013;80(2):429–41. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.08.013>
58. Schleinitz D, Seidel A, Stassart R, Klammt J, Hirrlinger PG, Winkler U, et al. Novel Mutations in the Asparagine Synthetase Gene (ASNS) Associated With Microcephaly. *Frontiers in Genetics*. 2018;9(245). <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00245>
59. Engerström IW. Rett syndrome in Sweden. *Neurodevelopment-disability-pathophysiology. Acta Paediatrica Scandinavica Suppl*. 1990;369:1–60.
60. Hunnius S, de Wit TCJ, Vrans S, von Hofsten C. Facing threat: Infants' and adults' visual scanning of faces with neutral, happy, sad, angry, and fearful emotional expressions. *Cognition and Emotion*. 2011;25(2):193–205. <https://doi.org/10.1080/15298861003771189>
61. Lundqvist D, Flykt A, Öhman A. *The Karolinska Directed Emotional Faces—KDEF (CD ROM)*. Stockholm, Sweden: Department of Neurosciences, Karolinska Hospital; 1998.
62. Goeleven E, De Raedt R, Leyman L, Verschuere B. The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition & Emotion*. 2008;22(6):1094–118. <https://doi.org/10.1080/02699930701626582>
63. Caron RF, Caron AJ, Myers RS. Do infants see emotional expressions in static faces? *Child Development*. 1985;56(6):1552–60. <https://doi.org/10.2307/1130474>

64. Risko EF, Laidlaw K, Freeth M, Foulsham T, Kingstone A. Social attention with real versus reel stimuli: toward an empirical approach to concerns about ecological validity. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2012;6(143). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00143>
65. Turati C, Macchi Cassia V, Simion F, Leo I. Newborns' Face Recognition: Role of Inner and Outer Facial Features. *Child Development*. 2006;77(2):297–311. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00871.x>
66. Murphy KM, Saunders MD, Saunders RR, Olswang LB. Effects of ambient stimuli on measures of behavioral state and microswitch use in adults with profound multiple impairments. *Research in Developmental Disabilities*. 2004;25(4):355–70. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2003.10.003>
67. Dollion N, Soussignan R, Durand K, Schaal B, Baudouin J-Y. Visual exploration and discrimination of emotional facial expressions in 3-, 7- and 12-month-old infants. *Journal of Vision*. 2015;15(12):e795. <https://doi.org/10.1167/15.12.795>
68. Bayet L, Pascalis O, Gentaz E. The development of emotional facial expression discrimination by infants in the first year of life. *L'Année psychologique*. 2014;114(3):469–500. <https://doi.org/10.3917/anpsy.143.0469>.
69. Nelson CA. The Recognition of Facial Expressions in the First Two Years of Life: Mechanisms of Development. *Child Development*. 1987;58(4):889–909. <https://doi.org/10.2307/1130530>
70. Freire A, Lewis TL, Maurer D, Blake R. The Development of Sensitivity to Biological Motion in Noise. *Perception*. 2006;35(5):647–57. <https://doi.org/10.1068/p5403>
71. Hamlin JK, Wynn K, Bloom P. Three-month-olds show a negativity bias in their social evaluations. *Developmental Science*. 2010;13(6):923–9. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00951.x>
72. Scola C, Holvoet C, Arciszewski T, Picard D. Further Evidence for Infants' Preference for Prosocial Over Antisocial Behaviors. *Infancy*. 2015;20(6):684–92. <https://doi.org/10.1111/inf.12095>
73. Hamlin JK. Context-dependent social evaluation in 4.5-month-old human infants: the role of domain-general versus domain-specific processes in the development of social evaluation. *Frontiers in Psychology*. 2014;5(614). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00614>
74. Gibson EJ. *Principles of perceptual learning and development*. East Norwalk, CT, US: Appleton-Century-Crofts; 1969.
75. Raftopoulos A. *Cognition and perception: How do psychology and neural science inform philosophy?* Cambridge, MA, US: MIT Press; 2009

Chapitre 5. Étude 2 : Étude de six compétences socio-émotionnelles chez des enfants au développement typique de 1 à 3 ans à l'aide d'un dispositif d'oculométrie

Résumé de l'étude 2

La présente étude a examiné les compétences socio-émotionnelles d'enfants au développement typique de 1 à 3 ans à l'aide d'un paradigme expérimental utilisant l'oculométrie qui combinait diverses tâches de préférences visuelles tirées d'études préexistantes dans le domaine de la psychologie développementale. Six compétences d'une grande importance pour le développement ultérieur de la communication ont été étudiées, à savoir : l'attention préférentielle pour le mouvement biologique, l'orientation sociale, l'exploration des expressions faciales, la discrimination des visages émotionnels (colère vs. joie), l'attention conjointe et les évaluations socio-morales. Si le développement typique de ces capacités au cours de la première année de vie et après l'âge de 3 ans a été largement étudié par le passé, seul un nombre limité de recherches ont été menées sur la période comprise entre 1 et 3 ans. En outre, aucune étude n'a déjà testé l'ensemble de ces capacités sur un même échantillon d'enfants. Nous avons donc étudié ces capacités chez 86 enfants au développement typique âgés de 1 à 3 ans afin de déterminer si elles étaient liées à l'âge des participants mais aussi si elles étaient intercorrélées afin de fournir les premières preuves de l'existence potentielle d'un processus commun qui les sous-tendrait. Les analyses des préférences visuelles ont montré que les participants regardaient spontanément plus longtemps les mouvements biologiques (vs. non-biologiques), les stimuli socialement saillants (vs. non-sociaux), la zone des yeux (vs. de la bouche) des expressions faciales, les visages exprimant la colère (vs. la joie) et les objets faisant l'objet d'une attention conjointe (par rapport à ceux qui ne sont pas regardés par autrui). Fait intéressant, bien que la scène prosociale (vs. antisociale) de la tâche socio-morale classique du paradigme de la colline (*The Hill paradigm*) ait été préférée, les personnages aidant et entravant le grimpeur dans son action ont été regardés de la même manière lorsqu'ils étaient présentés côte à côte. Enfin, les analyses corrélationnelles ont révélé que les performances dans les différentes compétences testées n'étaient pas liées à l'âge des participants ni les unes aux autres : seule la préférence pour les stimuli socialement saillants était significativement corrélée à la préférence pour la zone des yeux des expressions faciales utilisées.

An eye-tracking study on six early social-emotional abilities in children aged 1 to 3 years²

5.1. Abstract

Background: The experimental evaluation of young children's socio-emotional abilities is limited by the lack of existing specific measures to assess this population and by the relative difficulty for researchers to adapt measures designed for the general population.

Methods: This study examined six early social-emotional abilities in 86 typically developing children aged 1 to 3 years using an eye-tracking-based experimental paradigm that combined visual preference tasks adapted from pre-existing infant studies.

Objectives: The aim of this study is to obtain developmental norms in six early social-emotional abilities in typical children aged 1 to 3 years that would be promising for an understanding of disorders of mental development. These developmental standards are essential to enable comparative assessments with children with atypical development, such as children with Profound Intellectual and Multiple Disabilities (PIMD).

Results: The participants had greater spontaneous visual preferences for biological (vs. non-biological) motion, socially salient (vs. non-social) stimuli, the eye (vs. mouth) area of emotional expressions, angry (vs. happy) faces, and objects of joint attention (vs. non-looked-at ones). Interestingly, although the prosocial (vs. antisocial) scene of the socio-moral task was preferred, both the helper and hinderer characters were equally gazed at. Finally, correlational analyses revealed that performance was neither related to participants' age nor to each other (dismissing the hypothesis of a common underpinning process).

Conclusion: Our revised experimental paradigm is possible in infants aged 1 to 3 years and thus provides additional scientific proof on the direct assessment of these six socio-emotional abilities in this population.

² Cette expérience est une reproduction de l'article : Cavadini, T., Riviere, E., & Gentaz, E. (2024). An Eye-Tracking Study on Six Early Social-Emotional Abilities in Children Aged 1 to 3 Years. *Children*, 11(8), 1031. <https://doi.org/10.3390/children11081031>

5.2. Introduction

The child's development promotes the progressive acquisition over the first few years of life of a multitude of cognitive, emotional, social, and physical abilities [1]. This development is particularly important in the first three years of life, when growth and development are rapid, and is greatly shaped by the early social-emotional interactions that the young child has with his environment [2,3]. This development involves the acquisition of social and emotional abilities that progressively enable children to interact with and adapt to their social environment, to learn from it, to regulate and communicate their emotions, and to develop socially appropriate interactions and relationships with others [1,4]. These early social-emotional abilities thus appear to be essential precursors to health, well-being, and quality of life, as well as increasing cognitive ability, success at school, and community involvement [5].

The necessity of evaluating these abilities among toddlers is therefore indisputable [6]. Nevertheless, the manner in which this assessment is carried out with this population involves a number of challenges and confronts researchers with a whole host of limitations that prevent them from obtaining a true measure of these social-emotional abilities [6]. There is a lack of studies in the literature concerning the experimental evaluation of young children's social-emotional abilities, which tends to be explained by the absence of existing specific measures for evaluating this population, which has no language and whose behavior is unpredictable and variable, as well as by the relative difficulty of researchers in adapting measures designed for the general population [7]. In light of these difficulties, the pursuit of studies seems to depend largely on researchers' ability to develop innovative methodologies that would obtain data derived directly from the social-emotional behavior of young children.

The development of communication is underpinned by various early social-emotional abilities, which, when altered, have an impact on learning. These early abilities are of major importance in social and communicative development, and among them we might mention preferential attention to biological movement, social orientation, visual exploration of human faces and discrimination of facial expressions of joy and anger, joint attention, and socio-moral evaluations. Together, they support non-verbal communication and provide appropriate social stimulation, which is essential for the development of communicative intent [8].

The first ability assessed in the current study was *Preferential attention to biological motion*, which is one of the earliest perceptual abilities involved in the development of non-verbal communication (cf. [9] for a review). Biological motion refers to the movements

produced by living vertebrate organisms that are characterized by dynamic regularities reflecting the structure and control patterns of the musculoskeletal system [10]. To investigate the ability to discriminate between biological and non-biological motion, Johansson [11] developed his “Point-Light paradigm” by strategically placing light markers on the major joints of an individual walking on a treadmill in the dark. He was thus able to model the movement of this walker as a sequence of light points moving according to human walking locomotion, which he could then present next to a second set of randomly moving points in order to test the preference for biological (vs. non-biological) motion. The human visual system is extremely responsive to others’ movements and is able to process and discriminate biological motion very quickly (100 milliseconds) [12]. Using similar paradigms, a large body of work has confirmed and demonstrated the existence of a spontaneous preference for biological over non-biological motion in humans but also in a wide range of animal species [13]. Moreover, this sensitivity appears very early in development: from the first days of life, human neonates preferentially direct their attention to this type of movement [10,14,15]. However, although this ability has already been studied in adults, children, infants of a few months of age, and newborns [16], little is known about its development between the first and third years of life.

As a continuation of the previous ability, we then decided to focus on *Social Orienting*, referring to the intrinsic ability to preferentially orient to our surrounding social environment [17]. Like preferential attention to biological motion, social orienting appears very early in development: from birth, newborns show a particular sensitivity to socially salient stimuli [18,19]. Moreover, this predisposition to orient preferentially to the social environment is of crucial importance early in social-communicative development [20]. Indeed, by orienting to peers, infants prompt further interaction, creating rich learning opportunities through reciprocal social engagement. This is supported by research in the field of autism that consistently reports impaired social orienting in children with ASD, a developmental disorder characterized by social and communicative impairments (cf. [21] for a review). Nevertheless, this ability seems to have been little studied in TD infants between the ages of 1 and 3 years.

Considering the topics already discussed, it seemed essential to us to focus next on the most salient social stimulus for humans: faces, and more precisely on the *Facial Expression Exploration* ability. From birth, newborns orient preferentially to faces rather than to any other object; as early as 9 min after birth, the newborns are already sensitive to the schematic (‘humanoid’) configuration of faces [22]. A few hours later, they are able to discriminate between very familiar faces, such as their mother’s, and unknown ones, even if they look alike

[23]. From 12 h onwards, they can recognize unfamiliar faces (to which they had only been briefly exposed) [24]. Moreover, gaze plays a very important role in newborns' early interest in faces; they look more at faces with open rather than closed eyes and also prefer to look at a face with eyes directed towards them rather than away [25]. Advances in eye-tracking technology have made it possible to study more precisely the visual exploration of internal (e.g., eyes, nose, mouth) and external (hairstyle and jaw) facial features and to demonstrate that both adults and children look at the eye area more than any other facial feature [26]. This preference has also been found in infants as young as three months of age [27], but again, there is little work after the first year of life until childhood. This specific exploration of faces plays a fundamental role in the development of social communication (cf. [28] for a review). In addition to the identity of individuals, faces provide us with relatively stable information about our social partners, allowing us to categorize a person, even an unknown one, according to different dimensions useful in social interactions (such as gender, age, or ethnicity), but also to be able to infer the affective and attentional states of others as well as their intentions, thanks to the analysis of facial features (cf. [29] for a review).

The fourth ability we examined was *Emotional Faces Discrimination*, focusing on the discrimination of anger and joy. A very large body of work has studied the typical development of discrimination in emotional facial expressions during the early years. There is a sensitivity to changes in facial expression as well as an attraction to happy faces from the first days of life (cf. [30] for a review). However, the latter is not systematically reported at that age because newborns' discrimination abilities are limited by their low visual acuity and experience and are modulated by several environmental factors (e.g., familiarity, contrast, intensity, etc.) (cf. [31] for a review). This preference for smiling faces, observed under specific conditions from birth, persists and is perfected during the first months of life. Between 3 and 6 months of age, babies are progressively able to differentiate joy from other emotional expressions: at 3 months, they discriminate the expression of joy from anger (frowning) and surprise; they then succeed in differentiating joy from sadness between 3 and 5 months, and from fear at 4 months, whereas they are able to discriminate between joy and neutral expressions as well as between joy and surprise from 5 months [30]. Finally, it is only at 6–7 months that babies are able to distinguish between expressions other than smiling [32]. In contrast, the discrimination of emotional expressions after the first year has been rarely studied in the past.

We then focused on the ability to follow the gaze of others by studying *Joint Attention*, defined as a co-created outcome of an interaction in which two individuals' shared interest in

the same object (cf. [33] for a review). This is one of the earliest mechanisms by which a child can interact and learn (cf. [34] for a review). Essential to the development of non-verbal communication, this ability emerges very early: a dyadic relationship between parent and baby begins to be established from birth through mutual gaze exchanges and will gradually increase in both quantity (number of occurrences) and quality (integration of other communication modalities such as smiles, gestures, or vocalizations) during the following first months (cf. [35] for a review). Then, between 4 and 9 months of age, infants start to initiate spontaneous joint attention behaviors aimed at directing the attention of others toward a specific target [36]. Subsequently, they diversify the use of their own visual coordination to exhibit joint attention response behaviors that are aimed at attentional sharing, such as following the parent's gaze to share a common source of interest. Thus, joint attention requires both expressive (i.e., *initiation* of joint attention behaviors) and receptive (i.e., *response* to joint attention behaviors; abbreviated here as RJA) abilities [37]. In the present study, we focused on RJA behaviors defined by Mundy et al. [36] as the ability to follow the direction of others' gaze and gestures to share a common point of reference. Autism research has shown that RJA behaviors are generally impaired in ASD children, highlighting the great importance of this ability in social-communicative development [38]. Indeed, through triadic exchanges that promote involvement in social interactions, joint attention is the precursor of pointing, intention to communicate, and language [35].

The final *Socio-Moral ability* investigated was the capacity to evaluate others based on their prosocial or antisocial actions toward others [39]. Although moral judgment (studied with verbal tasks) follows a staged development that extends from infancy to adolescence [40], its foundations may be initiated very early. Indeed, it appears that infants are able to intuitively evaluate some social interactions long before the emergence of self-awareness, language, and theory of mind [41]. By creating the "Hill paradigm" in which a puppet trying to climb a hill is either helped in its action by another character (i.e., the 'helper' with a prosocial behavior) or prevented from reaching the top by another one pushing it down (i.e., the 'hinderer' with an antisocial behavior), Hamlin, Wynn, and Bloom [39] showed for the first time that infants were more attracted to prosocial actions (exhibiting reaching, grasping behaviors) as early as 6 months of age. By adding a visual preference procedure to this paradigm, they were even able to find that 10-month-old infants preferred to look at prosocial agents [39]. A preference that the authors later measured from the age of 3 months with this same paradigm [42] but also with a different one (the "Ball paradigm"): Hamlin and Wynn [43] observed that 3-month-olds

preferred a puppet that gave its ball to another character (i.e., prosocial action) compared to one that took someone's ball (i.e., antisocial action). The early manifestation of these socio-moral evaluations highlights that infants are able to interpret the moral valence of these scenarios and express a preference toward prosocial behaviors. Since the publication of the original study by Hamlin et al. [39], numerous replications have been conducted using various paradigm adaptations (cf. [44] for a review). However, the results of these studies are generally inconsistent and struggle to replicate the original findings (cf. [44,45] for reviews). In addition, there is little work on the age range of 12 to 36 months (i.e., the age range of interest in the present study). Using an adaptation of the “Ball paradigm”, Scola et al. [46] observed, for example, that both 12- to 24- and 24- to 36-month-olds showed a preference for prosocial actions, whereas Cowell and Decety [47] found no preference neither for prosocial nor antisocial actions with the “Hill paradigm” in 54 infants aged 12–24 months.

5.2.1. Objectives and Hypotheses

The aim of this study is to obtain developmental norms on six early social-emotional abilities from a large sample of typically developing (TD) children aged 12 to 36 months. To do this, it aims to use a revised version of an experimental paradigm based on eye-tracking that includes various visual preference tasks.

Since we used a revised version of an experimental paradigm designed initially to study the six abilities described above in both children with multiple disabilities and a small control group of TD children [8], the first objective of the current study was to ensure that the revisions made to the experimental paradigm had not affected its structure. We hypothesized that the percentages of looking time (LT) on the six blocks of visual stimuli presented would be independent of the order of presentation (Hypothesis 1a) and would not be subject to fatigue effects (Hypothesis 1b). Therefore, the average percentages of looking time for the first two blocks should be statistically equivalent to those of the last block. Additionally, we hypothesized that the content of the blocks would not influence the percentages of looking time (Hypothesis 1c).

The second objective of this study was to explore the relationships between the six social-emotional abilities studied. First, we hypothesized that the percentages of looking time for the tasks would be correlated with the overall percentage of looking time for the entire session (Hypothesis 2a) and that they would also be inter-correlated (Hypothesis 2b).

We then formulated several hypotheses regarding the correlations between the percentages of looking time and the children's age. We expected age to be correlated with the percentages of looking time for the entire session (Hypothesis 3a) and for each individual task (Hypothesis 3b). We also hypothesized that the children's age would be correlated with the difference in looking time between the two paired stimuli in each task (Hypothesis 3c), indicating their degree of discrimination. Furthermore, assuming that a common underlying process might drive the abilities studied, we hypothesized that the difference scores in looking time would be correlated with each other (Hypothesis 4).

Finally, we also expected to observe visual preferences, reflected by higher looking times, for biological motion compared to non-biological motion (Hypothesis 5a), socially salient scenes compared to non-social scenes (Hypothesis 5b), the eye region compared to the mouth region in facial expressions (Hypothesis 5c), angry faces compared to happy faces (Hypothesis 5d), objects of joint attention (Hypothesis 5e), the helping character compared to the hindering character (Hypothesis 5f), and the prosocial climbing scene compared to the antisocial scene (Hypothesis 5g).

5.3. Materials and Methods

In this study, we examined six social-emotional abilities that play a key role in later communicative development, namely: Preferential attention to biological motion, Social orientating, Facial expression exploration, Emotional faces discrimination (anger vs. joy), Joint attention, and Socio-moral evaluation. These were investigated in the same 86 typically developing (TD) 2-year-old children (aged from 12 to 36 months) using a revised version of the eye-tracking-based experimental paradigm we originally designed to improve the assessment of the psychological development of children with Profound Intellectual and Multiple Disabilities (PIMDs), which still remains a very challenging process in this clinical population [8,48]. Indeed, both the severity of the intellectual disabilities and the extent of the motor impairments that characterize this particularly heterogeneous population hinder the conduct of psychological assessments with these individuals. This clinical population is described as “a heterogeneous group of individuals characterized by very severe cognitive, neuromotor, and/or sensory disabilities, resulting in very intensive support needs” [4]. These individuals have a statistically estimated IQ below 20–25 and an overall developmental age of 24 months or less [49,50]. This experimental paradigm was therefore aimed at responding to the real need to develop new evaluation tools and methods to better identify their needs [4].

This paradigm included a panel of visual preference tasks inspired by preexisting infant studies, coupled with an eye-tracking device. This equipment was used to record participants' spontaneous eye movements in response to the successive presentation of various pairs of visual stimuli on a screen.

Furthermore, our initial study not only examined the competencies of PIMD individuals; it also explored the social-emotional abilities of young TD children, as a limited control group of 32 2-year-olds (aged 12–36 months) had also been recruited in that first study to better understand the inter-individual variability observed in PIMD individuals by conducting case-control comparisons [8]. The absence of studies on this particular toddler population constitutes a significant gap in modern research, as it does not allow for the collection of information or the creation of control groups for comparison with atypically developing populations. Interesting previous analyses conducted with data from this limited control group reproduced the visual preferences observed in infant studies but also revealed some unexpected results. However, these were not investigated further because the earlier study focused on PIMD individuals and not on TD participants.

Additionally, this early study had highlighted some methodological limitations, so it was necessary to design a novel version of the paradigm that took them into account in order to confirm or not confirm the (unexpected) results obtained previously with a sample of only 32 TD 2-year-olds. For all these reasons, and in order to obtain robust developmental reference standards that would allow for comparative analyses with children with PIMD, we conducted the current study.

5.3.1. Participants

A total of 86 TD infants (38 girls and 48 boys) aged 12 to 36 months (mean age = 23 months, $SD = 7.2$ months) participated in the study. Study participants were required to be typically developing young children, aged 12 to 36 months, without neurodevelopmental disorders identified at birth and born at term. Every age between 12 and 36 months was fairly represented. Eight additional infants took part in this study but were excluded from the analyses because of procedural issues in data collection (mainly due to device disconnection, parental interventions, or infant distress/crying during the experiment). All participants were recruited through personal and professional networks between September 2021 and August 2022. Parents were contacted by means of an information letter in which all the characteristics of the study

were presented, and they gave their informed written consent for their child to take part. The eye-tracking sessions carried out at the University of Geneva's BabyLab were anonymized; no information identifying individual participants was collected. The study was conducted in accordance with the latest Declaration of Helsinki, and its experimental protocol had been approved by the Ethics Committee of the University of Geneva.

5.3.2. Apparatus and Visual Preference Procedure

Based on the principle that a gaze fixation on a specific point provides a measure of visual attention to various stimuli [51], eye-tracking technology has been widely used. In the present study, we used the Tobii Pro X3-120 binocular corneal-reflection (CR) eye-tracker (Tobii Technology AB, Stockholm, Sweden), which records at a gaze sampling frequency of 120 Hz. This device detects the position of the eyes and records the movements they make based on Pupil Center Corneal Reflection (PCCR). The PCCR eye-tracking technique uses the relative positions of the pupil and a reflection of a light source on the cornea (near-infrared light) to compute pupil positions (gaze). These reflections—the vector between the cornea and the pupil—are tracked by an infrared camera and fed into the computer software, where the pupil/CR relation is calculated with image processing algorithms, allowing a gaze estimate with a theoretical spatial resolution of about 1 visual degree [52].

This technology is particularly relevant in the field of infancy research, where such devices are increasingly used as measuring tools, especially because they provide great spatial and temporal precision [53]. By defining Areas of interest (AOIs), eye-tracking devices allow to examine, in a non-invasive way, where, when, in which order, and during which duration these areas have been specifically gazed, thus offering a detailed examination of individual visual exploration [54].

In addition, this device can be used as part of various experimental methods, such as habituation and response to novelty paradigms [55] or in the framework of a visual preference procedure [56], as was the case in the present study. Indeed, our experimental paradigm was composed of tasks using a classic fixed-trial visual preference procedure. This experimental method was first developed by Fantz [57] to study the perceptual abilities of infants. Combined here with an eye-tracking device, it consists of simultaneously presenting a person with two visual stimuli that differ from each other on one property (stimuli 'A' and 'B') placed side by side on either side of a presentation screen equipped with the eye-tracker and then comparing

the time spent looking at the stimulus located on the left side of the screen versus the one on the right side. Usually, the visual scene formed by the pair of A–B stimuli is presented repeatedly (i.e., trials) by alternating their respective positions on the screen across the different trials in order to laterally counterbalance the stimuli's locations and thus limit side bias. When a person spends, on average, more time looking at one of the two stimuli, it can be said that he or she has perceived a difference between the two stimuli presented. However, if they are equally gazed at, it is not possible to draw any conclusions; in this case, we cannot know whether the person perceived that they differed from each other or not.

5.3.3. Experimental Procedure

Each participant realized a single individual eye-tracking session at the University of Geneva's BabyLab. Initially, the parents read and signed the consent form and filled out a brief sociodemographic questionnaire. The child was then seated comfortably in front of the screen by the accompanying parent, either in a suitable seat ($n = 72$) or on the parent's lap. In the latter case, the parent placed opaque glasses on his face to avoid any interference with the recording of the child's eye movements ($n = 14$). The presentation screen was a 22-inch screen measuring 47.5×30 cm and having a resolution of 1920×1080 px. The screen was placed at a distance of 60–65 cm from the child's eyes and respected a visual angle of $\alpha \simeq 31.5^\circ$ so as to comply with the recommendations of the eye-tracker user manual. All parents were instructed to remain motionless and not to intervene during the experiment (unless absolutely necessary). The eye-tracking session, whose content is detailed in the Stimuli section, could then begin. To minimize visual distraction, the light was kept at a low level throughout the experiment [58]. When the experiment was finished, the children received a medal as a thank you for participating.

A session included the following elements: (a) a 30-s opening cartoon (to focus participants' attention), (b) a 5-point calibration procedure, (c) the experimental phase, and (d) a brief closing animation featuring a puppet thanking the participant and saying goodbye. The eye-tracker calibration procedure consisted of the appearance of an expanding and contracting white circle on a black background at each position of a grid and extracting five points from the four corners of the screen. The procedure was completed when all five points had been successfully calibrated and repeated for the missing points. Calibration was then considered satisfactory when it was obtained with a deviation of less than 2° on the X and Y axes. Various visual stimuli were presented successively in random order during the experimental phase (details are given in Stimuli section). The total duration of a session, including the successive

sequence of the 4 steps presented above (the opening cartoon, the calibration, the experimental phase, and the final animation), was approximately 7–8 min.

5.3.4. Stimuli

To measure the social-emotional abilities of interest, we integrated six ‘blocks’ of experimental content into our paradigm (each underpinning one of these competencies). To implement a visual preference procedure involving the simultaneous presentation of two side-by-side stimuli, each task included at least two trials to laterally counterbalance the stimulus pairs. Each block and all trials were separated by the presentation of a dynamic fixation cross-paired with a stimulating sound in the center of the screen; its duration was fixed at 1.5 s between trials, whereas between blocks it had to be gazed at for at least 300 milliseconds (ms) for the next one to be triggered. This choice was based on the fact that shorter-duration fixations than the 300 ms threshold are commonly considered involuntary [59,60]. The activation area drawn around it was 400×400 px. The order of presentation of the six blocks, as well as that of their respective trials, was random.

Since we used a basic 5-point calibration procedure and, in addition, participants’ gaze was repeatedly redirected to the center of the screen, we decided not to record data on the area at the intersection of the two stimuli over the entire height of the screen. Therefore, when the two paired stimuli extended across the entire screen surface (as in PLM-, SO-, and SME-Tasks described in the next section), their respective positions were defined by two areas of 850×1080 px that were activated only after 300 ms of visual scene presentation. There was thus a central 220×1080 -px strip in the middle of the screen, which was not covered by any AOIs and whose width was defined on the basis of the distance separating the pairs of emotional faces.

5.3.4.1. The Point-Light Motion (PLM) Task

Based on Johansson’s [11] “Point-light paradigm”, we designed our ‘PLM-Task’ to assess preferential attention to biological motion using the stimuli created by Bidet-Ildei et al. [15]. Biological motion was represented by dynamic points of light depicting the movement of a human walker (nine points: the head, one shoulder, one elbow, one wrist, one hip, both knees, and both ankles) over a second set of nine randomly moving points (non-biological motion). The amount of movement per point was equivalent between conditions [15]. This task consisted of four 10-s trials in which the lateral positions of the two stimuli on the screen were alternated.

They were delineated by two 850×1080 -px AOIs. Among the four trials, in two of them, the dots were moving from the center of the screen to the sides and from the sides of the screen to the center in the other two trials, alternating the lateral positions of the two motion types between each trial. Thus, all four possible conditions were presented to each participant, which was not the case in the previous study, where this task was composed of two 20-s trials (each direction was presented only once).

5.3.4.2. The Social Orienting (SO) Task

We designed the ‘SO-Task’ using stimuli created by Franchini et al. [61] based on the previous work of Pierce et al. [62] to evaluate the participants’ ability to discriminate socially salient visual scenes from non-social ones. This task comprised eight trials, each lasting 5 s, resulting in a total duration of approximately 48 s including the inter-trial intervals. During the trials, participants were presented with pairs of side-by-side stimuli: dynamic social images (sequences showing a young boy or girl moving and dancing alone) and dynamic geometric images (moving geometric shapes resembling traditional abstract screen savers). They were delineated by two 850×1080 -px AOIs. The structure of the paired-comparison stimulus display was controlled by the authors who initially designed this task: the stimuli were equal in visual salience independently of social/non-social conditions; the stimulus brightness was also equivalent between conditions; as was the area of moving elements [61]. Compared to the previous study [8], no changes were made to this task, which remained identical here.

5.3.4.3. Emotional (angry and happy) faces

Since two competencies were studied with only one type of stimulus (Facial expression exploration and Emotional faces discrimination), we decided to dedicate two blocks to these stimuli, one consisting of a pair of emotional expressions (anger and joy) of a female model and the other of a male model, in order to have the same number of blocks as competencies and thus avoid any confusion. The faces used were taken from the Karolinska Directed Emotional Faces database (KDEF) [63], references F22 and M17. This selection was informed by the validation study of this database [64], which identified the only models among the top 20 joy and anger pictures with visible teeth. The presence of teeth is a salient facial feature that significantly influences emotion discrimination [65]. To enhance ecological validity, the stimuli were displayed in color against a medium gray background (RGB 100, 100, 100) [66]. Additionally, the hairline, a facial feature known to impact visual face exploration [24], was cropped using GIMP software (Version 2.10).

Each of the two experimental blocks devoted to emotional faces consisted of four 8-s trials. Since the order in which they were presented was random, it was possible for these blocks to be presented successively in some of the many individual sessions we conducted with our participants. during some of the numerous experimental sessions. However, as they consisted of static and silent stimuli, they were likely to be less attractive than the other dynamic stimuli we used and were therefore likely to decrease the participants' visual attention. To prevent this, the presentation duration for each trial is slightly shorter than for the other tasks.

Different AOIs were defined as the two abilities were actually measured by comparing the time spent looking at different locations: (a) for visual scanning of facial features, the time spent on the eye area (composed of two AOIs of 215×215 px each, spaced 80 px apart) was compared to the time spent on the mouth area (consisting of an AOI of 430×215 px, equivalent to the size of the eye area), and (b) for emotion discrimination, the time spent on angry faces was compared to that spent on happy faces (defined by two 740×980 -px AOIs, symmetrically positioned at a distance of 110 px from the screen center). The size of the faces (and consequently those of the different AOIs as well) was larger than in the previous study in order to maximize the data recorded on each of them, which tended to be very low (especially in PIMD individuals).

5.3.4.4. The Response to Joint Attention (RJA) Task

The 'RJA-Task' of our paradigm used an adaptation of the stimuli created by Franchini et al. [38] to test participants' ability to follow the direction of others' gaze to share a common point of reference. We included in our paradigm only the videos of the 'intense' condition, which had previously produced significantly longer viewing times. These comprised four videos lasting 12 s each in which an actress stood behind a table with two identical objects (differing in nature, shape, and color in each video). In this initial position, the actress gazed directly at the camera. After 2 s, the objects started to move, and she unexpectedly directed her attention to one of them with an expression of intense surprise for the remaining 10 s. The objects' location was defined by two 860×500 -px AOIs (symmetrically located at a distance of 50 px from the center of the screen length), whereas the actress' head was delimited by an additional AOI of the same size. This third area was of great importance because it had to be gazed at for at least 500 milliseconds (i.e., the minimum fixation duration threshold for visual processing of dynamic scene information in free-viewing conditions, according to Glöckner and Herbold [67]) for a trial to be validated and included in the analyses. All AOIs were only

activated when the actress started to be surprised by one of the objects (i.e., 2 s after the video started) for a duration of 10 s.

In the original stimuli (i.e., such as those used in the first version of our paradigm), there was a whole empty space around the table and the actress that we cropped for the present study. Thanks to this ‘zoom’, the actress’ face was then much larger, and thus her expression of surprise was more easily detectable. Consequently, the AOIs were larger than before and should thus contribute to a lower loss of data (i.e., including more valid trials in the analyses).

5.3.4.5. *The Socio-Moral Evaluation (SME) Task*

The ‘SME-Task’ of our paradigm was adapted from the “Hill paradigm” [39]. In this task, a ‘climber’ puppet (represented by a red and circular wooden character with large plastic ‘googly’ eyes) repeatedly attempted to climb a steep hill but failed. The climber was then either helped up the hill by a ‘helper’ puppet who pushed him upwards (demonstrating prosocial behavior) or pushed down by a ‘hinderer’ puppet (demonstrating antisocial behavior). These helper and hinderer roles were counterbalanced over two contrasting stimulus shapes: a blue square and a yellow triangle, both with googly eyes. Each of these ‘climbing scenes’ lasted 15 s. Following these scenes, a final visual preference scene was presented, consisting of two 15-s trials in which both the helper and the hinderer puppets were simultaneously displayed side by side, occupying the entire screen surface, which was delineated by two 850 × 1080-px AOIs. Thus, unlike the other tasks in our study, the SME-Task included a visual preference scene only after the initial presentation of the first two climbing scenes. In addition, participants’ socio-moral evaluation ability was also measured by comparing the time spent gazing at each climbing scene to determine whether one of the two observed behaviors (pro- vs. anti-social) attracted more visual attention.

5.3.5. Data Analysis

Eye-tracking data was extracted using Tobii Pro Lab (Version 1.162) computer software, which obtained metrics on ‘*total visit duration*’ (i.e., total time each AOI was gazed) within all the designated AOIs as well as within the screen area. From the visit durations within the AOIs, total dwell times (TDTs) were calculated by summing up all dwells (set of one or more consecutive fixations in an AOI) recorded during each task’s trials (excluding the invalidated ones of the RJA-Task), whereas visit durations within the screen area were converted into looking time (LT) percentages by computing the ratio between the time spent looking at the

screen regarding the blocks, tasks, and the entire session over their respective presentation durations. These percentages were used for investigating our first hypotheses that, independently of their content, the six blocks presented would be equally gazed at. Indeed, we expected that the six blocks' LT percentages (i.e., time spent looking at the screen during the presentation of each block divided by the block duration) would neither be influenced by (1a) the order of presentation nor by (1b) a fatigue effect (i.e., the average LT percentages of the first two blocks presented would be statistically equivalent to those of the last). Similarly, we hypothesized that each type of visual stimulus would attract children's attention in equal measure and consequently that their LT percentages on the five experimental tasks (calculated as the proportion of time spent looking at the screen during the presentation of each task over the task duration) would not be influenced by the (1c) content effect.

Two one-way repeated measures ANOVAs were performed to test these hypotheses about the paradigm conception. The first one investigated the effect of presentation order by entering blocks' LT percentages as a 6-modality within-subjects factor, while the fatigue effect was examined through a post-hoc contrast analysis (average LT percentage of blocks 1 and 2 vs. of blocks 5 and 6). The second ANOVA was then conducted with tasks' LT percentages entering as a 5-modality within-subjects factor (given that LT percentages within both female and male emotional faces were averaged and considered as a single type of content) for testing the content effect. Tukey HSD tests were run post-hoc when the results of these analyses were significant ($p\text{-value} \leq 0.05$).

LT percentages were also used to examine the links between the abilities assessed through correlational analyses. Thus, Pearson correlations were conducted to investigate our second hypotheses that tasks' LT percentages would (2a) correlate with the overall session LT percentage (calculated as the proportion of time spent looking at the presentation screen over the session duration) since visual attentional focus increases with age [68] and (2b) intercorrelate with each other. Thirdly, we also made several hypotheses about the links between these LT percentages and children's age: we expected that age would correlate (3a) with the overall session LT percentages as well as (3b) with each task's LT percentage. In addition, we expected that children's age would correlate (3c) with the difference between the time spent looking at each of the two paired stimuli in each task (gaze time difference scores were thus calculated by subtracting the TDTs within both paired stimulus types of each task, which quantifies how well discriminated they were). Moreover, assuming that a common

process might underlie the competences studied, we hypothesized that (4) these differences would correlate with each other.

Finally, regarding visual preferences, based on our previous findings, we expected to observe preferences resulting in higher TDTs on (5a) biological (vs. non-biological) motion, (5b) socially salient (vs. non-social) scenes, (5c) the facial area of the eyes (vs. mouth), (5d) angry (vs. happy) faces, (5e) objects of joint attention, and (5f) the helper (vs. hinderer) character, as well as (5g) the prosocial (vs. antisocial) climbing scene. These hypotheses were tested by conducting paired-difference *t*-tests to compare whether TDTs within the two paired stimuli of each task were statistically equivalent, in which case no conclusion could be drawn (since it was impossible to determine whether their distinction had been perceived or not). However, when the analysis revealed that they differed significantly from each other, it was possible to conclude that there was a visual preference for one of them (i.e., for the stimulus with the highest TDTs) and thus to consider that they were discriminated against. Only the SME-Task (more precisely hypothesis 5g) required a special analysis: while the other tasks presented both types of paired stimuli simultaneously, the first two climbing scenes of the “Hill paradigm” were presented successively. Therefore, in addition to the paired *t*-test conducted with data from both trials of the final visual preference scene of this task, an independent *t*-test was also conducted to compare the visit durations within the first two climbing scenes.

5.4. Results

5.4.1. Participants Characteristics

An a priori sample analysis was conducted for paired-difference *t*-test statistical analysis with a moderate effect size of 0.4 and a *p*-value of 0.05. Results (G-Power, Version 3.1.9.7) showed that the sample size suitable for this type of criteria was 84. All the infants were full-term and healthy. They were Caucasian and lived in rural areas (<3000 inhabitants; $n = 16$), villages (3000–10,000 inhabitants; $n = 13$), and urban areas (>10,000 inhabitants; $n = 57$) in the surroundings of Geneva, Switzerland. They came from lower- to upper-class families whose socioeconomic status (SES), expressed as a percentage using the formula of the Swiss author Genoud [69], ranged from 15 to 90% with an average of 68.22% ($SD = 14.65$). Parental age ranged from 22 to 55 years ($M = 34.83$, $SD = 5.44$).

5.4.2. Paradigm Structure Control Analyses

First, an absence of significant effects related to the presentation of the six blocks of experimental content on their respective LT percentages (order and fatigue effects) was found in the current study in line with what was already observed in the previous paper using a similar experimental paradigm: the repeated-measures ANOVA testing the main effect of the blocks' presentation order was not significant [$F(5,425) = 0.415$, $p = 0.838$], as was the contrast analysis result comparing the mean LT percentages of blocks 1–2 vs. 5–6 to test the fatigue effect [$t(85) = -0.846$, $p = 0.400$].

The second within-subjects ANOVA revealed a significant effect of content on tasks' LT percentages (calculated as the proportion of time spent looking at the screen during each task's completion over their respective durations where both female and male emotional faces' LT percentages were averaged and reported as the “emotional faces LT percentage” since they were considered to be a single stimulus type), $F(4,340) = 27.466$, $p < 0.001$. Multiple post-hoc comparisons (Tukey HSD test) revealed that both the SO-Task and the SME-Task, whose respective mean LT percentages of 84.104% ($SD = 7.170$) and 85.104% ($SD = 8.725$) were statistically equivalent to each other ($p = 0.962$), were significantly more gazed than the other three stimulus types (all p -values ≤ 0.001). Similarly, LT percentages for tasks assessing both preferential attention to biological motion ($M = 76.143\%$, $SD = 17.013$) and response to joint attention ($M = 78.334\%$, $SD = 11.881$) were also equivalent ($p = 0.577$), whereas the emotional faces were the least attractive type of experimental content, with the lowest mean LT percentage measured of 72.003% ($SD = 11.193$), which differed significantly from those of the other four task types (all p -values < 0.05).

5.4.3. Correlational Analyses

Regarding the correlational analyses, we were first interested in determining whether high LT percentages within each task-specific content type were associated with a high overall session LT percentage. Pearson correlations (detailed in Table 1) revealed that the five LT percentages measured within the different types of experimental content all correlated significantly with the overall session LT percentage (all correlations were significant at $p < 0.01$). The lowest correlation was for the task-specific stimuli of social orientating ability ($r = 0.476$) and the highest for those of response to joint attention ($r = 0.803$).

We then looked at the connections between the LT percentages within each of the five types of experimental content to investigate whether participants who looked a lot at the screen during the presentation of a certain type of content also looked a lot at the stimuli from the other tasks. All intercorrelations calculated were significant except one: the correlation between PLM- and SO-Tasks' LT percentages ($r = 0.135$) was not significant (cf. Table 1). However, despite significant correlations, SO-Task's LT percentage appeared to be less strongly related to that of both emotional faces and SME-Task (with respective correlations of 0.260 and 0.261, both significant at $p < 0.05$), whereas the intercorrelations between the LT percentages within the other tasks were all significant at $p < 0.01$.

The result of the analysis performed to test hypothesis 3a (correlation between participants' age and overall session LT percentage) was not significant ($r = 0.046$), indicating that the amount of time spent looking at the screen throughout the experimental session was not associated with the age of the participants. The correlation matrix generated to test hypothesis 3b that older children would be more likely to have higher LT percentages within the different types of experimental content than the youngest showed that four of the five correlations computed were not significant (cf. Table 1). The only exception was the negative correlation between age and SO-Task's LT percentage ($r = -0.283$, $p < 0.01$).

Table 1. Correlation matrix (Pearson's r) between participants' age (in months), overall session's looking time (LT) percentage and the five tasks' LT percentages ($N = 86$)

	1	2	3	4	5	6
1. Age in months						
2. Overall session	0.046					
3. PLM-Task	0.094	0.718**				
4. SO-Task	-0.283**	0.476**	0.135			
5. Emotional faces	0.185	0.649**	0.356**	0.261*		
6. RJA-Task	-0.056	0.803**	0.340**	0.486**	0.340**	
7. SME-Task	0.082	0.710**	0.367**	0.260*	0.321**	0.565**

Note. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

Finally, the results of the correlational analysis performed to test hypothesis 3c that age would be related to the ability to discriminate both types of paired stimuli in each task (TDTs difference score) did not reveal any significant correlation (cf. Table 2). Meanwhile, the correlation matrix resulting from this last analysis provided the intercorrelation values between the task-specific discrimination scores that hypothesis 4 assumed to be high (presuming the existence of a common process underlying the different competencies studied). It showed only one significant result, indicating that infants who looked more at the eye area (vs. mouth) of emotional faces also tended to look longer at socially salient stimuli (i.e., children dancing solo) rather than at non-social scenes (i.e., moving geometrical shapes) of the SO-Task ($r = 0.343$, $p < 0.01$).

Table 2. Correlation matrix (Pearson's r) between participants' age (in months) and total dwell time (TDT) difference scores on each of the two paired stimuli types in each task ($N = 86$)

	1	2	3	4	5	6	7
1. Age in months							
2. PLM-Task' TDTs diff. score	0.109						
3. SO-Task's TDTs diff. score	0.055	-0.005					
4. Face exploration TDTs diff. score	0.127	0.058	0.343**				
5. Emotion discrimination TDTs diff. score	0.094	-0.066	0.149	0.168			
6. RJA-Task's TDTs diff. score	0.002	-0.085	0.058	0.033	-0.012		
7. SME-Task's TDTs diff. score (actions) ¹	0.052	0.100	-0.053	-0.056	0.124	-0.029	
8. SME-Task's TDTs diff. score (puppets) ²	-0.063	0.053	-0.096	-0.030	-0.019	0.070	-0.036

Note. ** $p < 0.01$.

¹ Difference score between the TDTs on each of the two successive climbing scenes of the SME-Task.

² Difference score between the TDTs on each of the puppet presented simultaneously in the final visual preference scene of the SME-Task.

5.4.4. Visual Preferences Analyses

With regard to the visual preferences, we found the following significant results (cf. Table 3):

- (a) Biological motion (mean TDT = 16.988 seconds, $SD = 5.922$) was preferred to non-biological motion ($M = 14.617$, $SD = 4.957$), $t(85) = 2.641$, $p = 0.011$.
- (b) Socially salient stimuli ($M = 27.012$, $SD = 4.921$) were preferred to non-social ones ($M = 9.826$, $SD = 4.851$), $t(85) = 16.712$, $p < 0.001$.

- (c) The eye area TDT ($M = 9.678$, $SD = 5.287$) was significantly higher than TDT within the mouth area ($M = 5.701$, $SD = 4.799$), $t(85) = 4.970$, $p < 0.001$.
- (d) Angry faces ($M = 15.070$, $SD = 4.256$) were preferred to happy ones ($M = 12.637$, $SD = 4.006$), $t(85) = 5.703$, $p < 0.001$.
- (e) Joint attention objects (i.e., those that were looked at by the actress) ($M = 9.972$, $SD = 4.284$) were preferred to non-looked-at ones ($M = 5.715$, $SD = 3.002$), $t(85) = 10.141$, $p < 0.001$.

Table 3. Total dwell times (M , SD) within the two stimuli types (A and B) of each task and statistical analysis (paired-difference t -tests) testing visual preferences ($N = 86$)

	Stimulus A		Stimulus B		Difference	
	M	(SD)	M	(SD)	$t(n-1)$	p
Point-light motion (PLM-Task) ¹	16.988	(5.922)	14.617	(4.957)	2.641	0.010
Social orienting (SO-Task) ²	27.012	(4.921)	9.826	(4.851)	16.712	<0.001
Facial Expression Exploration ³	9.678	(5.287)	5.701	(4.799)	4.970	<0.001
Emotional Faces Discrimination ⁴	15.070	(4.256)	12.637	(4.006)	5.703	<0.001
Joint attention (RJA-Task) ⁵	9.972	(4.284)	5.715	(3.002)	10.141	<0.001
Socio-moral evaluation (SME-Task) ⁶	9.731	(3.463)	9.610	(3.190)	0.265	0.791

¹Stimulus A = *Biological (walker) motion*; stimulus B = *Non-biological (scrambled) motion*. Total dwell times (TDTs) computed by summing the four 10-second trials composing the PLM-Task.

²Stimulus A = *Social scenes*; stimulus B = *Non-social scenes*. TDTs computed by summing the eight 5-second trials composing the SO-Task.

³Stimulus A = *Eyes area*; stimulus B = *Mouth area*. TDTs computed by summing the total eight 8-second trials of the evaluation of both Facial Expression Exploration and Emotional Faces Discrimination.

⁴Stimulus A = *Angry faces*; stimulus B = *Happy faces*. TDTs computed by summing the total eight 8-second trials of the evaluation of both Facial Expression Exploration and Emotional Faces Discrimination.

⁵Stimulus A = *Looked-at objects*; stimulus B = *Non-looked-at objects*. TDTs computed by summing the four 10-second trials composing the RJA-Task.

⁶Stimulus A = *Prosocial puppet ('helper')*; stimulus B = *Antisocial puppet ('hinderer')*. TDTs computed by summing the two 15-second trials composing the final visual preference scene of SME-Task.

Regarding socio-moral evaluations, when both the helper and the hindered puppets were presented side by side simultaneously (final visual-preference scene), results showed no significant difference between the TDTs on the helper that had previously performed a prosocial action towards the climber by pushing him up the hill vs. on the hindered that had previously exhibited an anti-social action by pushing the climber down, $t(85) = 0.265, p = 0.791$. In contrast, when comparing the time spent looking at each of the first two successive climbing scenes, the analysis revealed that the prosocial scene was looked at significantly longer (mean TDT = 11.104 s, $SD = 0.992$) than the antisocial scene ($M = 10.783, SD = 1.088$), independent t -test: $t(170) = 2.023, p = 0.045$.

5.5. Discussion

The primary objective of this study was to extend scientific knowledge about six social-emotional abilities by testing them altogether in a large sample of 86 young TD 2-year-old (from the age of 12 to 36 months) children using a revised version of an eye-tracking-based experimental paradigm consisting of different visual preference tasks inspired by existing infant studies. As task-specific adjustments had been made to the original paradigm to address the methodological limitations previously highlighted, the present study first sought to ensure that its structure had not been affected by these revisions before focusing on the six competencies studied.

Regarding the analyses controlling the structure of the paradigm design itself, the fact that we found no effect related to the blocks' presentation influencing LT percentages (neither order nor fatigue effects were found) demonstrated that the duration of the revised paradigm was appropriate for the population studied, thus supporting its feasibility. On the other hand, the significant effect of the content was novel and unexpected. It should first be noted that this unpredicted effect can hardly be attributed to the adjustments made to the original paradigm because they involved only certain task-specific stimuli and trials, i.e., all tasks had the same duration as initially. Moreover, the number of tasks was unchanged, as was the total duration of an experimental session, which was the same as in our previous study. Furthermore, although several potential explanations can be suggested for the low LT percentage of facial expressions, the high gaze LT percentages observed in both the SO- and SME-Tasks are difficult to interpret since no previous research has reported similar results. Indeed, the fact that facial expressions are a type of stimulus that is silent, static, and, moreover, has redundant content (the same pair of faces presented four consecutive times by simply alternating their lateral position between

trials) has a negative impact on the attractiveness generated by this type of content (especially in comparison with dynamic and diversified stimuli such as those of the SO-Task, where the visual scenes of each of the eight trials are all different from one another). Not surprisingly, facial expressions were already the stimulus type for which the lowest LT percentage was measured in the previous study. Nevertheless, using only tasks composed of many short-duration trials, such as the SO-Task, would not be a suitable solution for the PIMD individuals we are still attempting to assess in a parallel case study who need much more time to process the information due to their extensive cognitive impairments. It is therefore better to use other strategies to increase the attractiveness of this type of stimulus. An example could be adding a third emotion and testing the ability to discriminate between joy/anger, sadness/anger, and joy/sadness. It would then be possible to present each of these three pairs of emotions only once in a first block and a second time in another block in order to alternate their lateral position on the screen while displaying short duration blocks. Different models could also be used in the two blocks to maximize the variability of the content presented in order to promote the attractiveness evoked by these static images, even though they are not dynamic scenes.

Next, with regard to visual preferences, we sought to extend the empirical knowledge and the developmental references on the six studied competencies between the ages of 1 and 3 years by implementing a revised version of our eye-tracking-based experimental paradigm with a new and larger sample of 2-year-old TD children. We were then interested in investigating whether the results of our previous study could be easily replicated and whether the modifications we made to the paradigm were beneficial.

First, all significant visual preferences that were observed in our previous study were also measured in the present research (i.e., preferences for socially salient stimuli, for the facial eye region, for angry faces, and for objects of joint attention).

Subsequently, some adjustments proved to be beneficial. In the present study, we found a preference for biological over non-biological motion (whereas these two motion types were statistically equal in the previous study). Given that visual processing of biological motion occurs extremely rapidly (100 ms) in humans [12], we presumed that our initial PLM-Task composed of only two 20-s trials was not suitable for assessing preferential attention to biological motion. Indeed, we hypothesized that the lack of significant difference between the TDTs within each of the two motion types could be related to an excessive duration of stimulus presentation, assuming that participants might preferentially direct their attention to biological

motion during the first seconds of presentation but would then also tend to explore the moving dots of the non-biological motion, whose movements, close to those of a walker, violated the expectations depicting human walking locomotion. Therefore, we decided to present these stimuli for half the time by designing a revised PLM-Task consisting of four 10-s trials. It appeared that these modifications were useful since the present study revealed a significant preference for biological motion. This result extends the recent findings of the longitudinal study by Sifre and colleagues [70], which followed 116 infants over 2 years. With our sample of 2-year-old TD children with an age range up to 36 months, our results suggest that the linear increase in preferential attention for biological motion observed by Sifre et al. [70] between the ages of 2 and 24 months seems to continue throughout the third year of life. By providing evidence on the development of the ability to discriminate between biological and non-biological movement between the ages of 1 and 3 years, our findings contribute to filling the gap in the existing scientific literature on this age group. Indeed, although several studies have demonstrated the early emergence of this perceptual ability, showing that humans newborns already exhibit a preference for biological motion from birth on the one hand [10,14,15] and, on the other hand, developmental studies beyond infancy have shown that 5-year-olds [71,72] and even 4-year-olds [73,74] are as sensitive as adults to biological motion in point-light displays, few papers have provided any insight regarding the age range studied here (cf. [75] for a literature review on developmental trajectories).

The second modification that proved to be useful concerns the RJA-Task: although the benefits cannot be observed in terms of the results themselves (significant preference for joint attention objects found in this study as in the previous one), they can be observed in the quality of the recorded data. While we noted a substantial loss of data previously (many trials did not meet the inclusion criteria), no trials had to be excluded from the analyses in the present study. a large portion of the empty space surrounding the table and the actress, we were able to enlarge the four video sequences of the RJA-Task. The actress' expression of surprise was then more salient. Moreover, all AOIs were larger, maximizing the opportunities to record gaze time on the one delimiting the actress' face, which had to be gazed at least 500 ms for a trial to be validated.

Lastly, regarding socio-moral evaluations, our previous—somewhat conclusive—results appeared to be confirmed as the current study revealed similar findings: while the prosocial climbing scene attracted more visual attention than the antisocial one, no visual preference was measured when both the helper and the hinderer puppets were then presented side by side.

Although we have not made any specific modifications to this paradigm since our first study, we were nevertheless particularly attentive to the experimental design of this task and carefully controlled that both the order in which the two scenes were presented and the pro- vs. anti-social role of each puppet were well randomized across participants. Unfortunately, by the end of our first study, we found that the randomization performed by Tobii Pro Lab software was approximate (the different conditions were not equally distributed within our previous sample of 32 individuals). Despite a more accurate randomized experimental design than previously, the analyses performed in the current study did not lead to more conclusive results. Such findings thus highlight the limited replicability of previous research using socio-moral scenarios similar to the “Hill paradigm” in young children and the difficulty, already discussed by several literature reviews, of replicating the results of the primary studies [44,45].

The secondary objective of the current study was to investigate the links between the six social-emotional competencies by conducting correlational analyses that revealed several interesting findings. First, we observed that, as expected, the tasks’ LT percentages correlated with the overall session LT percentage, indicating that the participants with the highest overall session LT percentages would be those who gazed the most at the screen during the different tasks’ completion. Similarly, the LT percentages of the different tasks tended to correlate with each other as well. Only the PLM- and SO-Tasks’ LT percentages appeared not to be associated. It is also interesting to note that, despite significant correlations, the analyses showed that the SO-Task’s LT percentage was weakly related to the LT percentages measured on the emotional faces as well as those of the SME-Task. Interestingly, these results can be linked to the content effect discussed above; indeed, the post-hoc multiple comparisons showed that emotional faces were the type of content on which the lowest LT percentages were measured and that, conversely, SO- and SME-Tasks were the ones on which the content attracted the most attention from participants. Thus, the results of the correlational analyses were consistent with those revealed by the analyses controlling for paradigm structure, highlighting the particular interest aroused specifically by these two types of content in our participants.

We were then interested in the role of participants’ age in these correlational analyses. The first surprising result was that there was a significant negative correlation between age and the LT percentage of the SO-Task, whereas the correlations between age and the other tasks’ LT percentages were all close to zero. This finding suggested that younger children tended to look more at the content of the SO-Task than older children. We then focused on the children’s performance on the different tasks assessed. Surprisingly, it appeared that the ability to

discriminate between the different types of paired stimuli was not related to age. Indeed, the correlations between the participants' age and their TDT difference scores on each task (quantifying discrimination abilities) were all close to zero. This indicated that the children who discriminated the different types of stimuli the best (i.e., those with the highest difference scores) were not necessarily the oldest. The correlation matrix generated also revealed that these discrimination abilities were not related to each other. Only preferring socially salient stimuli to non-social scenes in the SO-Task correlated significantly with looking more at the eye area of emotional faces than at the mouth. This association can be explained by the infants' reliance on the eye area in order to obtain information for social interactions [25]. Initially, these intercorrelations were computed with the aim of investigating the potential existence of a common process underpinning the six abilities assessed here. The outcomes that had been highlighted by these analyses did not provide support for this hypothesis. However, assessing a set of six social-emotional abilities in the same sample of 86 children was unprecedented and therefore deserves to be studied in greater depth. Future work using this type of within-subjects experimental design in various populations would thus contribute to a better understanding of the associations between these abilities.

5.5.1. Limitations and Implications

In our study, we obtained promising behavioral results by using an experimental paradigm based on eye-tracking combined with various visual social-emotional preference tasks, enabling us to further explore the social-emotional abilities of young children aged 2 years. We have shown that the proposed experimental paradigm is sufficiently sensitive to establish individual competency profiles, thereby making a contribution to developmental methods for assessing social-emotional abilities in young children.

The exclusive utilization of these computer-based behavioral tasks coupled with an eye-tracker, although effective in capturing children's visual preferences and immediate and spontaneous reactions, has the main limitation of not necessarily offering a complete and contextual perspective of these social-emotional abilities. In fact, as we discussed earlier, other methods are used by researchers to assess these abilities (e.g., parent-reported questionnaires, observation methods, habituation/response to novelty techniques, etc.), which, in a complementary manner, could provide a more reliable and exhaustive measure of the social-emotional abilities of 1–3-year-olds. In future studies, it could be interesting to combine the

children's visual behavioral preferences with hetero-questionnaires reported by the parents or professionals accompanying the children.

In this perspective, we used this complementarity of approaches with PIMD children by combining our experimental paradigm with questionnaires hetero-reported by professionals [8]. This combination of approaches revealed significant links between visual preferences (behavioral data) and hetero-reported responses (scores obtained on different subscales of the ECP [Évaluation-Cognition-Polyhandicap], a cognitive skills assessment scale for people with PIMD developed by Poujol et al. [76]), thereby strengthening the validity and consistency of these measures to provide a more holistic understanding of social-emotional abilities. The results of these two studies are very promising in the sense that they show that it is possible to use tasks initially developed to study the early abilities of babies to evaluate the social-emotional development of young children aged 1 to 3 as well as that of people with PIMD.

Our results with PIMD individuals thus suggest that the integration of varied methods may be essential to ensuring a comprehensive and nuanced assessment of young children's social-emotional abilities. By diversifying methodological approaches, researchers can not only obtain more accurate data but also better understand the nuances and dynamics of social-emotional abilities in this critical age group. Consequently, future research should consider multi-method study designs to refine the assessment of social-emotional abilities in young children.

5.6. Conclusion

To conclude, in addition to providing further scientific evidence on six social-emotional abilities in the same 2-year-olds, the current study revealed that their respective performances were not related to each other either: only the preference for socially salient (vs. non-social) stimuli was significantly correlated with the preference for the eye area (vs. mouth) of emotional faces. Finally, this research investigated the replicability of a previous study that employed the original form of the eye-tracking-based experimental paradigm we used here. While all of the results that were significant in the first study were easily replicated in the current one, it also highlighted that the revisions made to the original paradigm contributed to more conclusive results and less data loss. Altogether, these findings demonstrated that the feasibility of the revised paradigm was greater than previously, making it a more suitable instrument for assessing clinical populations that are difficult to test, such as PIMD individuals. Indeed, direct

assessment of these abilities in such atypical populations that have very specific and limited cognitive skills is, by nature, very difficult. At this moment, evaluation relies mainly on observational measures. Our results show that direct assessment of social-emotional abilities using our revised experimental paradigm is possible in infants aged 1–3 years and should therefore also be possible in PIMD individuals with an equivalent estimated developmental age. More recently, we also showed the relevance of this experimental paradigm to test the beneficial effects of innovative person-centered training promoting social-emotional abilities in these individuals [77]. This contributes to our scientific capacity to evaluate these abilities and our knowledge of the needs of this population.

5.7. References

1. Duarte, A.; Martins, S.; Augusto, C.; Silva, M.J.; Lopes, L.; Santos, R.; Rosário, R. The impact of a health promotion program on toddlers' socio-emotional development: A cluster randomized study. *BMC Public Health* **2024**, *24*, 415. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17953-9>
2. Brito, N.H.; Fifer, W.P.; Amso, D.; Barr, R.; Bell, M.A.; Calkins, S.; Flynn, A.; Montgomery-Downs, H.E.; Oakes, L.M.; Richards, J.E.; et al. Beyond the bayley: Neurocognitive assessments of development during infancy and toddlerhood. *Dev. Neuropsychol.* **2019**, *44*, 220–247. <https://doi.org/10.1080/87565641.2018.1564310>
3. National Scientific Council on the Developing Child. *The Timing and Quality of Early Experiences Combine to Shape Brain Architecture*; Center on the Developing Child, Harvard University: Cambridge, MA, USA, 2007.
4. Palmer, F.B.; Graff, J.C.; Jones, T.L.; Murphy, L.E.; Keisling, B.L.; Whitaker, T.M.; Wang, L.; Tylavsky, F.A. Socio-demographic, maternal, and child indicators of socioemotional problems in 2-year-old children: A cohort study. *Medicine* **2018**, *97*, e11468. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011468>
5. Britto, P.R.; Lye, S.J.; Proulx, K.; Yousafzai, A.K.; Matthews, S.G.; Vaivada, T.; Perez-Escamilla, R.; Rao, N.; Ip, P.; Fernald, L.C.H.; et al. Nurturing care: Promoting early childhood development. *Lancet* **2017**, *389*, 91–102. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31390-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31390-3)
6. Carter, A.S.; Briggs-Gowan, M.J.; Davis, N.O. Assessment of young children's social-emotional development and psychopathology: Recent advances and recommendations for practice. *J. Child Psychol. Psychiatry* **2004**, *45*, 109–134. <https://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00316.x>

7. Candini, M.; di Pellegrino, G.; Frassinetti, F. The plasticity of the interpersonal space in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia* **2020**, *147*, 107589. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107589>
8. Cavadini, T.; Courbois, Y.; Gentaz, E. Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *PLoS ONE* **2022**, *17*, e0266176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266176>
9. Pavlova, M.A. Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cereb. Cortex* **2011**, *22*, 981–995. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr156>
10. Bardi, L.; Regolin, L.; Simion, F. Biological motion preference in humans at birth: Role of dynamic and configural properties. *Dev. Sci.* **2011**, *14*, 353–359. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00985.x>
11. Johansson, G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Percept. Psychophys.* **1973**, *14*, 201–211. <https://doi.org/10.3758/BF03212378>
12. Johansson, G. Spatio-temporal differentiation and integration in visual motion perception. *Psychol. Res.* **1976**, *38*, 379–393. <https://doi.org/10.1007/BF00309043>
13. Salva, R.O.; Mayer, U.; Vallortigara, G. Roots of a social brain: Developmental models of emerging animacy-detection mechanisms. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **2015**, *50*, 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.12.015>
14. Simion, F.; Regolin, L.; Bulf, H. A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2008**, *105*, 809–813. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707021105>
15. Bidet-Ildei, C.; Kitromilides, E.; Orliaguet, J.P.; Pavlova, M.; Gentaz, E. Preference for point-light human biological motion in newborns: Contribution of translational displacement. *Dev. Psychol.* **2014**, *50*, 113–120. <https://doi.org/10.1037/a0032956>
16. Hirai, M.; Senju, A. The two-process theory of biological motion processing. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **2020**, *111*, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.01.010>
17. Dawson, G.; Meltzoff, A.N.; Osterling, J.; Rinaldi, J.; Brown, E. Children with autism fail to orient to naturally occurring social stimuli. *J. Autism Dev. Disord.* **1998**, *28*, 479–485. <https://doi.org/10.1023/A:1026043926488>
18. Farroni, T.; Chiarelli, A.M.; Lloyd-Fox, S.; Massaccesi, S.; Merla, A.; Di Gangi, V.; Mattarello, T.; Faraguna, D.; Johnson, M.H. Infant cortex responds to other humans from shortly after birth. *Sci. Rep.* **2013**, *3*, 2851. <https://doi.org/10.1038/srep02851>
19. Salva, R.O.; Farroni, T.; Regolin, L.; Vallortigara, G.; Johnson, M.H. The evolution of social orienting: Evidence from chicks (*gallus gallus*) and human newborns. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e18802. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018802>

20. Chevallier, C.; Kohls, G.; Troiani, V.; Brodtkin, E.S.; Schultz, R.T. The social motivation theory of autism. *Trends Cogn. Sci.* **2012**, *16*, 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>
21. Chita-Tegmark, M. Social attention in asd: A review and meta-analysis of eye-tracking studies. *Res. Dev. Disabil.* **2016**, *48*, 79–93. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.011>
22. Goren, C.C.; Sarty, M.; Wu, P.Y.K. Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics* **1975**, *56*, 544–549.
23. Pascalis, O.; de Schonen, S.; Morton, J.; Deruelle, C.; Fabre-Grenet, M. Mother's face recognition by neonates: A replication and an extension. *Infant Behav. Dev.* **1995**, *18*, 79–85. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(95\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0163-6383(95)90009-8)
24. Turati, C.; Macchi Cassia, V.; Simion, F.; Leo, I. Newborns' face recognition: Role of inner and outer facial features. *Child Dev.* **2006**, *77*, 297–311. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00871.x>
25. Farroni, T.; Menon, E.; Johnson, M.H. Factors influencing newborns' preference for faces with eye contact. *J. Exp. Child Psychol.* **2006**, *95*, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.08.001>
26. Hunnius, S.; de Wit, T.C.J.; Vries, S.; von Hofsten, C. Facing threat: Infants' and adults' visual scanning of faces with neutral, happy, sad, angry, and fearful emotional expressions. *Cogn. Emot.* **2011**, *25*, 193–205. <https://doi.org/10.1080/15298861003771189>
27. Dollion, N.; Soussignan, R.; Durand, K.; Schaal, B.; Baudouin, J.-Y. Visual exploration and discrimination of emotional facial expressions in 3-, 7- and 12-month-old infants. *J. Vis.* **2015**, *15*, e795. <https://doi.org/10.1167/15.12.795>
28. Dawson, G.; Webb, S.J.; McPartland, J. Understanding the nature of face processing impairment in autism: Insights from behavioral and electrophysiological studies. *Dev. Neuropsychol.* **2005**, *27*, 403–424. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2703_6
29. Pascalis, O.; Fort, M.; Quinn, P.C. Development of face processing: Are there critical or sensitive periods? *Curr. Opin. Behav. Sci.* **2020**, *36*, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.05.005>
30. Bayet, L.; Pascalis, O.; Gentaz, E. The development of emotional facial expression discrimination by infants in the first year of life. *L'Année Psychol.* **2014**, *114*, 469–500. <https://doi.org/10.4074/S0003503314003030>
31. Tanaka, J.W.; Gordon, I. Features, configuration, and holistic face processing. In *The Oxford Handbook of Face Perception*; Rhodes, G., Haxby, J., Eds.; OUP Oxford: Oxford, UK, 2011; pp. 177–194.
32. Grossmann, T.; Striano, T.; Friederici, A.D. Developmental changes in infants' processing of happy and angry facial expressions: A neurobehavioral study. *Brain Cogn.* **2007**, *64*, 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.10.002>

33. Aubineau, L.-H.; Vandromme, L.; Le Driant, B. L'attention conjointe, quarante ans d'évaluations et de recherches de modélisations. *L'Année Psychol.* **2015**, *115*, 141–174. <https://doi.org/10.3917/anpsy.151.0141>
34. Mundy, P.; Newell, L. Attention, joint attention, and social cognition. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* **2007**, *16*, 269–274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00518.x>
35. Mundy, P.; Jarrold, W. Infant joint attention, neural networks and social cognition. *Neural Netw.* **2010**, *23*, 985–997. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2010.08.009>
36. Mundy, P.; Block, J.; Delgado, C.; Pomares, Y.; Van Hecke, A.V.; Parlade, M.V. Individual differences and the development of joint attention in infancy. *Child Dev.* **2007**, *78*, 938–954. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01042.x>
37. Tasker, S.L.; Schmidt, L.A. The “dual usage problem” in the explanations of “joint attention” and children’s socioemotional development: A reconceptualization. *Dev. Rev.* **2008**, *28*, 263–288. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.07.001>
38. Franchini, M.; Glaser, B.; Gentaz, E.; Wood de Wilde, H.; Eliez, S.; Schaer, M. The effect of emotional intensity on responses to joint attention in preschoolers with an autism spectrum disorder. *Res. Autism Spectr. Disord.* **2017**, *35*, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.11.010>
39. Hamlin, J.K.; Wynn, K.; Bloom, P. Social evaluation by preverbal infants. *Nature* **2007**, *450*, 557–559. <https://doi.org/10.1038/nature06288>
40. Kohlberg, L. Moral development and identification. In *Child Psychology: The Sixty-Second Yearbook of the National Society for the Study of Education, Part 1*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1963; pp. 277–332. <https://doi.org/10.1037/13101-008>
41. Kuhlmeier, V.A.; Dunfield, K.A.; O'Neill, A.C. Selectivity in early prosocial behavior. *Front. Psychol.* **2014**, *5*, 836. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00836>
42. Hamlin, J.K.; Wynn, K.; Bloom, P. Three-month-olds show a negativity bias in their social evaluations. *Dev. Sci.* **2010**, *13*, 923–929. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00951.x>
43. Hamlin, J.K.; Wynn, K. Young infants prefer prosocial to antisocial others. *Cogn. Dev.* **2011**, *26*, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.09.001>
44. Holvoet, C.; Scola, C.; Arciszewski, T.; Picard, D. Infants’ preference for prosocial behaviors: A literature review. *Infant Behav. Dev.* **2016**, *45*, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2016.10.008>
45. Margoni, F.; Surian, L. Infants’ evaluation of prosocial and antisocial agents: A meta-analysis. *Dev. Psychol.* **2018**, *54*, 1445–1455. <https://doi.org/10.1037/dev0000538>

46. Scola, C.; Holvoet, C.; Arciszewski, T.; Picard, D. Further evidence for infants' preference for prosocial over antisocial behaviors. *Infancy* **2015**, *20*, 684–692. <https://doi.org/10.1111/inf.12095>
47. Cowell, J.M.; Decety, J. Precursors to morality in development as a complex interplay between neural, socioenvironmental, and behavioral facets. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2015**, *112*, 12657–12662. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508832112>
48. Wessels, M.D.; van der Putten, A.A.J.; Paap, M.C.S. Inventory of assessment practices in people with profound intellectual and multiple disabilities in three european countries. *J. Appl. Res. Intellect. Disabil.* **2021**, *34*, 1521–1537. <https://doi.org/10.1111/jar.12896>
49. Nakken, H.; Vlaskamp, C. Joining forces: Supporting individuals with profound multiple learning disabilities. *Tizard Learn. Disabil. Rev.* **2002**, *7*, 10–15. <https://doi.org/10.1108/13595474200200023>
50. Nakken, H.; Vlaskamp, C. A need for a taxonomy for profound intellectual and multiple disabilities. *J. Policy Pract. Intellect. Disabil.* **2007**, *4*, 83–87. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2007.00104.x>
51. Sheliga, B.M.; Riggio, L.; Rizzolatti, G. Orienting of attention and eye movements. *Exp. Brain Res.* **1994**, *98*, 507–522. <https://doi.org/10.1007/BF00233988>
52. Spitzer, L.; Mueller, S. *Using a Test Battery to Compare Three Remote, Video-Based Eye-Trackers*; Machinery, A.f.C., Ed.; 2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications: Seattle, WA, USA, 2022; pp. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3517031.3529644>
53. Wass, S.V.; Forssman, L.; Leppänen, J. Robustness and precision: How data quality may influence key dependent variables in infant eye-tracker analyses. *Infancy* **2014**, *19*, 427–460. <https://doi.org/10.1111/inf.12055>
54. Holmqvist, K.; Nyström, M.; Andersson, R.; Dewhurst, R.; Jarodzka, H.; Van de Weijer, J. *Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures*; Oxford University Press: Oxford, UK, 2011.
55. Bulf, H.; Valenza, E.; Turati, C. How a hat may affect 3-month-olds' recognition of a face: An eye-tracking study. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e82839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082839>
56. Palama, A.; Malsert, J.; Gentaz, E. Are 6-month-old human infants able to transfer emotional information (happy or angry) from voices to faces? An eye-tracking study. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0194579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194579>
57. Fantz, R.L. Pattern vision in newborn infants. *Science* **1963**, *140*, 296–297. <https://doi.org/10.1126/science.140.3564.296>
58. Oakes, L.M. Infancy guidelines for publishing eye-tracking data. *Infancy* **2010**, *15*, 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2010.00030.x>

59. Bylinskii, Z.; Borkin, M.A.; Kim, N.W.; Pfister, H.; Oliva, A. Eye fixation metrics for large scale evaluation and comparison of information visualizations. In *Eye Tracking and Visualization. Foundations, Techniques, and Applications*. Etvis 2015; Burch, M., Chuang, L., Fisher, B., Schmidt, A., Weiskopf, D., Eds.; Springer International Publishing: Chicago, IL, USA, 2017; pp. 235–255. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47024-5_14
60. Negi, S.; Mitra, R. Fixation duration and the learning process: An eye tracking study with subtitled videos. *J. Eye Mov. Res.* **2020**, *13*, 1–13. <https://doi.org/10.16910/jemr.13.6.1>
61. Franchini, M.; Wood de Wilde, H.; Glaser, B.; Gentaz, E.; Eliez, S.; Schaer, M. Brief report: A preference for biological motion predicts a reduction in symptom severity 1 year later in preschoolers with autism spectrum disorders. *Front. Psychiatry* **2016**, *7*, 143. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2016.00143>
62. Pierce, K.; Conant, D.; Hazin, R.; Stoner, R.; Desmond, J. Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Arch. Gen. Psychiatry* **2011**, *68*, 101–109. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.113>
63. Lundqvist, D.; Flykt, A.; Öhman, A. The karolinska directed emotional faces—Kdef (cd rom). In *The Karolinska Directed Emotional Faces—KDEF (CD ROM)*; Department of Neurosciences, Karolinska Hospital: Stockholm, Sweden, 1998.
64. Goeleven, E.; De Raedt, R.; Leyman, L.; Verschuere, B. The karolinska directed emotional faces: A validation study. *Cogn. Emot.* **2008**, *22*, 1094–1118. <https://doi.org/10.1080/02699930701626582>
65. Caron, R.F.; Caron, A.J.; Myers, R.S. Do infants see emotional expressions in static faces? *Child Dev.* **1985**, *56*, 1552–1560. <https://doi.org/10.2307/1130474>
66. Risko, E.F.; Laidlaw, K.; Freeth, M.; Foulsham, T.; Kingstone, A. Social attention with real versus reel stimuli: Toward an empirical approach to concerns about ecological validity. *Front. Hum. Neurosci.* **2012**, *6*, 143. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00143>
67. Glöckner, A.; Herbold, A.-K. An eye-tracking study on information processing in risky decisions: Evidence for compensatory strategies based on automatic processes. *J. Behav. Decis. Mak.* **2011**, *24*, 71–98. <https://doi.org/10.1002/bdm.684>
68. Richards, J. The development of visual attention and the brain. In *The Cognitive Neuroscience of Development*; De Haan, M., Ed.; Psychology Press: New York, NY, USA, 2003; pp. 73–98.
69. Genoud, P.A. *Indice de Position Socioéconomique (ipse): Un Calcul Simplifié [Socio-Economic Position Index (sepi): A Simplified Calculation]*; University of Fribourg: Fribourg, Switzerland, 2011.
70. Sifre, R.; Olson, L.; Gillespie, S.; Klin, A.; Jones, W.; Shultz, S. A longitudinal investigation of preferential attention to biological motion in 2- to 24-month-old infants. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 2527. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20808-0>

71. Pavlova, M.; Krägeloh-Mann, I.; Sokolov, A.; Birbaumer, N. Recognition of point-light biological motion displays by young children. *Perception* **2001**, *30*, 925–933. <https://doi.org/10.1068/p3157>
72. Blake, R.; Turner, L.M.; Smoski, M.J.; Pozdol, S.L.; Stone, W.L. Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychol. Sci.* **2003**, *14*, 151–157. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01434>
73. Sweeny, T.D.; Wurnitsch, N.; Gopnik, A.; Whitney, D. Sensitive perception of a person's direction of walking by 4-year-old children. *Dev. Psychol.* **2013**, *49*, 2120–2124. <https://doi.org/10.1037/a0031714>
74. Zhao, J.; Wang, L.; Wang, Y.; Weng, X.; Li, S.; Jiang, Y. Developmental tuning of reflexive attentional effect to biological motion cues. *Sci. Rep.* **2014**, *4*, 5558. <https://doi.org/10.1038/srep05558>
75. Hadad, B.-S.; Schwartz, S.; Maurer, D.; Lewis, T. Motion perception: A review of developmental changes and the role of early visual experience. *Front. Integr. Neurosci.* **2015**, *9*, 49. <https://doi.org/10.3389/fnint.2015.00049>
76. Poujol, A.L.; Boissel, A.; Guédon, D.; Guénolé, N.; Mellier, D.; Scelles, R. Évaluation-cognition-polyhandicap (ecp): Apports d'une approche qualitative dans l'élaboration et la validation d'un outil [the cognitive skills assessment scale for profound intellectual and multiple disabilities persons: The qualitative process contributions for the validation]. *Psychol. Française* **2021**, *66*, 207–222. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2020.09.003>
77. Cavadini, T.; Courbois, Y.; Gentaz, E. Improving social-emotional abilities in children and adolescents with profound intellectual and multiple disabilities through an innovative person-centred training using eye-tracking technology. Submitted.

Chapitre 6. Étude 3 : Promouvoir les compétences socio-émotionnelles de jeunes polyhandicapés grâce à un entraînement centré sur la personne utilisant l'oculométrie

Résumé de l'étude 3

Les personnes polyhandicapées se caractérisent par une combinaison de déficiences intellectuelles et de handicaps moteurs profonds fréquemment associés à un certain nombre de déficiences ou de troubles secondaires graves. L'objectif de l'étude était d'évaluer les effets d'un entraînement innovant centré sur la personne recourant à des jeux vidéo ludiques et interactifs (*serious games*) contrôlés par le suivi oculaire (eye-tracking) pour soutenir les compétences socio-émotionnelles de ces personnes. Neuf participants polyhandicapés âgés de 7 à 18 ans ont été suivis sur une période d'un an. Un design pré-test (T1) – entraînement – post-test (T2) a été utilisé. À T1 et T2, l'attention visuelle et six compétences socio-émotionnelles (attention préférentielle pour le mouvement biologique, orientation sociale, exploration des expressions faciales, discrimination des visages émotionnels, attention conjointe et évaluations socio-morales) ont été évaluées à l'aide d'un paradigme expérimental combinant diverses tâches de préférences visuelles mesurées avec un dispositif d'oculométrie. Au cours de la phase d'entraînement, chaque participant a bénéficié de séances individuelles personnalisées, adaptées à ses compétences sur la base des résultats de T1 et des observations de leurs praticiens. Lors de ces séances, l'expérimentateur choisissait parmi un ensemble de *serious games* développés pour entraîner spécifiquement l'attention visuelle et les six compétences socio-émotionnelles susmentionnées, ceux qu'il jugeait les mieux adaptés à l'état de santé et de vigilance du participant, à ses compétences personnelles et à ses besoins spécifiques. Les résultats ont montré que tous les participants ont amélioré leur exploration visuelle de l'écran entre T1 et T2. De plus, ils ont tous progressé dans au moins une des six compétences socio-émotionnelles testées. Ces résultats montrent qu'il est possible de renforcer certaines compétences socio-émotionnelles chez ces personnes polyhandicapées à l'aide d'un entraînement adapté et personnalisé, démontrant ainsi qu'elles ont des capacités d'apprentissage insoupçonnées.

Improving social-emotional abilities in children with profound intellectual and multiple disabilities through a person-centred eye-tracking-based training³

6.1. Abstract

Individuals with profound intellectual and multiple disabilities (PIMD) are characterized by a combination of a profound intellectual disabilities and a profound motor disability frequently associated with a number of additional severe secondary disabilities or impairments. The aim of the study was to evaluate the effects of an innovative person-centred training based on eye-tracking computerised serious games on the social-emotional abilities in these individuals with PIMD. Nine participants aged 7-18 years were followed over a period of 1 year. A pre-test (T1) – training – post-test (T2) design was used. During T1 and T2, visual attention and six social-emotional abilities (preferential attention to biological motion, social orienting, facial expression exploration, emotional faces discrimination, joint attention and socio-moral evaluations) were assessed using an eye-tracking-based experimental paradigm combining various visual preference tasks. During the training, each participant benefited from personalized one-to-one sessions tailored to their skills based on results of T1 and the observations of their practitioners. To implement person-centred training, the experimenter chose from a set of serious games to train these social-emotional abilities, those he felt were best suited to the participant's current state of health and alertness, personal skills and specific needs. All participants improved their visual exploration between T1 and T2. In addition, they all made progress on at least one of the six social-emotional competencies. These results showed that it is possible to increase some social-emotional abilities in these individuals with an adapted training, thus demonstrating that they also have unsuspected learning abilities.

Keywords: Social-emotional training, eye-tracking, learning abilities, profound intellectual and multiple disabilities

³ Cette expérience est une reproduction du manuscrit soumis pour publication : Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (submitted). Improving social-emotional abilities in children with profound intellectual and multiple disabilities through a person-centred eye-tracking-based training.

6.2. Introduction

People with profound intellectual and multiple disabilities (PIMD) have two key defining characteristics: (a) profound intellectual disability and (b) profound motor disability. They also have a number of additional severe or profound secondary disabilities or impairments (Nakken & Vlaskamp, 2007). This is a heterogeneous group of particularly vulnerable individuals with significant limitations both in intellectual functioning and adaptive behaviour as expressed in conceptual, social, and practical adaptive skills (Schalock, Luckasson, & Tassé, 2021). In order to provide appropriate personalized assistance to people with such severe disabilities, support persons have to be sufficiently knowledgeable about individual needs, possibilities, or preferences (Vlaskamp, Hiemstra, & Wiersma, 2007). This is particularly difficult to do with the PIMD population since assessing persons with PIMD is a challenging process with multiple issues (Nakken & Vlaskamp, 2007; Vlaskamp, 2005). A recent overview identified the following six main methodological challenges in conducting research with individuals with PIMD: (a) participant demarcation (where the authors point out the different terminologies, the discussions about core elements of definition and the difficulties in operationalization and assessment of core elements), (b) participant recruitment (where the authors note the small sample sizes frequently due to low prevalence rates and lack of official PIMD diagnosis in young children, health problems causing dropout, limited numbers of recruitment channels and oversubscription, difficulties reaching and motivating families, underestimation of the learning potential of persons with PIMD), (c) data collection and instruments (where the authors point out the lack of specifically developed and evaluated instruments, difficulties in applying instruments for typically developing children, unsuitability of self-report, unclear validity of proxy report, problems with reliability and validity of behavioural observations, fluctuating alertness and attention levels of persons with PIMD, and disruptive factors in daily life situations), (d) data analysis (where the authors note that it is not always possible to take heterogeneity of the target group into account, and point out the use of non-parametric tests, the reliability and validity of qualitative data analysis, and the difficulties in finding an appropriate control group), (e) ethics (where the authors point out challenges in obtaining informed consent of persons with PIMD, in including the “voice” of persons with PIMD within the research process and in including significant others within the research process) and (f) theoretical models (where the authors note a lack of specific theoretical models and point out doubts about applicability of general theoretical models and the need for development of adapted/new specific theoretical models) (Maes et al., 2021).

In this context, the development of technologies such as eye-tracking may well help to facilitate the assessment of this population. Very few studies have already been carried out with this aim, for example, Chard, Roulin and Bouvard (2014) used a visual habituation procedure to test the existence of the habituation/novelty reaction phenomenon in 15 adults with PIMD aged 35-54 years following the principles of a participant-controlled procedure. By conducting both qualitative and quantitative analyses of the observed behaviours (e.g., attention getting and holding processes) using a specially designed apparatus, they were able to show that the PIMD participants presented similar habituation profiles generally obtained in infant studies (Chard et al., 2014).

Recently, we demonstrated the relevance of the eye-tracking-based experimental paradigm we designed to assess six social-emotional abilities by using it with nine young individuals with PIMD (Cavadini, Courbois & Gentaz, 2022). This paradigm combined various visual preference tasks adapted from pre-existing infant studies to test social-emotional abilities of great importance in later communicative development. Based on these first results, we aimed to use the eye-tracking technology to support social-emotional abilities in children and adolescents with PIMD through the implementation of person-centred training (Ratti et al., 2016). The person-centred approach tailors services around the individual rather than enforcing a "one-size-fits-all" structures as a system-centred approach does (Kaehne & Beyer, 2014). Implementing such training programmes would enable us to explore the learning potential abilities of these individuals by providing knowledge about the perceptual learning process in PIMD individuals. Perceptual learning generally refers to experience-induced changes in the way information is extracted. A large and growing set of research results indicates that such changes are not only possible but pervasive in human information processing (Kellman, 2002). This specific and implicit type of early learning occurs at different levels of information processing: on a full spectrum of tasks, from processing the most basic sensory discriminations to apprehending the most complex spatial and temporal patterns and relations, experience improves the pickup of information. These improvements affect almost all skilled behaviour, form important foundations of higher cognitive processes, interact with other kinds of learning in important ways, and furnish one of the most important components of high-level expertise (Kellman, 2002). Because of the nature of their disabilities, persons with PIMD are much more dependent on their perceptual system rather than their procedural (motor) system in the processing of external objects, which represents a major constraint with regard to learning in general. Despite their status as passive observers, PIMD individuals are regularly exposed to

dynamic social and emotional stimuli in the course of daily activities (from practitioners, care staff and in their family). Consequently, they may have developed unsuspected cognitive and socio-emotional abilities through daily exposure to repeated perceptual events associated with subjective experience that cannot be assessed with existing evaluation methods and instruments but that eye-tracking-based training programmes could help to identify, thus contributing to better understanding the perceptual learning process in this population.

In the current study a pre-test – training – post-test design was used in order to investigate the effect of an innovative person-centred training using the eye-tracking technology to support social-emotional abilities in nine young PIMD individual (single cases) followed over a period of one year. Social-emotional abilities were assessed during test phases using the revised version of the eye-tracking-based experimental paradigm developed by Cavadini et al. (2022; 2024) that combined various visual preference tasks adapted from pre-existing infant studies. Six social-emotional abilities of great importance in later communicative development were investigated, namely: preferential attention to biological motion, social orienting, facial expression exploration, emotional faces discrimination (anger vs. joy, joy vs. sadness and anger vs. sadness), joint attention and socio-moral evaluation.

Preferential attention to biological motion, which is one of the earliest perceptual abilities involved in the development of non-verbal communication (Pavlova, 2011), was assessed by the “PLM-Task”. It consisted in simultaneously presenting two sets of nine dynamic light points arranged on a black background on either side of the screen, one depicting a human walking movement (biological motion), the other a random movement (non-biological motion) (Bidet-Ildei, Kitromilides, Orliaguet, Pavlova, & Gentaz, 2014; Johansson, 1973). Using similar paradigms, a large body of work has confirmed and demonstrated the existence of a spontaneous preference for biological over non-biological motion in humans but also in a wide range of animal species (Salva, Mayer, & Vallortigara, 2015). Moreover, this sensitivity appears very early in development: from the first days of life, human neonates preferentially direct their attention to this type of movement (Bardi, Regolin, & Simion, 2011; Bidet-Ildei et al., 2014; Simion, Regolin, & Bulf, 2008).

Social orienting was assessed using the “SO-Task” designed by Franchini et al. (2016) based on the previous work of Pierce et al. (2011), in which children dancing solo next to moving geometric shapes were presented to participants in order to test whether they were able to discriminate socially salient stimuli from non-social scenes. Like preferential attention to

biological motion, social orienting (i.e. the intrinsic ability to preferentially orient to our surrounding social environment (Dawson, Meltzoff, Osterling, Rinaldi, & Brown, 1998)) appears very early in development: from birth, newborns show a particular sensitivity to socially salient stimuli (Farroni et al., 2013; Salva, Farroni, Regolin, Vallortigara, & Johnson, 2011). This includes being especially attracted to the people around them as well as to sounds, movements, and features of the human face (Farroni, Menon, & Johnson, 2006). This predisposition to orient preferentially to the social environment is of crucial importance the early in social-communicative development: by orienting to peers, infants prompt further interaction, creating rich learning opportunities through reciprocal social engagement (Chevallier, Kohls, Troiani, Brodtkin, & Schultz, 2012).

Pairs of emotional (angry, happy and sad) faces of female and male models from the Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) database (Lundqvist, Flykt, & Öhman, 1998) were used to test face exploration in our participants, and more specifically whether they looked more at the eye area than at the mouth one. Numerous studies have demonstrated that both adults and children look at the eye area more than at any other facial feature (Hunnius, de Wit, Vrins, & von Hofsten, 2011; Palama, Malsert, & Gentaz, 2018). This preference has also been found in infants as young as three months of age (Dollion, Soussignan, Durand, Schaal, & Baudouin, 2015). The same stimuli were also used to test the ability to discriminate angry from happy faces, angry from sad faces and happy from sad faces. A very large body of work has studied the typical development of discrimination of emotional facial expressions during the early years. The literature review by Bayet, Pascalis and Gentaz (2014) showed the existence of a sensitivity to changes in facial expression as well as an attraction to happy faces from the first days of life. However, the latter is not systematically reported at that age because newborns' discrimination abilities are limited by their low visual acuity and experience, and are modulated by several environmental factors (e.g., familiarity, contrast, intensity, etc.) (Tanaka & Gordon, 2011). This preference for smiling faces observed, under specific conditions, from birth, persists and is perfected during the first months of life. Between 3 and 6 months of age, babies are progressively able to differentiate joy from other emotional expressions: at 3 months, they discriminate the expression of joy from anger (frowning) and surprise; they then succeed in differentiating joy from sadness between 3 and 5 months, and from fear at 4 months, whereas they are able to discriminate between joy and neutral expressions as well as between joy and surprise from 5 months (Bayet et al., 2014). Finally, it is only from 6-7 months that babies are

able to distinguish between expressions other than smiling (Grossmann, Striano, & Friederici, 2007).

Joint attention, defined as a co-created outcome of an interaction in which two individuals shared interest in the same object (Aubineau, Vandromme, & Le Driant, 2015), was assessed by the “RJA-Task”. This task tested whether the participant spent more time looking at an object pointed at or looked at with a surprised expression by an actress than at the same object neither pointed at nor looked at by her (Franchini et al., 2017). Joint attention is one of the earliest mechanisms by which a child can interact and learn (Mundy & Newell, 2007).

Finally, an adaptation of Hamlin, Wynn and Bloom's (2007) “Climbing the Hill” paradigm, referred to here as the “SME-Task”, was used to test participants' socio-moral evaluations through their visual preferences for pro- versus anti-social behaviour. Socio-moral ability can be defined as the capacity to evaluate others based on their prosocial or antisocial actions toward others (Hamlin et al., 2007). Although moral judgment (studied with verbal tasks) follows a staged development that extends from infancy to adolescence (Kohlberg, 1963), its foundations may be initiated very early. Indeed, it appears that infants are able to intuitively evaluate some social interactions long before the emergence of self-awareness, language, and theory of mind (Kuhlmeier, Dunfield, & O'Neill, 2014). By creating the Hill paradigm in which a puppet trying to climb a hill is either *helped* in its action by another character (i.e., the ‘helper’ with a prosocial behaviour) or *prevented* from reaching the top by another one pushing it down (i.e., the ‘hinderer’ with an antisocial behaviour), Hamlin, Wynn and Bloom (2007) showed for the first time that infants were more attracted to prosocial actions (exhibiting reaching, grasping behaviours) as early as 6 months of age. By adding a visual preference procedure to this paradigm, they were even able to find that 10-month-old infants preferred to look at prosocial agents (Hamlin et al., 2007).

Between the two test phases, which took place a year apart, the training phase was conducted. This consisted of implementing an innovating person-centred training during which each participant regularly benefited from personalized one-to-one sessions (from 1 to 5 sessions per week of 15 to 30 minutes) tailored to their individual skills and needs. Through the use of computerised serious games designed especially for this research project, the study intended to provide new tools to support specific social emotional abilities in children and adolescents with PIMD and to promote broader cognitive skills using eye-tracking technology.

The aim of the current study was therefore to test the effect of implementing the person-centred training programme. For this purpose, we compared gaze rates on the visual stimuli measured in the test phases before and after the training phase (T1 vs. T2).

6.3. Methods

The present study (including experimental protocol and data collection) was conducted in accordance with ethical principles for research involving human subjects (World Medical Association Declaration of Helsinki) and was approved by the Ethics Committee of the University of Geneva. All parents gave their informed written consent for their child to take part and for the information to be published in an online open-access publication. All adults' participants gave their informed written consent to take part in the study. All names of participants reported in the current manuscript and in the database attached to it are pseudonyms. As a result, all information relating to the participants is anonymised in this manuscript and in the documents attached to it.

6.3.1. Participants

The present study included three distinct populations: an average 2-year-old control group (equivalent to the estimated developmental age of the PIMD population (Nakken & Vlaskamp, 2007)), an adult control group and nine young individuals with PIMD.

The first control group was composed of 56 TD children (28 girls and 28 boys), aged 12 to 35 months ($M = 22.31$, $SD = 6.88$). Every age between 12 and 35 months was fairly represented. They were all French-speaking Caucasian and lived in rural areas (< 3000 inhabitants; $n = 7$), villages (3000 – $10'000$ inhabitants; $n = 11$), and urban areas ($> 10'000$ inhabitants; $n = 38$) in the surroundings of Geneva, Switzerland. All infants were full-term and healthy.

The second control group consisted of 101 TD adults (63 females and 38 males) aged 18 to 62 years ($M = 28.3$, $ET = 9.49$) recruited from the Geneva area in Switzerland. The majority ($n = 68$) were university students (bachelor's, master's or doctoral candidates), of whom 45 were students in psychology and 23 in another faculty. 27 individuals were salaried employees and 6 were unemployed.

Finally, this single-case study included nine children and adolescents (six girls and three boys, aged 7-18 years) with a diagnosis of PIMD. They all met the criteria set by the internationally accepted definition that the PIMD population consists of individuals with a

profound intellectual disability in combination with a severe or profound motor disability (Nakken & Vlaskamp, 2007). Individual profiles of each of the nine participants are described below using pseudonyms in order to preserve the anonymity of the participants. Overall, none of them had functional verbal communication. They also all experienced severe motor limitations in their movement, not walking autonomously, and were thus totally dependent on support persons for all activities of daily life. Each was enrolled in the same Medical-Educational Institute (MEI) of the French Red Cross.

Participants' individual cognitive skill profile were established by a psychologist (who had known each of them for at least one year) using the Evaluation-Cognition-PIMD (ECP) scale (Poujol et al., 2021), which is presented in details later in the Methods section. Individual standardized scores (*t*-scores) on the ECP subscales are presented in Table 1.

Participant #1: Zoe was 7 years and 8 months old at the start of the current study. She was diagnosed with PIMD due to neonatal microcephaly caused by a mutation in the *ASNS* gene. This specific genetic anomaly responsible for Zoe's microcephaly was only identified in 2013 (Ruzzo et al., 2013): by 2018, no more than thirty cases had been described in the scientific literature (Schleinitz et al., 2018). Zoe presented axial hypotonia and peripheral hypertonia of the lower limbs with equinus feet. Despite this, she was able to crawl freely in her living space and was also capable of sitting up on her own. Zoe had no particular sensory deficits and showed relatively high attentional skills.

Participant #2: Nina was a girl aged 9 years and 2 months diagnosed with PIMD due to a Rett syndrome (RTT) resulting from a mutation in the *MECP2* gene. Regarding the RTT cascade of clinical symptoms delineated in a staging system by Engerström (1990), Nina entered the Late Motor Deterioration stage (stage IV) since she ceased walking and became wheelchair-dependent. She presented a severe loss of muscle tone (hypotonia), postural stiffness, and varus feet. Nina also showed stereotyped hand movements, breathing irregularities (hyperventilation during wakefulness, forced expulsion of air and saliva), and a seizure disorder. She had no particular sensory deficits except for a strabismus and slight hyperopia corrected by wearing glasses. Nina showed remarkable eye contact and visual pointing behaviours, and appeared to have high attentional skills.

Participant #3: Suzan was a 10-year-old girl diagnosed with PIMD due to a hypoxic-ischemic encephalopathy (HIE) resulting from a sudden infant death from which she was rescued at the age of 4 months. She presented spastic tetraparesia associated with significant

hypotonia. Her secondary deficits included severe epilepsy, right hip dislocation, and sleeping disorders. Suzan tended to be quite floppy, showing minimal reactions to sights or sounds, and exhibiting fluctuating abilities. She had no particular sensory deficits other than the fact that she was often hypothermic. She had relatively low scores on almost all ECP subscales (particularly with regard to spatial-temporal skills and learning; conversely, her best score was for socio-emotional skills).

Participant #4: Jane was a 12-year-old girl diagnosed with PIMD due to Nicolaides-Baraitser syndrome caused by a heterozygous missense mutation in the SMARCA2 gene combined with a Chiari type 1 malformation. Despite ankle dorsiflexion, equinovarus feet, and rheumatological disorders, Jane was able to walk (crouching gait) short distances with the assistance of a support person to move freely around a room or to reach a goal. She obtained a relatively high score on the ECP subscale measuring spatial-temporal skills. On the other hand, her scores on learning and sensory skills were low, although she had no particular sensory deficits.

Participant #5: Betty was a 14-and-a-half-year-old girl diagnosed with PIMD due to infantile epileptic encephalopathy with hypsarrhythmia identified as idiopathic West syndrome (also known as infantile spasms). Betty's severe generalized tonic-clonic seizures (consisting of series of sudden involuntary muscle contractions in flexion) first appeared when she was 5 months old, although she had no genetic abnormalities or any brain damage. She presented axial hypotonia (mainly in the extensor muscles of the neck and spine, leading to a global kyphosis of the latter) and peripheral hypertonia (stiffness of the lower limbs). She had no particular sensory deficits but exhibited significant, challenging, self-aggressive behaviours and stereotyped movements of the upper limbs. Betty showed very limited communicative and attentional skills resulting in difficulties in maintaining eye contact and decreased responses to sound stimuli.

Participant #6: Elise was a teenage girl aged 15 years and 5 months diagnosed with PIMD due to early infantile epileptic encephalopathy (EIEE) with suppression-burst, also known as Ohtahara syndrome, caused by a heterozygous missense mutation in the STXBP1 gene. She presented hypertonia, spasticity, dorso-lumbar scoliosis, hip subluxation as well as severe and irreducible foot deformities: equinovalgus left foot and varus right foot. As associated secondary disorders, Elise had early onset of puberty (from the age of 8 years) and chronic constipation. She had no particular sensory deficits except for reflexive startle movements to

noises (accentuated by fatigue). She obtained high scores on the ECP subscales measuring attentional and socio-emotional skills. However, her scores on memory and sensory skills were quite low.

Participant #7: Mike was a 16-year-old teenage boy diagnosed with PIMD due to neonatal epileptic encephalopathy (NEE) caused by a heterozygous pathogenic variant in the KCNQ2 gene. He presented axial hypotonia and spastic quadriplegia yet he was able to walk a few meters with support (crouch gait), make the transition from sitting to standing, and stand for a while, especially when changing posture (e.g., from his wheelchair to other support devices), during care or dressing. Mike exhibited several stereotyped behaviours but no particular sensory deficits. Consistently, he scored rather high on almost all ECP subscales, particularly with regard to spatial-temporal skills and memory. In addition, he had great eye contact and very precise visual pointing behaviours. Combined with his cognitive performance, Mike's accurate ocular movements enabled him to start learning to use an alternative communication system to express his choices by selecting corresponding pictograms.

Participant #8: John was a male adolescent of 17 years and 6 months diagnosed with PIMD due to an Aromatic L-amino acid decarboxylase (AADC) deficiency, consisting in a rare autosomal recessive neurometabolic disorder. John presented severe hypotonia, spasticity and muscle stiffness. He had no particular sensory deficits but exhibited many uncontrolled movements (oculogyric crisis, dystonia, and hypokinesia), and autonomic symptoms such as impaired sweating, nasal congestion, drooling, hypotension, and severe gastroesophageal reflux. John had relatively high cognitive skills, especially in communication, memory (visual and auditory) and in reasoning. Through the regular use of computer-based educational programmes over the past two years, John's understanding of causal relationships has improved significantly. He also had good social-emotional skills. John was very expressive (showing his joy, happiness and interest but also his disagreement and opposition through different reactions), joking and receptive to humour and irony.

Participant #9: Tim was a 17-year-11-month-old male adolescent diagnosed with PIMD due to Ring chromosome 14 syndrome, characterized by early onset refractory epilepsy, intellectual disability, autism spectrum disorder (whereby Tim was first diagnosed with ASD at the age of 4), and a number of diverse health problems such as dorso-lumbar scoliosis, flexion contractures, early arthritis, recurrent pneumonia and respiratory tract infections. Nevertheless,

Tim did not have any additional sensory deficits and showed fairly good attentional and social-emotional skills.

Table 1. Standardized scores (t-scores) on the ECP Scale of the nine PIMD participants at T1.

Participant	#1 Zoe*	#2 Nina*	#3 Suzan*	#4 Jane*	#5 Betty*	#6 Elise*	#7 Mike*	#8 John*	#9 Tim*
Age (years)	7	9	10	12	14	15	16	17	17
ECP subscales									
Sensory	61	51	41	38.5	50	40.5	63	44	52
Attentional	70	66	42	51	51.5	53	66.5	61.5	61.5
Memory	60	58.5	42.5	45.5	41	41	70	54	50
Communicative	60	51	35	48	53	43	65	62	51
Reasoning	47	52	40.5	50	52	52	64	62	54
Spatio-temporal	59.5	52	34	56.5	55	44	72	41	48.5
Learning	50	47	34.5	36	45	45	63	50	50
Social-emotional	62	62	44	51	54	49	69	52	59

Note. * pseudonyms were used to anonymise participants' first names

6.3.2. Test phases

6.3.2.1. Apparatus

Eye-tracking data were collected during the test phases using the screen-based Tobii Pro X3-120 binocular corneal-reflection eye-tracker bar (Tobii Technology AB) which records at a gaze sampling frequency of 120 Hz and has a temporal resolution of 8.3 milliseconds (ms). Two distinct test phases were conducted: T1 occurred between November and December 2021 and T2 occurred one year later (after the training phase) between November and December 2022. At each of these two measurement times, the participants completed either six ($n = 3$) or seven ($n = 6$) individual sessions, depending on their availability (those with the most medical care scheduled completed only six, while those with more free time were able to complete seven sessions). They attended one to two sessions a week over a period of around two months. These sessions were never scheduled in advance: the experimenter went to the MEI one or two days a week and conducted sessions with the participants as soon as one of them was available and suitable (in terms of state of health and alertness) to perform one. Participants were tested in a sound-attenuated and dimly illuminated room and were seated ~65 cm from a 22-inch computer monitor with a resolution of 1920×1080 px (visual angle $\alpha \approx 31.5^\circ$).

6.3.2.2. *Stimuli*

A session consisted of the following elements: (a) a 30-second opening cartoon (to focus participants' attention), (b) a 5-point (for the PIMD participants and the TD children) or a 9-point (for the TD adults) calibration procedure (i.e., completed when five or nine points were successfully calibrated and repeated for the missing ones) in which an expanding-contracting white circle appeared on a black background in every position of a grid extracting five or nine points from the four corners of the screen (a satisfactory calibration was achieved with less than 2° of deviation on the X and Y axes), (c) the implementation of our experimental eye-tracking-based paradigm, and (d) a brief final animation (a puppet thanking the participant and saying goodbye) for a total duration of about 7-8 minutes. Although we had previously demonstrated the feasibility of our experimental paradigm and its suitability for evaluating our nine participants (Cavadini, Courbois & Gentaz, 2022), in the present study we used a revised version of this paradigm (Cavadini, Riviere & Gentaz, 2024) that took into account the limitations highlighted by our previous study. This paradigm consisted of the successive presentation (in random order) of the following different tasks inspired by pre-existing work in the field of infancy research.

The "Point-Light Motion (PLM)-Task" of our paradigm used the stimuli created by Bidet-Ildei et al. (2014) to measure our participants' ability to discriminate biological motion from non-biological motion. Biological motion was represented by dynamic points of light depicting the movement of a human walker (nine points: the head, one shoulder, one elbow, one wrist, one hip, both knees and both ankles) over a second set of nine randomly moving points (non-biological motion). The amount of movement per point was equivalent between conditions (Bidet-Ildei et al., 2014). This task consisted of four 10-second trials separated from each other by a dynamic fixation cross paired with a stimulating sound presented in the centre of the screen for 1.5 seconds. The lateral position of the two motion types was randomly alternated between each trial. They were delineated by two 850×1080-px AOIs. In addition, among the four trials, in two of them the dots were moving from the centre of the screen to the sides and from the sides of the screen to the centre in the other two trials.

The "Social Orienting (SO)-Task" of our paradigm used the stimuli created by Franchini et al. (2016) based on the previous work of Pierce et al. (2011), to measure the ability to discriminate socially salient visual scenes from non-social scenes in our participants. It included eight 5-second trials (for a total duration of approximately 50.5 seconds including the additional

time generated by the presentation of the fixation cross between each trial). The stimuli pairs thus presented consisted of dynamic social images (sequences showing a young boy or girl moving and dancing solo) beside dynamic geometric images (moving geometrical shapes similar to classic abstract screen savers). They were delineated by two 850×1080-px AOIs. The structure of the paired-comparison stimulus display was controlled by the authors who initially designed this task: the stimuli were equal in visual salience independently of social/non-social conditions, the stimulus brightness was also equivalent between conditions as well as was the area of moving elements (Franchini et al., 2016).

The male and female emotional (angry, happy and sad) faces used to test both the *Facial Expression Exploration* and *Emotional Faces Discrimination* abilities of our participants came from the “The Karolinska Directed Emotional Faces – KDEF” (Lundqvist et al., 1998). Since two competencies were studied using emotional faces (Facial expression exploration and Emotional faces discrimination), we decided to dedicate two experimental ‘blocks’ (each composed of three randomly ordered 8-second trials) to these stimuli: one consisting of three pairs of emotional expressions (*angry vs. happy* faces, *angry vs. sad* faces, and *happy vs. sad* faces) of a female model (respectively references F22, F14, and F23) and the other of a male model (respectively references M17, M05, and M16). This selection was made from the 20 best anger, joy and sadness pictures established in the KDEF validation article (Goeleven, De Raedt, Leyman, & Verschuere, 2008). Stimuli were presented in colour on a medium grey background (RGB 100, 100, 100) to increase ecological validity (Risko, Laidlaw, Freeth, Foulsham, & Kingstone, 2012). In each pair of stimuli, the model's teeth were either visible on both faces presented simultaneously or not visible on either face, since teeth have been shown to be a particularly salient facial feature influencing emotion discrimination (Caron, Caron, & Myers, 1985). The hairline, another facial feature known to affect the visual exploration of faces (Turati, Macchi Cassia, Simion, & Leo, 2006) was cropped using GIMP software (version 2.10). Different AOIs were drawn as the two abilities were actually measured by comparing the time spent looking at different locations: (a) time on the *eye area* (composed of two AOIs of 215×215 px each, spaced 80 px apart) vs. on the *mouth area* (consisting of an AOI of 430×215 px, equivalent to the size of the eye area) for visual scanning of facial features, and (b) time on each paired emotion (defined by two 740×980-px AOIs, symmetrically located at a distance of 110 px from the screen centre) for emotion discrimination.

The "Response to Joint Attention (RJA)-Task" of our paradigm used an adaptation of the stimuli created by Franchini et al. (2017) to test participants' ability to follow the direction of others' gaze to share a common point of reference. The task consisted of four 14-second videos in which an actress was standing in front of a table with two identical objects (of different natures, shapes, and colours in each video) on it. In this initial position, the actress was looking directly at the camera. After 2 seconds, the objects started to move, she then suddenly focused her attention on one of them, either by showing an expression of intense surprise for 12 seconds or by pointing at it for the same duration. From a total of 8 available video sequences, the software randomly selected two videos from the 'surprise' condition and two from the 'pointing' condition. The objects' location was defined by two 860×500-px AOIs (symmetrically located at a distance of 50 px from the centre of the screen length) whereas the actress' head was delimited by an additional AOI of the same size. This third area was of great importance because it had to be gazed for at least 500 milliseconds (i.e., minimum fixation duration threshold for visual processing of dynamic scene information in free-viewing condition according to Glöckner and Herbold (2011) for a trial to be validated and included in the analyses. All AOIs were only activated when the actress started to be surprised by one of the objects (i.e., 2 seconds after the video started) for a duration of 12 seconds.

The "Socio-Moral Evaluation (SME)-Task" of our paradigm was an adaptation of the "Climbing the hill" paradigm (Hamlin et al., 2007), in which a 'climber' puppet (a red, circular wooden character with large plastic 'googly' eyes) tried but failed to climb a steep hill, and was randomly either bumped up the hill by the 'helper' (prosocial behaviour) or bumped down the hill by the 'hinderer' (antisocial behaviour). The helper/hinderer roles were counterbalanced over two contrasting stimulus shapes: a blue square and a yellow triangle with googly eyes. Each of these 'climbing scenes' lasted 14 seconds. This first part of the task was followed by a final visual preference scene (consisting of two 12-second trials), in which both the helper and the hinderer puppets were simultaneously presented side by side on the entire screen surface (delineated by two 850×1080-px AOIs). Consequently, our SME-Task differed from the others by its structure (the visual preference scene was only a part of the task, occurring only after the presentation of the first two climbing scenes). In addition, participants' socio-moral evaluation ability was also measured by comparing the time spent gazing at each climbing scene to determine whether one of the two observed behaviours (pro- vs. anti-social) attracted more visual attention.

6.3.2.3. Procedure

The eye-tracking data were collected using the screen-based experimental paradigm used during the test phases. This paradigm was composed of the six tasks described above, all using a classic fixed-trial visual preference procedure. This experimental method was first developed by Fantz (1963) to study the perceptual abilities of infants. Combined here with an eye-tracking device, it consists in simultaneously presenting a person with two visual stimuli which differ from each other on one property (stimuli 'A' and 'B') placed side by side, on either side of a presentation screen equipped with the eye-tracker and then comparing the time spent looking at the stimulus located on the left side of the screen versus at the one on the right side. Usually, the visual scene formed by the pair of A-B stimuli is presented repeatedly (i.e., trials) by alternating their respective positions on the screen across the different trials in order to laterally counterbalance the stimuli's locations and thus limiting side bias. When a person spends, on average, more time looking at one of the two stimuli, it can be said that he or she has perceived a difference between the two stimuli presented. However, if they are equally gazed, it is not possible to draw any conclusions: in this case, we cannot know whether the person perceived that they differed from each other or not.

Given that we decided to use a visual preference procedure involving the simultaneous presentation of two side-by-side stimuli, each task had a minimum of two trials in order to counterbalance the lateral location of the two paired stimuli. Each block and all trials were separated by the presentation of a dynamic fixation cross paired with a stimulating sound in the centre of the screen. Its duration was fixed at 1.5 seconds between trials, whereas between blocks it had to be gazed for at least 300 ms for the next one to be triggered. This choice was based on the fact that shorter-duration fixations than the 300 ms threshold are commonly considered involuntary (Bylinskii, Borkin, Kim, Pfister, & Oliva, 2017; Negi & Mitra, 2020). The activation area drawn around it sized 400×400 px. The order of presentation of the seven blocks as well as that of their respective trials was random.

Since we used a basic 5-point calibration procedure and, in addition, participants' gaze was repeatedly redirected to the centre of the screen, we decided not to record data on the area at the intersection of the two stimuli over the entire height of the screen. Therefore, when the two paired stimuli extended across the entire screen surface (as in PLM-, SO-, and SME-Tasks), their respective positions were defined by two areas of 850×1080 px that were activated only after 300 ms of visual scene presentation. There was thus a central 220×1080-px strip in the

middle of the screen which was not covered by any AOIs and whose width was defined on the basis of the distance separating the pairs of emotional faces.

6.3.2.4. *The Evaluation-Cognition-PIMD (ECP) scale*

The Evaluation-Cognition-PIMD (ECP) scale that was used in the current study is the revised version of the Francophone assessment tool called the “P2CJP–Profil de Compétences Cognitives du Jeune Polyhandicapé” (Pereira Da Costa & Scelles, 2012), which was designed for children up to 14 years of age. Validated in 2021, the ECP scale has now been extended to adults. This observation-based instrument, was developed by a group of French academics and clinical psychologists to assess a wide range of competencies and thus establish valid individual profiles of the following eight cognitive skills explored through 62 items: sensory skills, attention, memory, communication, reasoning, spatial-temporal skills, learning and social-emotional skills (Poujol et al., 2021). In the current study, the ECP scale was completed for each participant by a psychologist before the training phase (at T1) and after the training phase (at T2). An additional measurement time took place one year before the start of the study (T0). Table 2 compares the individual standardized ECP subscales scores (*t*-scores) at T0, T1 and T2.

Table 2. Standardized scores (t-scores) on the Evaluation-Cognition-PIMD (ECP) Scale of the nine PIMD participants at T0 (i.e. before the training phase), at T1 (T0 + 1 year) and after the training phase at T2 (T1 + 1 year).

	#1 Zoe, 7 yo			#2 Nina, 9 yo			#3 Suzan, 10 yo			#4 Jane, 12 yo			#5 Betty, 14 yo			#6 Elise, 15 yo			#7 Mike, 16 yo			#8 John, 17 yo			#9 Tim, 17 yo		
ECP subscales	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
Sensory	56	61	66	46	51	53,5	36	41	43,5	41	38,5	43,5	44	50	54	40,5	40,5	44	61	63	66,5	42	44	50	50	52	54
Attentional	68	70	76	61	66	68	40	42	46	53	51	57	50	51,5	55	48	53	55	68	66,5	73	60	61,5	65	63	61,5	68
Memory	58,5	60	63	57	58,5	61,5	39,5	42,5	45,5	44	45,5	50	48	41	50	46	41	48	70	70	70	56	54	62	54	50	58
Communicative	57	60	64	52	51	54	36	35	40	47	48	53	51	53	57	44	43	46	62	65	65	60	62	64,5	50	51	54
Reasoning	44	47	52	50	52	56,5	37	40,5	43	47	50	53,5	51	52	58	51	52	55	59	64	68	57	62	66	54	54	56
Spatio-temporal	58	59,5	62,5	46	52	55	32,5	34	36,5	58	56,5	61	52	55	62	41	44	51	69	72	74	40	41	44	47	48,5	52
Learning	48,5	50	53	50	47	53	36	34,5	39	33	36	42	46,5	45	53	45	45	49	58	63	67	48	50	55	51,5	50	53
Social-emotional	60	62	67	60	62	67	43	44	47	50	51	56	52	54	60,5	50	49	55	67	69	74	54	52	60	60	59	63

Note. By adding up the gains in individual scores on the eight ECP subscales between T0 and T1 and then between T1 and T2, it is clear that the scores of each participant increased significantly more between T1 and T2 (i.e. after receiving training) than between T0 and T1: Zoé's scores increased by 19.5 between T0 and T1 and by 34 between T1 and T2, Nina's scores increased by 17.5 between T0 and T1 and by 29 between T1 and T2, Suzan's scores increased by 13.5 between T0 and T1 and by 27 between T1 and T2, Jane's scores increased by 3.5 between T0 and T1 and by 39.5 between T1 and T2, Betty's scores increased by 7 between T0 and T1 and by 46 between T1 and T2, Elise's scores increased by 2 between T0 and T1 and by 35.5 between T1 and T2, Mike's scores increased by 18.5 between T0 and T1 and by 25 between T1 and T2, John's scores increased by 9.5 between T0 and T1 and by 40 between T1 and T2, finally, Tim's scores increased by -3.5 between T0 and T1 and by 32 between T1 and T2.

6.3.3. Innovative person-centred training phase

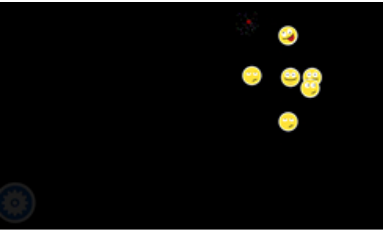
6.3.3.1. Apparatus

In the current study the eye-tracking technology also served as a device to replace the computer mouse and keyboard, so that participants were able to control the computer with their eyes during the training phase. To this end, the Tobii Eye Tracker 4C (sampling rate: 90Hz) was used during the training phase as a PC gaming eye-tracker peripheral. The *Tobii Eye Tracking Core* software (open source software that can be downloaded from: <https://gaming.tobii.com/getstarted/>) was used to set up and calibrate this device. Although the Tobii Eye Tracker 4C is fully compatible with the Windows 10 operating system and latest versions, we preferred to use the control bar provided by the *Mill Mouse* free access software version 7.13 (<https://millmouse.wordpress.com/>), which is customizable and more intuitive than the default Windows bar. Generally, the eye-tracking device was used solely as a game controller. However, in the case of some specific serious games that we used, eye-tracking data was also recorded, such as scan paths and heat maps indicating the eye movements and areas of the screen that most attracted the user's attention. One of these games also measured the number of fixations and the time spent looking at specific characters during use.

6.3.3.2. Software and serious games used

The person-centred training implemented in the current study aimed to encourage the user to explore the whole screen and improve visual attention, to support specific social emotional abilities and to promote broader cognitive skills using eye-tracking technology. To this end, we used a wide range of serious games. Firstly, we selected and customized several games from the *Gazeplay* open access software (<https://gazeplay.github.io/GazePlay/>). These were aimed notably at promoting screen exploration as well as supporting social orientating and enhancing emotional skills (in particular emotion identification and comprehension of emotions). Table 3 describes the different games used, detailing how we customized them, the competencies targeted and the data collected. A collaborative project with master's students from the TECFA (Sciences in Learning and Teaching Technologies) department at the University of Geneva also led to the design of an original software programme called *Attention eye* aimed at promoting (1) preferential attention for biological motion, (2) emotion recognition, (3) joint attention, and (4) prosocial behaviour through four different serious games (see Table 4 for a detailed description of the various games provided by this software).

Table 3. Detailed presentation of the different serious games from the *Gazeplay* software (<https://gazeplay.github.io/GazePlay/>) used during the training phase

	Description	Customisation	Targeted skill(s) & measures
Bubbles (customized) 	Bubbles containing portraits slowly rise to the surface and explode when the player looks at them.	Default portraits have been replaced by emoticon packs	• Warm Up - Nothing in particular: the game was used as an indicator of the user's availability and alertness. • Screen exploration - Playing time (until user loses interest) - Gazeplot
Divisor (customized) 	Several targets move randomly on the screen. By looking at them, the user can split them into two smaller targets until there are no more.	Default targets have been replaced by emoticon packs	• Warm Up - Nothing in particular: the game was used as an indicator of the user's availability and alertness. • Screen exploration - Playing time (until user loses interest) - Gazeplot

Scratch Cards (customized)¹



A large image is hidden in a scratch card. The player scratches the card with their eyes. When a large portion of the card has been scratched, the image is displayed and the reward* offered.

Default image have been replaced by a wide selection of social images (i.e. showing at least two humans sharing their attention on a common interest or activity) taken from the open library dataset "Unsplash".

- Screen exploration
- Social orienting
 - Number of images explored alone/with help (if necessary)
 - Time to explore each image alone/with help (if necessary)
 - Total playing time

Blocks (customized)¹



A large picture is hidden by a configurable number of coloured blocks that the player must look at to make them disappear. When all the blocks have disappeared, the reward* is offered.

Default pictures have been replaced by a wide selection of social images (the same as for the *Scratch Cards* game) taken from the open library dataset "Unsplash".

- Screen exploration
- Social orienting
 - Difficulty level (number of blocks)
 - Number of images explored alone/with help (if necessary)
 - Time to explore each image alone/with help (if necessary)
 - Total playing time

Video Grid 2x2 (customized)¹



The user can play multiple videos as he/she watch them to read them.

The grid was made up of 4 videos: 1 social video (e.g. two children interacting) and 3 non-social videos (e.g. a rolling football, an unzoomed office and a motorway).

- Social orienting
 - Number of grids presented
 - Duration of presentation of each grid
 - Time spent until activation of the social video
 - Number of activations of each video
 - Total playing time

Video Grid 3x3 (customized)¹



The user can play multiple videos as he/she watch them to read them.

The grid was made up of 9 videos: 1 social video (e.g. children interacting), 4 non-social videos and 3 blank videos (white spaces on the grid).

- Social orienting
 - Number of grids presented
 - Duration of presentation of each grid
 - Time spent until activation of the social video
 - Number of activations of each video
 - Number of fixations on each video type (social, non-social, empty) per grid presented
 - Total playing time

Where is it? (customized)²

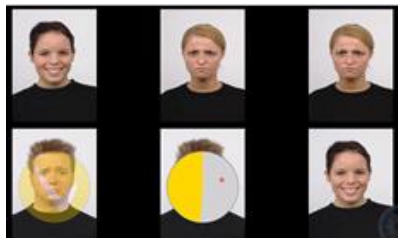


The player must look at the image that corresponds to what was indicated at the beginning of the game read out loud by the experimenter during the game. When the emotion corresponding to the instruction is gazed at, the reward* is offered.

Female and male emotional faces (joy, sadness, anger) taken from the Langner et al. (2010)'s *Radboud Faces Database* (RaFD) were used ³⁷.

- Emotion discrimination
 - Number of rounds played
 - Pairs of emotions tested in each round
 - Success/failure of each round
 - Total playing time

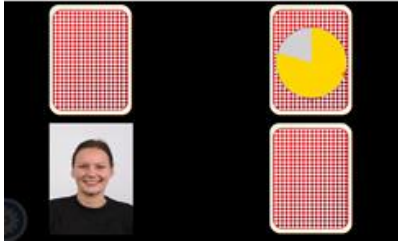
Open Memory (customized)²



The player must match cards that have the same picture and that are not face down by looking at them. When all the pairs have been matched the reward* is offered.

Default pictures have been replaced by female and male emotional faces (joy, sadness, anger) taken from the RaFD ³⁷. Additional emotions could be added according to the user's discrimination abilities.

- Emotion discrimination
 - Difficulty level (number of pairs presented)
 - Number of rounds played
 - Time to match the different pairs in each round (time for each pair and total time)
 - Number of failures (mismatches)
 - Total playing time

Memory (customized)²

The player must match cards that have the same picture by looking at them. When all the pairs have been matched the reward* is offered.

Default pictures replaced have been by female and male emotional faces (joy, sadness, anger) taken from the RaFD ³⁷. Additional emotions could be added according to the user's discrimination abilities (fear, surprise and disgust).

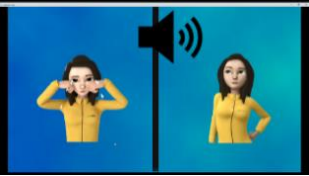
- Emotion discrimination
 - Difficulty level (number of pairs presented)
 - Number of rounds played
 - Time to match the different pairs in each round (time for each pair and total time)
 - Number of failures (mismatches)
 - Total playing time

Note. *The reward consisted in a blue and yellow bunny (the software's mascot) appearing in the centre of the screen with a shower of confetti and a clapping sound.

¹. All images were taken from the open and unrestricted library dataset "Unsplash" (<https://unsplash.com>).

². All faces images were taken from the Langner et al. (2010)'s *Radboud Faces Database* (RaFD) were used ³⁷.

Table 4. Detailed presentation of the different serious games from the *Attention Eye* software used during the training phase (download link: https://tecfaetu.unige.ch/etu-maltp/aegir/elhamde0/vip/attention_eye/exe_attention_eye.zip)

	Description	Instructions	Illustration
Game 1			
Social orienting	A moving shape is presented next to a human performing an activity (e.g. skater, dancer, guitarist). When the human is gazed at, a congratulation animation is triggered.	The experimenter encourages the user to look at the social protagonist: "Where's the skater/dancer/guitarist?"	
Game 2			
Associating an emotion with its emotional prosody/emotion recognition	Two different emotions expressed by the same character are presented on screen coupled with the sound corresponding to the prosody of one of the two emotions. When the character whose emotion corresponds to the prosody heard is looked at, a congratulation animation is triggered.	The experimenter encourages the user to look at the character whose emotion corresponds to the prosody heard: "Where is the sad/happy/angry person?"	
Game 3			
Response to joint attention	A character in the centre of the screen surrounded by two objects focuses his attention on one of them. When the user looks at this object, a congratulation animation is triggered.	The experimenter encourages the user to look at the object of joint attention: "Where is the character looking at?"	

Game 4

Socio-Moral evaluations

Several situations in which a character is in difficulty are presented (a person carrying a lot of books, climbing a mountain or standing in pouring rain). The player's gaze can be used to help the character to perform the action that puts him or her in difficulty.

The experimenter encourages the user to perform a pro-social action: "Oh, it's heavy, you've got to help him carry those books" for example.



Note. In the four games, it was possible to set the following parameters: (a) the fixation time needed to validate an answer (seconds), (b) the size of the AOI to validate an answer (level of precision expressed as “approximate”, “average” or “precise”) and (c) the time until a game round was automatically validated when no answer was given (seconds). For each game, the number of rounds played and the number of successes/failures were automatically reported.

Finally, a freelance user interface (UI) designer has developed software that focuses exclusively on socio-moral evaluations, based on the Hill paradigm (free download link: <https://drive.switch.ch/index.php/s/CmfOT51uI2PZYy1>). Similar to the initial situation of the Hill paradigm, this serious game opens with a scene in which a character (represented by a circle with two eyes and a horizontal bar for a mouth) tries again and again to climb a hill. At this point, the user can decide to grab either a second character at the top of the hill or a third character at the bottom of the hill by looking at one of them for at least 1.5 seconds. By grabbing the character at the top of the hill, the user can activate the latter by then directing his/her gaze towards the bottom of the hill: this triggers anti-social behaviour towards the climber, who is pushed down with a groan of "Noooo" and whose neutral expression becomes sad. Conversely, by grabbing the character at the bottom of the hill and directing his/her gaze towards the top of the hill, the user activates the pro-social behaviour, helping the climber who utters the sound "Yay" and whose neutral expression becomes cheerful. As soon as one of the two possible actions is performed, the game automatically restarts the initial situation by randomly reversing the direction of the hill's layout. The time spent looking at each character and the number of times each of the two actions was performed were automatically recorded.

Particular care was taken to ensure that different stimuli were used during the training phase than in the test phases (e.g. the emotional faces used to customise the Gazeplay software games were taken from a different image bank and all the content of the Attention Eye and Climbing the hill software was original and innovative).

6.3.3.3. Procedure

The training phase began in January 2022 and lasted one year. During this period, each of the nine participants regularly benefited from personalized one-to-one sessions (from 1 to 5 sessions per week of 15 to 30 minutes, for a total of 40 to 100 individual sessions per participant) tailored to their individual skills and needs. Indeed, in order to implement a person-centred training, the experimenter (who could be either a researcher or an educator from the MEI) had a large range of serious games at his/her disposal, from which he/she chose those he/she felt were best suited to the participant's current state of health and alertness, personal skills and specific needs. In contrast to the test phases (where the experimenter was out of the participant's field of vision and remained silent during the sessions), the experimenter was actively involved in the training sessions: he or she stood in front of the screen next to the participant and encouraged the latter to perform the various serious games proposed (by means of sounds, facial

expressions, applause, etc.). According to the person-centred approach, the composition of the training sessions varied greatly between participants and also within individuals over time. Nevertheless, most of the time, two to four games were used per session for around 3 to 5 minutes each (with the exception of the Bubbles and Divisor games, which were used as a warm-up and generally lasted less than a minute).

6.3.4. Data analysis

6.3.4.1. Data processing

Analysis was based on raw eye samples in order to get the maximal data available from eye-tracker during the short trials of the test phases. Eye-tracking data was extracted using Tobii Pro Lab (version 1.162) computer software, which obtained metrics on *total visit duration* (i.e., total time each AOI was gazed) within the whole screen area as well as within all the designated AOIs.

6.3.4.2. Gaze rates, total dwell times (TDTs) and percentages of looking time (LT)

Visit durations within the whole screen area were then converted into *gaze rates* (expressed as percentages) by computing the ratio between the time spent looking at the screen regarding the blocks, tasks and the entire session over their respective durations. These percentages were used to investigate whether these gaze rates increased between T1 and T2.

On the other hand, *total dwell times* (TDTs) were calculated from the visit durations within the AOIs by summing up all dwells (set of one or more consecutive fixations in an AOI) recorded during each task's trials (excluding the invalidated ones of the RJA-Task). For each task we thus obtained the TDTs on both the type A stimulus and the type B stimulus that had been presented simultaneously. These paired TDTs were then converted into *percentages of looking time* (PLT), using the following equation: PLT on stimulus A =
$$\frac{\text{TDT on stimulus A}}{(\text{TDT on stimulus A} + \text{TDT on stimulus B})} * 100.$$

6.3.4.3. Statistical analysis

All statistical analyses were conducted using TIBCO Statistica (version 13.2). A p -value ≤ 0.05 was considered significant.

To investigate the quality of participants' visual exploration of the screen, we focused on gaze rates. We first performed nine paired-difference t -tests to test whether the overall session

gaze rate increased between T1 and T2 in each participant. Then, we compared each task's gaze rates measured at T1 with those measured at T2 and investigated in more detail any individual progress by running paired *t*-tests again.

At both T1 and T2, discrimination abilities in each task were tested by comparing the PLT on stimulus A with the PLT on stimulus B in each of the nine participants by performing paired-sample *t*-tests.

Finally, to test whether the improvement between T1 and T2 was significant, we first calculated the difference in TDT between the two types of stimuli in each task at T1 and T2 and then compared the time difference scores of T1 with those of T2 by performing paired-difference *t*-tests.

Since the data from the control groups were collected at only one measurement time, they were subjected to only one type of statistical analysis: paired-difference *t*-tests were performed to test discrimination abilities by comparing the PLT on stimulus A with the PLT on stimulus B in each task for both groups.

Normality was tested using the Shapiro-Wilk *W*-test. It turned out that the 180 normality tests carried out with the data from the PIMD participants (a total of ten skills tested in nine participants at two measurement times) and the 20 tests carried out with the data from the two control groups all demonstrated the normality of the data (*p*-value associated with the Shapiro-Wilk *W*-test > 0.05).

6.4. Results

Firstly, with regard to the participants' visual attention, analyses comparing the time each participant spent looking at the presentation screen during the different experimental sessions performed at T1 with T2 revealed that the nine participants looked at the screen significantly longer after the training phase (see Table 5).

Examining more closely the different types of stimuli that attracted participants' visual attention significantly more after the training phase, one task stood out from the others as having been gazed more at T2 by five participants: the SME-Task (by Zoé, Nina, Suzan, Betty and Mike). The SO-Task attracted more attention from four participants at T2 (Zoé, Jane, Betty and Tim). The gaze rate for the RJA-Task was significantly higher at T2 for three participants (Zoé, Suzan and Jane).

Concerning emotional faces, on average this type of stimuli (both female and male faces) was gazed at significantly more at T2 by two participants (by Suzan and Elise). In more detail, female faces were more gazed at by two participants at T2 (by Suzan and Jane), whereas gaze rates for male faces did not increase significantly for any participant between T1 and T2.

Finally, only one participant, John, spent significantly more time looking at the PLM-Task stimuli at T2. In summary, looking at each case individually, Suzan had the most significant increase between T1 and T2 with four tasks being significantly gazed at more (emotional faces, female faces, RJA- and SME-Tasks). Zoé and Jane's gaze rates increased significantly at three tasks (respectively SO-, RJA- SME-Tasks and SO-Task, female faces, RJA-Task), while two tasks attracted Betty's attention more at T2 (SO-Task and SME-Task). Nina and Tim's gaze rates increased significantly on a single task (SME-Task for Nina, SO-Tasks for Tim). Finally, the following three participants gazed significantly more at a single task at T2: Elise (emotional faces), Mike (SME-Task) and John (PL-Task).

It is also interesting to note that, in general for PIMD individuals, the gaze rates measured at T2 (after the training phase) were closer to the gaze rates of the control group of TD children than to the rates measured at T1. In contrast, the gaze rates observed in the adult control group remained much higher.

Table 5. Comparison of the individual gaze rates (*M*, *SD*) (expressed in percentages) of the nine participants for the overall session and the different tasks tested at T1 and T2 using paired-difference t-tests. The gaze rates for the two control groups (TD children and TD adults) are also reported for comparison purposes.

	<i>N</i>	T1		T2		Difference	
		<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>M</i>	(<i>SD</i>)	<i>t</i> (<i>n</i> -1)	<i>p</i>
Overall session							
#1 Zoé	7	62.26	(2.14)	77.03	(1.29)	-14.408	<0.001**
#2 Nina	7	69.55	(3.65)	77.14	(1.89)	-4.928	0.003**
#3 Suzan	6	48.97	(1.67)	58.21	(3.30)	-5.675	0.002**
#4 Jane	7	55.72	(2.58)	63.44	(4.09)	-4.397	0.005*
#5 Betty	6	51.79	(2.20)	57.04	(3.87)	-3.680	0.014*
#6 Elise	7	55.28	(2.46)	65.59	(4.33)	-5.370	0.002**
#7 Mike	6	67.68	(1.56)	74.73	(2.22)	-4.775	0.005*
#8 John	7	62.65	(4.57)	70.58	(2.10)	-4.014	0.007*
#9 Tim	7	58.01	(1.85)	64.26	(2.18)	-4.645	0.004**
TD children	56			83.02	(7.99)		
TD adults	101			93.48	(2.97)		

PLM-Task							
#1 Zoé	7	72.72	(3.34)	75.48	(2.09)	-1.860	0.112
#2 Nina	7	77.84	(2.82)	81.08	(4.57)	-1.345	0.227
#3 Suzan	6	61.60	(1.03)	59.64	(2.53)	1.822	0.128
#4 Jane	7	62.65	(2.07)	62.92	(3.61)	-0.216	0.836
#5 Betty	6	61.90	(2.15)	60.20	(1.94)	1.148	0.303
#6 Elise	7	62.24	(3.04)	63.54	(2.19)	-0.785	0.462
#7 Mike	6	71.81	(2.86)	74.57	(4.24)	-1.056	0.339
#8 John	7	71.42	(2.74)	77.86	(4.41)	-4.147	0.006*
#9 Tim	7	68.45	(2.26)	66.54	(3.76)	1.572	0.167
TD children	56			76.34	(16.86)		
TD adults	101			92.59	(4.65)		
SO-Task							
#1 Zoé	7	66.23	(4.28)	79.60	(2.72)	-5.943	0.001**
#2 Nina	7	72.95	(5.75)	77.54	(5.08)	-1.807	0.121
#3 Suzan	6	50.33	(9.36)	59.33	(6.29)	-1.674	0.155
#4 Jane	7	53.16	(7.26)	66.69	(8.37)	-3.749	0.010*
#5 Betty	6	56.81	(6.72)	66.33	(5.15)	-3.147	0.025*
#6 Elise	7	60.66	(8.77)	68.18	(7.89)	-2.162	0.074
#7 Mike	6	72.07	(3.96)	78.17	(7.97)	-1.643	0.161
#8 John	7	70.58	(8.91)	78.38	(5.37)	-1.760	0.129
#9 Tim	7	56.61	(4.37)	66.69	(7.81)	-2.775	0.032*
TD children	56			85.58	(7.51)		
TD adults	101			91.66	(1.49)		
Emotional faces							
#1 Zoé	7	72.49	(2.46)	72.62	(3.29)	-0.068	0.948
#2 Nina	7	73.01	(3.96)	73.57	(2.88)	-0.347	0.740
#3 Suzan	6	53.28	(2.12)	60.88	(3.77)	-5.182	0.004**
#4 Jane	7	54.63	(4.76)	59.82	(2.44)	-2.217	0.068
#5 Betty	6	58.03	(3.44)	59.77	(3.60)	-2.484	0.056
#6 Elise	7	58.02	(1.74)	63.95	(6.02)	-2.843	0.029*
#7 Mike	6	72.55	(2.01)	72.54	(4.19)	0.002	0.998
#8 John	7	69.45	(2.94)	70.95	(3.77)	-0.951	0.379
#9 Tim	7	60.20	(1.84)	59.99	(3.66)	0.117	0.911
TD children	56			82.90	(9.97)		
TD adults	101			93.38	(2.03)		
Femal faces							
#1 Zoé	7	71.79	(4.21)	72.93	(3.73)	-0.444	0.672
#2 Nina	7	73.09	(4.25)	74.88	(2.73)	-1.005	0.354
#3 Suzan	6	52.43	(3.37)	63.19	(4.09)	-5.125	0.004**
#4 Jane	7	54.48	(4.06)	60.92	(3.43)	-3.389	0.015*
#5 Betty	6	57.77	(4.46)	57.50	(4.31)	0.192	0.855
#6 Elise	7	58.37	(4.20)	64.08	(4.60)	-2.273	0.063
#7 Mike	6	74.03	(2.68)	71.79	(6.28)	0.762	0.481
#8 John	7	70.23	(4.34)	70.41	(4.30)	-0.085	0.935
#9 Tim	7	62.81	(4.00)	60.58	(3.40)	0.910	0.398
TD children	56			80.13	(14.42)		
TD adults	101			93.36	(2.66)		

Male faces							
#1 Zoé	7	73.18	(3.16)	72.31	(3.25)	0.480	0.648
#2 Nina	7	72.94	(5.31)	72.26	(4.44)	0.263	0.801
#3 Suzan	6	54.12	(4.73)	58.58	(5.75)	-1.802	0.131
#4 Jane	7	54.78	(6.38)	58.73	(3.48)	-1.271	0.251
#5 Betty	6	58.29	(4.28)	62.03	(4.43)	-1.582	0.175
#6 Elise	7	57.67	(2.71)	63.83	(8.24)	-2.332	0.058
#7 Mike	6	71.06	(3.45)	73.29	(2.24)	-1.839	0.125
#8 John	7	68.68	(2.55)	71.49	(5.12)	-1.280	0.248
#9 Tim	7	57.59	(2.78)	59.41	(4.40)	-1.474	0.191
TD children	56			85.66	(9.84)		
TD adults	101			93.40	(1.99)		
RJA-Task							
#1 Zoé	7	65.69	(4.88)	74.43	(4.71)	-3.968	0.007*
#2 Nina	7	70.39	(7.69)	74.95	(4.38)	-1.587	0.164
#3 Suzan	6	55.94	(2.94)	63.28	(5.34)	-3.896	0.011*
#4 Jane	7	53.28	(3.19)	63.99	(6.64)	-4.864	0.003**
#5 Betty	6	56.18	(4.47)	62.12	(8.46)	-2.259	0.073
#6 Elise	7	67.05	(6.36)	63.76	(8.66)	0.696	0.513
#7 Mike	6	71.42	(6.96)	72.41	(1.64)	-0.380	0.720
#8 John	7	69.49	(7.39)	74.11	(6.24)	-1.000	0.356
#9 Tim	7	62.31	(3.95)	63.95	(5.93)	-0.553	0.600
TD children	56			82.76	(12.56)		
TD adults	101			89.22	(8.60)		
SME-Task							
#1 Zoé	7	68.11	(6.11)	81.08	(2.93)	-4.540	0.004**
#2 Nina	7	71.65	(6.58)	80.29	(6.16)	-2.932	0.026*
#3 Suzan	6	56.14	(4.96)	65.13	(5.78)	-3.587	0.016*
#4 Jane	7	58.00	(4.79)	66.75	(8.82)	-2.054	0.086
#5 Betty	6	59.22	(6.84)	70.15	(6.89)	-2.581	0.049*
#6 Elise	7	62.29	(6.94)	69.08	(7.61)	-1.524	0.178
#7 Mike	6	67.08	(3.86)	79.06	(2.85)	-4.798	0.005*
#8 John	7	66.50	(7.59)	69.92	(4.58)	-1.430	0.203
#9 Tim	7	60.97	(7.24)	65.00	(3.02)	-1.376	0.218
TD children	56			87.48	(8.71)		
TD adults	101			93.65	(3.30)		

Note. * $p < .05$, ** $p < .005$. Abbreviations: PLM-Task = Point-Light Motion-Task, SO-Task = Social Orienting-Task, RJA-Task = Response to Joint Attention-Task, SME-Task = Socio-Moral Evaluation-Task.

The training phase also appears to have had a positive effect on participants' discrimination abilities in the various social-emotional tasks tested in the present study (see Table 6 for detailed results). Starting with preferential attention to biological motion, at T1 only four participants

(Zoé, Nina, Elise and Mike) showed a significant preference for biological motion, whereas seven participants discriminated between the two types of motion at T2. By comparing the difference in time spent looking at each of the two types of paired stimuli at T1 with that at T2, the analysis revealed a significant progression in two participants (Nina and Jane). Interestingly, the TD children tended to look more at the biological motion than at the non-biological, but the difference was not significant. On the other hand, the adults showed a significant inverse visual preference as they looked longer at the non-biological motion.

Analyses of the SO-Task revealed that only three participants (Zoé, Nina and John) were able to discriminate between social and non-social scenes at T1, whereas all participants showed a significant preference for socially salient stimuli at T2, with a significant margin of improvement in seven of them. Similar to the results for individuals with PIMD at T2, TD children also showed a clear visual preference for socially salient stimuli. It is also interesting to note that this preference was also significant in TD adults but their percentages of looking time were more moderate for this type of stimulus than in TD children (73% for social scenes in TD children vs. 58% in TD adults).

Interestingly, all nine participants looked more at the eye area than at the mouth area of emotional faces at T1 and this preference was unchanged for all participants at T2. This visual preference for eyes was also found in the two control groups. The pairs of emotional faces revealed mixed results regarding participants' ability to discriminate different pairs of emotions. Firstly, for the ability to discriminate anger from joy, only two participants (John and Tim) showed a visual preference at T1 by looking longer at angry faces. In contrast, the other seven participants spent as much time looking at angry faces as happy ones at T1. Of these seven participants, only one (Jane) showed a significant preference for joy at T2. John and Tim's gaze times, which discriminated anger from joy at T1, were equivalent at T2. This visual preference for joy was also found in the control group of TD children, where the difference between the percentages of looking times within the two emotions was significant. Surprisingly, the results observed in the control group of TD adults were reversed, since they looked longer at happy faces than at the angry ones.

Regarding discrimination between joy and sadness, eight participants looked at both happy and sad faces equally at T1. Of these eight, only Betty seemed able to discriminate between these two emotions at T2, when she spent significantly more time looking at happy faces. Suzan, who was the only one to show a significant preference for joy at T1, had an opposite pattern at

T2, with a non-significant tendency to look more at sadness. Finally, concerning discrimination between anger and sadness, the analyses revealed no significant preference at T1. However, at T2 three participants showed a visual preference: Nina and Betty gazed more at anger than at sadness, while Suzan spent more time gazing at sadness. Neither the TD children nor the TD adults showed any significant visual preference for either type of stimulus when discriminating between joy and sadness or between anger and sadness.

Next, with regard to joint attention capacities, the RJA-Task analyses showed that at T1 only two participants (Zoé and Nina) spent significantly more time looking at the objects looked at by the actress than at those not looked at, whereas this preference appeared in all the participants at T2. Both TD children and TD adults also showed a significant visual preference for the objects looked at by the actress (with higher percentages for these objects measured in adults).

Finally, for the socio-moral evaluations, the analyses showed that only two participants discriminated between the prosocial and antisocial climbing scenes at T1: Zoé spent more time watching the prosocial scene and Tim spent more time watching the antisocial scene. At T2 all participants significantly preferred the prosocial scene with the exception of Zoé whose looking times toward each of the two scenes were statistically equivalent. Lastly, only one participant showed a significant preference for one of the two puppets at T1: Elise spent more time looking at the one that had performed a prosocial action compared to the one that had behaved anti-socially towards the climber. At T2, six participants (Nina, Jane, Elise, Mike, John and Tim) showed the same visual preference for the prosocial puppet. No visual preference was observed in the two control groups: the TD children and the TD adults looked equally at the two climbing scenes (i.e. at the prosocial and at the anti-social one) and also looked equally at the two puppets (i.e. at the helper and at the hinderer).

Table 6. Percentages of looking time (PLT) within the two stimuli types (A and B) of each task (M, SD) and statistical analysis (paired-difference t-tests) testing visual preferences of each of the nine PIMD participants at T1 (before the training phase) and at T2 (after the training phase) and calculation of the improvement between the two measurement times by comparing the time difference scores of T1 with those of T2 (paired-difference t-tests). The PLT and difference tests for the two control groups (TD children and TD adults) are also reported for comparison purposes.

	Pre-Training-test (T1)					Post-Training-test (T2)					Improvement			
	PLT on stimulus A	PLT on stimulus B	ET	t(n-1)	p	PLT on stimulus A	PLT on stimulus B	ET	t(n-1)	p	M	ET	t(n-1)	p
PLM-Task (Biological vs Non-biological motion)														
#1 Zoé (n = 7)	62.265	37.735	7.133	4.549	0.004**	66.968	33.032	6.736	6.665	0.001**	-9.406	10.400	-2.393	0.054
#2 Nina (n = 7)	56.645	43.355	7.132	2.465	0.049*	67.731	32.269	6.606	7.102	< .001**	-22.173	19.954	-2.940	0.026*
#3 Suzan (n = 6)	53.611	46.389	7.830	1.130	0.310	58.013	41.987	11.929	1.645	0.161	-8.803	23.643	-0.912	0.404
#4 Jane (n = 7)	54.599	45.401	9.526	1.277	0.249	64.465	35.535	5.112	7.486	< .001**	-19.731	15.683	-3.329	0.016*
#5 Betty (n = 6)	53.247	46.753	6.927	1.148	0.303	59.159	40.841	10.806	2.076	0.093	-11.825	20.807	-1.392	0.223
#6 Elise (n = 7)	58.974	41.026	4.716	5.035	0.002**	66.080	33.920	8.323	5.112	0.002**	-14.212	17.102	-2.199	0.070
#7 Mike (n = 6)	60.238	39.762	5.167	4.853	0.005*	68.063	31.937	9.530	4.643	0.006*	-15.650	28.189	-1.360	0.232
#8 John (n = 7)	55.658	44.342	8.404	1.781	0.125	59.045	40.955	7.269	3.292	0.017*	-6.774	24.384	-0.735	0.490
#9 Tim (n = 7)	53.042	46.958	10.986	0.733	0.491	60.059	39.941	4.165	6.390	0.001**	-14.034	21.906	-1.695	0.141
TD children (n = 56)						52.287	47.713	13.438	1.274	0.208				
TD adults (n = 101)						47.848	52.152	7.841	-2.759	0.007*				
SO-Task (Social vs Non-social scenes)														
#1 Zoé (n = 7)	59.131	40.869	7.665	3.152	0.020*	68.661	31.339	6.228	7.927	< .001**	-19.059	15.474	-3.259	0.017*
#2 Nina (n = 7)	59.268	40.732	6.007	4.082	0.006*	70.588	29.412	7.524	7.239	< .001**	-22.640	21.873	-2.738	0.034*
#3 Suzan (n = 6)	55.194	44.806	13.615	0.934	0.393	60.958	39.042	6.541	4.103	0.009*	-11.528	23.152	-1.220	0.277
#4 Jane (n = 7)	47.876	52.124	8.509	-0.660	0.533	66.062	33.938	8.982	4.731	0.003**	-36.372	17.651	-5.452	0.002**
#5 Betty (n = 6)	53.487	46.513	10.442	0.818	0.451	67.733	32.267	5.459	7.957	0.001**	-28.491	26.091	-2.675	0.044*
#6 Elise (n = 7)	48.566	51.434	8.415	-0.451	0.668	64.208	35.792	12.175	3.088	0.021*	-31.283	33.588	-2.464	0.049*

#7 Mike (n = 6)	54.931	45.069	5.670	2.130	0.086	66.592	33.408	9.593	4.237	0.008*	-23.322	20.096	-2.843	0.036*
#8 John (n = 7)	63.785	36.215	11.280	3.233	0.018*	74.487	25.513	11.337	5.715	0.001**	-21.405	24.228	-2.337	0.058
#9 Tim (n = 7)	43.126	56.874	8.746	-2.080	0.083	62.210	37.790	9.605	3.363	0.015*	-38.169	16.091	-6.276	0.001**
TD children (n = 56)						73.127	26.873	14.968	11.562	< .001**				
TD adults (n = 101)						58.001	41.999	15.676	5.129	< .001**				
Face Exploration (Eye vs Mouth)														
#1 Zoé (n = 7)	80.015	19.985	2.623	30.270	< .001**	73.092	26.908	5.579	10.951	< .001**	13.846	12.516	2.927	0.026*
#2 Nina (n = 7)	78.044	21.956	7.646	9.704	< .001**	77.911	22.089	5.148	14.345	< .001**	0.266	14.406	0.049	0.963
#3 Suzan (n = 6)	79.464	20.536	8.730	8.267	< .001**	72.167	27.833	9.872	5.500	0.003**	14.593	32.942	1.085	0.327
#4 Jane (n = 7)	79.784	20.216	8.559	9.207	< .001**	73.810	26.190	8.333	7.560	< .001**	11.948	21.261	1.487	0.188
#5 Betty (n = 6)	77.076	22.924	6.399	10.364	< .001**	75.177	24.823	6.219	9.916	< .001**	3.797	20.638	0.451	0.671
#6 Elise (n = 7)	76.234	23.766	7.034	9.867	< .001**	74.288	25.712	3.086	20.820	< .001**	3.891	16.835	0.612	0.563
#7 Mike (n = 6)	75.128	24.872	4.622	13.316	< .001**	67.925	32.075	6.724	6.530	0.001**	14.406	11.860	2.975	0.031*
#8 John (n = 7)	77.979	22.021	4.787	15.465	< .001**	79.686	20.314	5.822	13.492	< .001**	-3.413	18.179	-0.497	0.637
#9 Tim (n = 7)	75.401	24.599	5.086	13.214	< .001**	77.276	22.724	6.965	10.362	< .001**	-3.751	15.777	-0.629	0.553
TD children (n = 56)						63.799	36.201	20.565	5.021	< .001**				
TD adults (n = 101)						66.565	33.435	18.453	9.022	< .001**				
Anger vs Joy Discrimination														
#1 Zoé (n = 7)	49.854	50.146	9.411	-0.041	0.969	49.493	50.507	6.880	-0.195	0.852	0.723	23.745	0.081	0.938
#2 Nina (n = 7)	51.023	48.977	7.845	0.345	0.742	51.026	48.974	15.654	0.173	0.868	-0.006	36.484	0.000	1.000
#3 Suzan (n = 6)	54.263	45.737	11.951	0.874	0.422	54.275	45.725	10.064	1.040	0.346	-0.023	19.040	-0.003	0.998
#4 Jane (n = 7)	50.803	49.197	6.969	0.305	0.771	56.581	43.419	6.785	2.566	0.043*	-11.556	21.287	-1.436	0.201
#5 Betty (n = 6)	49.774	50.226	4.906	-0.113	0.915	54.315	45.685	13.003	0.813	0.453	-9.081	20.709	-1.074	0.332
#6 Elise (n = 7)	48.935	51.065	10.463	-0.269	0.797	53.251	46.749	7.072	1.216	0.270	-8.633	22.614	-1.010	0.351
#7 Mike (n = 6)	51.884	48.116	6.475	0.713	0.508	53.088	46.912	6.189	1.222	0.276	-2.407	19.210	-0.307	0.771
#8 John (n = 7)	59.661	40.339	3.879	6.589	0.001**	56.555	43.445	7.179	2.416	0.052	6.211	14.150	1.161	0.290
#9 Tim (n = 7)	61.069	38.931	10.252	2.857	0.029*	52.533	47.467	8.168	0.820	0.443	17.072	32.208	1.402	0.210

TD children (n = 56)							55.430	44.570	11.911	3.411	0.001**				
TD adults (n = 101)							47.560	52.440	11.067	-2.216	0.029*				
Joy vs Sadness Discrimination															
#1 Zoé (n = 7)	52.041	47.959	5.806	0.930	0.388		58.669	41.331	12.264	1.870	0.111	-13.255	33.369	-1.051	0.334
#2 Nina (n = 7)	57.011	42.989	11.714	1.584	0.164		61.580	38.420	19.309	1.587	0.164	-9.138	49.336	-0.490	0.642
#3 Suzan (n = 6)	61.094	38.906	3.261	8.334	< .001**		45.454	54.546	11.993	-0.929	0.396	31.281	24.894	3.078	0.028*
#4 Jane (n = 7)	55.547	44.453	13.613	1.078	0.322		51.698	48.302	13.180	0.341	0.745	7.698	45.320	0.449	0.669
#5 Betty (n = 6)	53.298	46.702	8.780	0.920	0.400		63.355	36.645	12.148	2.693	0.043*	-20.115	22.376	-2.202	0.079
#6 Elise (n = 7)	49.944	50.056	11.283	-0.013	0.990		48.292	51.708	7.813	-0.578	0.584	3.304	27.854	0.314	0.764
#7 Mike (n = 6)	48.048	51.952	12.528	-0.382	0.718		51.968	48.032	8.653	0.557	0.601	-7.841	32.791	-0.586	0.583
#8 John (n = 7)	51.564	48.436	13.433	0.308	0.768		50.796	49.204	11.078	0.190	0.856	1.537	40.193	0.101	0.923
#9 Tim (n = 7)	55.986	44.014	14.538	1.089	0.318		56.215	43.785	11.265	1.460	0.195	-0.457	43.772	-0.028	0.979
TD children (n = 56)							50.138	49.862	12.640	0.082	0.935				
TD adults (n = 101)							51.787	48.213	9.990	1.798	0.075				
Anger vs Sadness Discrimination															
#1 Zoé (n = 7)	51.011	48.989	5.899	0.453	0.666		51.780	48.220	12.684	0.371	0.723	-1.539	29.965	-0.136	0.896
#2 Nina (n = 7)	54.512	45.488	8.260	1.445	0.199		63.873	36.127	12.184	3.013	0.024*	-18.722	30.979	-1.599	0.161
#3 Suzan (n = 6)	57.892	42.108	9.610	2.012	0.100		37.151	62.849	11.653	-2.701	0.043*	41.482	39.376	2.581	0.049*
#4 Jane (n = 7)	47.619	52.381	10.243	-0.615	0.561		48.901	51.099	5.403	-0.538	0.610	-2.563	24.143	-0.281	0.788
#5 Betty (n = 6)	54.477	45.523	13.921	0.788	0.467		62.407	37.593	8.927	3.405	0.019*	-15.861	36.910	-1.053	0.341
#6 Elise (n = 7)	49.412	50.588	13.477	-0.115	0.912		53.726	46.274	12.319	0.800	0.454	-8.629	27.888	-0.819	0.444
#7 Mike (n = 6)	52.013	47.987	7.378	0.668	0.534		51.273	48.727	7.337	0.425	0.688	1.479	28.395	0.128	0.903
#8 John (n = 7)	57.765	42.235	11.481	1.789	0.124		40.891	59.109	10.327	-2.334	0.058	33.747	38.579	2.314	0.060
#9 Tim (n = 7)	52.298	47.702	11.315	0.537	0.610		56.493	43.507	12.364	1.389	0.214	-8.390	43.474	-0.511	0.628
TD children (n = 56)							49.884	50.116	10.575	-0.082	0.935				
TD adults (n = 101)							48.261	51.739	10.236	-1.707	0.091				

RJA-Task (Looked-at vs Non-looked-at objects)

#1 Zoé (n = 7)	61.391	38.609	9.144	3.296	0.016*	72.711	27.289	4.970	12.090	< .001**	-22.641	19.761	-3.031	0.023*
#2 Nina (n = 7)	58.552	41.448	5.099	4.438	0.004**	75.664	24.336	4.422	15.354	< .001**	-34.223	11.881	-7.621	< .001**
#3 Suzan (n = 6)	55.946	44.054	10.642	1.369	0.229	73.936	26.064	6.315	9.285	< .001**	-35.980	22.646	-3.892	0.012*
#4 Jane (n = 7)	49.125	50.875	5.263	-0.440	0.675	69.786	30.214	5.181	10.103	< .001**	-41.323	16.050	-6.812	< .001**
#5 Betty (n = 6)	52.224	47.776	12.044	0.452	0.670	66.865	33.135	9.024	4.578	0.006*	-29.282	28.329	-2.532	0.052
#6 Elise (n = 7)	51.330	48.670	10.668	0.330	0.753	71.533	28.467	4.652	12.246	< .001**	-40.406	20.285	-5.270	0.002**
#7 Mike (n = 6)	56.873	43.127	7.444	2.261	0.073	70.248	29.752	5.003	9.914	< .001**	-26.750	16.486	-3.975	0.011*
#8 John (n = 7)	49.290	50.710	6.852	-0.274	0.793	71.614	28.386	6.484	8.819	< .001**	-44.648	12.401	-9.525	< .001**
#9 Tim (n = 7)	47.955	52.045	9.554	-0.566	0.592	65.645	34.355	5.696	7.266	< .001**	-35.380	11.068	-8.457	< .001**
TD children (n = 56)						64.757	35.243	10.707	10.314	< .001**				
TD adults (n = 101)						70.725	29.275	13.769	15.127	< .001**				

SME-Task (Pro-social vs Anti-social climbing scenes)

#1 Zoé (n = 7)	55.307	44.693	4.678	3.001	0.024*	50.542	49.458	3.904	0.367	0.726	9.529	12.523	2.013	0.091
#2 Nina (n = 7)	51.120	48.880	2.114	1.402	0.211	52.718	47.282	1.945	3.699	0.010*	-3.197	5.053	-1.674	0.145
#3 Suzan (n = 6)	50.152	49.848	5.170	0.072	0.945	55.848	44.152	2.310	6.203	0.002**	-11.392	8.236	-3.388	0.020*
#4 Jane (n = 7)	49.473	50.527	3.810	-0.366	0.727	54.550	45.450	3.758	3.204	0.019*	-10.155	10.365	-2.592	0.041*
#5 Betty (n = 6)	48.148	51.852	6.521	-0.696	0.518	53.606	46.394	1.835	4.814	0.005*	-10.916	13.963	-1.915	0.114
#6 Elise (n = 7)	49.841	50.159	4.625	-0.091	0.930	54.522	45.478	1.686	7.095	< .001**	-9.362	8.782	-2.821	0.030*
#7 Mike (n = 6)	50.343	49.657	5.592	0.150	0.887	54.031	45.969	2.521	3.916	0.011*	-7.376	14.157	-1.276	0.258
#8 John (n = 7)	49.807	50.193	3.952	-0.129	0.902	55.525	44.475	1.469	9.952	< .001**	-11.435	7.197	-4.204	0.006*
#9 Tim (n = 7)	45.194	54.806	1.139	-11.165	< .001**	54.239	45.761	1.232	9.103	< .001**	-18.091	4.063	-11.779	< .001**
TD children (n = 56)						50.938	49.062	4.194	1.442	0.155				
TD adults (n = 101)						50.081	49.919	2.136	0.379	0.705				

SME-Task (Pro-social vs Anti-social puppets)

#1 Zoé (n = 7)	52.723	47.277	7.851	0.918	0.394	37.426	62.574	14.905	-2.232	0.067	30.594	26.889	3.010	0.024*
#2 Nina (n = 7)	54.045	45.955	10.478	1.021	0.347	67.008	32.992	7.288	6.174	0.001**	-25.926	19.484	-3.521	0.013*
#3 Suzan (n = 6)	56.714	43.286	14.077	1.168	0.295	58.441	41.559	10.188	2.029	0.098	-3.454	35.001	-0.242	0.819
#4 Jane (n = 7)	48.582	51.418	10.107	-0.371	0.723	60.288	39.712	7.581	3.591	0.011*	-23.413	22.028	-2.812	0.031*
#5 Betty (n = 6)	52.894	47.106	11.669	0.608	0.570	57.661	42.339	9.138	2.053	0.095	-9.532	21.940	-1.064	0.336
#6 Elise (n = 7)	60.409	39.591	7.937	3.470	0.013*	59.954	40.046	2.670	9.864	< .001**	0.911	16.553	0.146	0.889
#7 Mike (n = 6)	52.089	47.911	15.356	0.333	0.753	59.685	40.315	5.961	3.980	0.011*	-15.193	37.813	-0.984	0.370
#8 John (n = 7)	61.272	38.728	12.481	2.390	0.054	66.838	33.162	10.221	4.358	0.005*	-11.131	40.504	-0.727	0.495
#9 Tim (n = 7)	49.666	50.334	16.051	-0.055	0.958	61.920	38.080	9.093	3.468	0.013*	-24.507	40.653	-1.595	0.162
TD children (n = 56)						51.843	48.157	8.978	1.536	0.130				
TD adults (n = 101)						50.487	49.513	8.282	0.591	0.556				

Note. * $p < .05$, ** $p < .005$. Abbreviations: PLM-Task = Point-Light Motion-Task, SO-Task = Social Orienting-Task, RJA-Task = Response to Joint Attention-Task, SME-Task = Socio-Moral Evaluation-Task.

6.5. Discussion

The aim of the present study was to evaluate the positive effects of a person-centred training using eye-tracking on the visual exploration and socio-emotional abilities of children and adolescents with PIMD. Using a pre-training – training – post-training design, this single-case study demonstrated the benefits of a training phase implemented over a period of one year in these individuals. Indeed, its result results comparing participants' individual visual exploration and discrimination abilities at T1 with those at T2 highlighted the positive effects of the training phase: all participants considerably improved their visual exploration between T1 and T2. In addition, they all made significant progress on at least one of the six social-emotional competencies assessed.

The findings observed when testing the two control groups also reinforce the results obtained before and after the training phase with the PIMD individuals. Firstly, in terms of visual exploration of the screen, it is interesting to note that the gaze rates of the PIMD participants were closer to those of TD children at T2 than at T1, thus underlining the benefits of the training phase. Secondly, with regard to the socio-emotional abilities tested, and more specifically discrimination capacities, the results of the two control groups also provide additional elements for better interpreting the individual results of the PIMD participants. First of all, although the results of the TD children were not significant in the PLM task, they still showed a tendency to look more at biological motion similar to that observed in the nine PIMD participants. Surprisingly, a reversed visual preference was observed in the TD adults who looked significantly longer at the non-biological motion than at the biological one. This result is not consistent with the existing literature on the perception of biological motion in humans (Hemeren & Rybarczyk, 2020). For the SO-Task, we found that, unlike at T1, all PIMD participants showed a significant visual preference for socially salient stimuli at T2. This preference was also observed in the two control groups. Interestingly, TD children showed a particularly high interest in social scenes compared with adults whose average percentage of looking time was lower. This is probably due to the nature of the stimuli used, which were dynamic scenes of children dancing solo. It is also interesting to note that, in general, the majority of PIMD participants tended to look more at anger than joy at T2 and that this visual preference was also found in the TD children's group where the difference between the percentages of looking time within the two emotions was significant. However, it was surprising to observe the opposite results in the TD adults' group, who looked longer at happy

faces than at the angry ones, although these results are in line with previous observations (Hunnius et al., 2011). When we tested the discrimination between joy and sadness and between anger and sadness in PIMD individuals, we obtained few significant results at both measurement times. Similar results were observed in the control groups: neither the TD children nor the TD adults showed any significant visual preference for either type of stimulus when discriminating between joy and sadness or between anger and sadness. Concerning the RJA-Task, only two PIMD participants showed a visual preference for the objects looked at by the actress at T1, whereas this preference was significant in all nine individuals at T2, as well as in the two control groups. Finally, with regard to socio-moral evaluation, the absence of significant results on the SME-Task in the two control groups was unexpected and difficult to explain. Nevertheless, in our previous paper aimed at demonstrating the feasibility of a first version of the experimental paradigm used in the present study, the control group composed of 32 TD children, aged 1-3 years as well, also showed no significant preference for either of the two puppets presented to them (Cavadini et al., 2022).

Altogether, these results have major implications at both theoretical and clinical levels. At the theoretical level, they demonstrate that, regardless of age and just like the typically developing children, the PIMD individuals also have learning abilities. Our experimental tasks and the serious games we used were dedicated to improve all different levels of information processing involved in perceptual learning from low to high, notably being able to distinguish objects from their background, detect their basic characteristics (colour, shape, movement), their location or their spatial relationships, as well as being able to identify and recognise them, which involves a wide range of cognitive functions such as attention, visual discrimination, categorisation, but also working and long-term memory and decision-making. In return, cognition influences one's visual perception of the world (Kellman, 2002). That is how the detection of similarities and differences between environmental stimuli constitutes the first step towards an internal representation of the world and therefore the basis for the development of some form of knowledge.

The question of transfer of learning of these socio-emotional abilities in these individuals must be discussed. The concept of transfer refers to the ability to apply knowledge or skills learnt in a given situation to a new context: in other words, the ability to generalise what has been learnt to a new situation (Marini & Genereux, 1995). There is little consensus on the definition of transfer (Barnett & Ceci, 2002). Some works define it as "the carrying over of an act or way of acting from one performance to another" (Woodworth & Schlosberg, 1954), and

others as "the ability to extend what has been learned in one context to new contexts" (Bransford, Brown, & Cocking, 2000). Nevertheless, the terms used, such as "carry-over" or "new contexts", should also be defined, as they can be used to refer to a wide variety of situations. The notion of proactive transfer indicates that elements of learning are re-used in subsequent learning, while that of retroactive transfer implies that learning will influence previous learning. Two main issues are discussed in the educational literature. The first, concerns the possibility of far transfer. Intuitively, a "far transfer" is defined as knowledge or skills acquired in a specific domain that improve a related performance in a dissimilar domain (Perkins & Salomon, 1992). Conversely, a "near transfer" occurs within the same or a close domain. However, there are many grey areas regarding the near or distant nature of certain transfers, and it may be more of a continuum. There is no consensus within the scientific community as to whether distant transfers are possible: some works claim that they are very difficult if not impossible to achieve, while others consider that the question is rather one of the conditions that allow it, as it is a question of being able to evoke a previously studied situation despite major differences in context and content. The lack of consensus on the possibility of remote transfer was partly due to a lack of clear, shared definition, notably on the nature of the transferred skill and on the semantic distance between the training context and the transfer context.

The current study does not explore directly the potential transfer and generalisation of learning. Although the MEI's staff and the participants' relatives reported progress in other areas of functioning, the present study does not allow these observations to be validated scientifically. Nevertheless, the profiles of cognitive skills established at three measurement times (one year before the start of the study, at T0, T1 and T2) using the ECP scale seem to support the presence of a near and proactive transfer of knowledge. In Table 2 (cf. Methods section), we can see that all the participants seemed to make more progress on the various subscales between T1 and T2 than between T0 and T1.

The main limitation of this study concerns the interpretation of the effects of the training used and the difficulty to identify the respective effects of each serious game on the various socio-emotional abilities. Indeed, we preferred to implement a person-centred training in which the experimenter had a large range of serious games at his/her disposal, from which he/she chose those he/she felt were best suited to the participant's current state of health and alertness, personal skills and specific needs. It was difficult to propose over a long period to these individuals a training based on a serious game only. Consequently, the effect of the training was measured only through the discrimination abilities of the participants in T2 compared with

those in T1. A relevant perspective would be to proceed with a detailed analysis of the individual progress of each participant in the different serious games over time. Although this type of in-depth analysis was not carried out in the present study, the results nevertheless highlight the positive effects of the training phase on participants' visual exploration and socio-emotional abilities.

Finally, the present study also has strong clinical implications. One of the main implications of the current results is that by developing tasks involving various domains of perception, we could establish more detailed and complete individual cognitive profiles, thus addressing the need to develop new assessment methods for the PIMD population (Nakken & Vlaskamp, 2007).

In conclusion, by making the software we used during the training phase available on an open-access basis, we are enabling other professionals or relatives of people with PIMD to use this material in order to gain a better understanding of their relative's functioning and needs. This would be particularly important for the support persons who work with PIMD individuals, in whom progress may be slow and difficult to detect, and for whom delay of regression may be regarded as a positive outcome (Nakken & Vlaskamp, 2007), providing them with directions to improve their assistance work. This is in line with recent public health recommendations from various European countries (Haute Autorité de Santé, 2020; Lawton, 2009).

6.6. References

- Aubineau, L.-H., Vandromme, L., & Le Driant, B. (2015). L'attention conjointe, quarante ans d'évaluations et de recherches de modélisations. *L'Année psychologique*, 115(1), 141-174. doi:10.3917/anpsy.151.0141
- Bardi, L., Regolin, L., & Simion, F. (2011). Biological motion preference in humans at birth: role of dynamic and configural properties. *Developmental Science*, 14(2), 353-359. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.00985.x
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612-637. doi:10.1037/0033-2909.128.4.612
- Bayet, L., Pascalis, O., & Gentaz, E. (2014). The development of emotional facial expression discrimination by infants in the first year of life. *L'Année psychologique*, 114(3), 469-500. doi:10.4074/S0003503314003030

- Bidet-Ildei, C., Kitromilides, E., Orliaguet, J. P., Pavlova, M., & Gentaz, E. (2014). Preference for point-light human biological motion in newborns: contribution of translational displacement. *Developmental Psychology*, 50(1), 113-120. doi:10.1037/a0032956
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (2000). The Design of Learning Environments. In N. R. Council (Ed.), *How People Learn: Brain, Mind, Experience, School* (pp. 117-142). Washington DC, US: The National Academies Press.
- Bylinskii, Z., Borkin, M. A., Kim, N. W., Pfister, H., & Oliva, A. (2017). Eye Fixation Metrics for Large Scale Evaluation and Comparison of Information Visualizations. In M. Burch, L. Chuang, B. Fisher, A. Schmidt, & D. Weiskopf (Eds.), *Eye Tracking and Visualization. Foundations, Techniques, and Applications. ETVIS 2015* (pp. 235-255). Chicago, USA: Springer International Publishing.
- Caron, R. F., Caron, A. J., & Myers, R. S. (1985). Do infants see emotional expressions in static faces? *Child Development*, 56(6), 1552-1560. doi:10.2307/1130474
- Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (2022). Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *PLoS One*, 17(4), e0266176. doi:10.1371/journal.pone.0266176
- Cavadini, T., Riviere, E., & Gentaz, E. (2024). An Eye-Tracking Study on Six Early Social-Emotional Abilities in Children Aged 1 to 3 Years. *Children*, 11(8). doi:10.3390/children11081031
- Chard, M., Roulin, J.-L., & Bouvard, M. (2014). Visual Habituation Paradigm With Adults With Profound Intellectual and Multiple Disabilities: A New Way for Cognitive Assessment? *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 27(5), 481-488. doi:10.1111/jar.12079
- Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 231-239. doi:10.1016/j.tics.2012.02.007
- Dawson, G., Meltzoff, A. N., Osterling, J., Rinaldi, J., & Brown, E. (1998). Children with Autism Fail to Orient to Naturally Occurring Social Stimuli. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 28(6), 479-485. doi:10.1023/A:1026043926488
- Dollion, N., Soussignan, R., Durand, K., Schaal, B., & Baudouin, J.-Y. (2015). Visual exploration and discrimination of emotional facial expressions in 3-, 7- and 12-month-old infants. *Journal of Vision*, 15(12), e795. doi:10.1167/15.12.795
- Engerström, I. W. (1990). Rett syndrome in Sweden. Neurodevelopment-disability-pathophysiology. *Acta paediatrica Scandinavica. Supplement*, 369, 1-60. doi:10.hdl.handle.net/2077/15001
- Fantz, R. L. (1963). Pattern Vision in Newborn Infants. *Science*, 140(3564), 296-297. doi:10.1126/science.140.3564.296

- Farroni, T., Chiarelli, A. M., Lloyd-Fox, S., Massaccesi, S., Merla, A., Di Gangi, V., . . . Johnson, M. H. (2013). Infant cortex responds to other humans from shortly after birth. *Scientific Reports*, 3(1), 2851. doi:10.1038/srep02851
- Farroni, T., Menon, E., & Johnson, M. H. (2006). Factors influencing newborns' preference for faces with eye contact. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(4), 298-308. doi:10.1016/j.jecp.2006.08.001
- Franchini, M., Glaser, B., Gentaz, E., Wood de Wilde, H., Eliez, S., & Schaer, M. (2017). The effect of emotional intensity on responses to joint attention in preschoolers with an autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 35, 13-24. doi:10.1016/j.rasd.2016.11.010
- Franchini, M., Wood de Wilde, H., Glaser, B., Gentaz, E., Eliez, S., & Schaer, M. (2016). Brief Report: A Preference for Biological Motion Predicts a Reduction in Symptom Severity 1 Year Later in Preschoolers with Autism Spectrum Disorders. *Frontiers Psychiatry*, 7(143). doi:10.3389/fpsy.2016.00143
- Glöckner, A., & Herbold, A.-K. (2011). An eye-tracking study on information processing in risky decisions: Evidence for compensatory strategies based on automatic processes. *Journal of Behavioral Decision Making*, 24(1), 71-98. doi:10.1002/bdm.684
- Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., & Verschuere, B. (2008). The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition & Emotion*, 22(6), 1094-1118. doi:10.1080/02699930701626582
- Grossmann, T., Striano, T., & Friederici, A. D. (2007). Developmental changes in infants' processing of happy and angry facial expressions: A neurobehavioral study. *Brain and Cognition*, 64(1), 30-41. doi:10.1016/j.bandc.2006.10.002
- Hamlin, J. K., Wynn, K., & Bloom, P. (2007). Social evaluation by preverbal infants. *Nature*, 450(7169), 557-559. doi:10.1038/nature06288
- Haute Autorité de Santé, H. A. S. (2020). *L'accompagnement de la personne polyhandicapée dans sa spécificité*. Retrieved from Saint-Denis La Plaine: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3215404/fr/l-accompagnement-de-la-personne-polyhandicapée-dans-sa-spécificité
- Hemerik, P., & Rybarczyk, Y. (2020). The Visual Perception of Biological Motion in Adults. In N. Noceti, A. Sciutti, & F. Rea (Eds.), *Modelling Human Motion: From Human Perception to Robot Design* (pp. 53-71). Cham: Springer International Publishing.
- Hunnius, S., de Wit, T. C. J., Vries, S., & von Hofsten, C. (2011). Facing threat: Infants' and adults' visual scanning of faces with neutral, happy, sad, angry, and fearful emotional expressions. *Cognition and Emotion*, 25(2), 193-205. doi:10.1080/15298861003771189
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201-211. doi:10.3758/BF03212378

- Kaehne, A., & Beyer, S. (2014). Person-centred reviews as a mechanism for planning the post-school transition of young people with intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 58(7), 603-613. doi:10.1111/jir.12058
- Kellman, P. (2002). Perceptual Learning. In H. Pashler & R. Gallistel (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* (Vol. 3, pp. 259-299). New York, US: John Wiley & Sons, Inc.
- Kohlberg, L. (1963). Moral development and identification. In *Child psychology: The sixty-second yearbook of the National Society for the Study of Education, Part 1*. (pp. 277-332). Chicago, IL, US: University of Chicago Press.
- Kuhlmeier, V. A., Dunfield, K. A., & O'Neill, A. C. (2014). Selectivity in early prosocial behavior. *Frontiers in Psychology*, 5(836). doi:10.3389/fpsyg.2014.00836
- Lawton, A. (2009). *Personalisation and Learning Disabilities: A review of evidence on advocacy and its practice for people with learning disabilities and high support needs*. London, UK: Social Care Institute for Excellence, SCIE.
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). The Karolinska Directed Emotional Faces – KDEF (CD ROM). In *The Karolinska Directed Emotional Faces – KDEF (CD ROM)*. Stockholm, Sweden: Department of Neurosciences, Karolinska Hospital.
- Maes, B., Nijs, S., Vandesande, S., Van keer, I., Arthur-Kelly, M., Dind, J., . . . Van der Putten, A. (2021). Looking back, looking forward: Methodological challenges and future directions in research on persons with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 34(1), 250-262. doi:10.1111/jar.12803
- Marini, A., & Genereux, R. (1995). The Challenge of Teaching for Transfer. In A. McKeough, J. Lupart, & A. Marini (Eds.), *Teaching for Transfer: Fostering Generalization in Learning* (pp. 1-19). New Jersey, US: Lawrence Erlbaum Associates Inc, .
- Mundy, P., & Newell, L. (2007). Attention, Joint Attention, and Social Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 269-274. doi:10.1111/j.1467-8721.2007.00518.x
- Nakken, H., & Vlaskamp, C. (2007). A Need for a Taxonomy for Profound Intellectual and Multiple Disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 4(2), 83-87. doi:10.1111/j.1741-1130.2007.00104.x
- Negi, S., & Mitra, R. (2020). Fixation duration and the learning process: an eye tracking study with subtitled videos. *J Eye Mov Res*, 13(6), 1-13. doi:10.16910/jemr.13.6.1
- Palama, A., Malsert, J., & Gentaz, E. (2018). Are 6-month-old human infants able to transfer emotional information (happy or angry) from voices to faces? An eye-tracking study. *PLoS One*, 13(4), e0194579. doi:10.1371/journal.pone.0194579
- Pavlova, M. A. (2011). Biological Motion Processing as a Hallmark of Social Cognition. *Cerebral Cortex*, 22(5), 981-995. doi:10.1093/cercor/bhr156

- Pereira Da Costa, M., & Scelles, R. (2012). Un outil d'évaluation des compétences cognitives des jeunes polyhandicapés : le P2CJP [A questionnaire for the evaluation of cognitive skills for children with multiple functional impairments: The P2CJP]. *Alter*, 6(2), 110-123. doi:10.1016/j.alter.2012.02.010
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of Learning. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2, 96-100. doi:10.1016/B978-0-08-097086-8.92040-3
- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for Geometric Patterns Early in Life as a Risk Factor for Autism. *Archives of General Psychiatry*, 68(1), 101-109. doi:10.1001/archgenpsychiatry.2010.113
- Poujol, A. L., Boissel, A., Guédon, D., Guénolé, N., Mellier, D., & Scelles, R. (2021). Évaluation-Cognition-Polyhandicap (ECP) : apports d'une approche qualitative dans l'élaboration et la validation d'un outil [The Cognitive Skills Assessment Scale for profound intellectual and multiple disabilities persons: The qualitative process contributions for the validation]. *Psychologie Française*. doi:10.1016/j.psfr.2020.09.003
- Ratti, V., Hassiotis, A., Crabtree, J., Deb, S., Gallagher, P., & Unwin, G. (2016). The effectiveness of person-centred planning for people with intellectual disabilities: A systematic review. *Res Dev Disabil*, 57, 63-84. doi:10.1016/j.ridd.2016.06.015
- Risko, E. F., Laidlaw, K., Freeth, M., Foulsham, T., & Kingstone, A. (2012). Social attention with real versus reel stimuli: toward an empirical approach to concerns about ecological validity. *Frontiers in human neuroscience*, 6(143). doi:10.3389/fnhum.2012.00143
- Ruzzo, E. K., Capo-Chichi, J.-M., Ben-Zeev, B., Chitayat, D., Mao, H., Pappas, A. L., . . . Goldstein, D. B. (2013). Deficiency of Asparagine Synthetase Causes Congenital Microcephaly and a Progressive Form of Encephalopathy. *Neuron*, 80(2), 429-441. doi:10.1016/j.neuron.2013.08.013
- Salva, R. O., Farroni, T., Regolin, L., Vallortigara, G., & Johnson, M. H. (2011). The Evolution of Social Orienting: Evidence from Chicks (*Gallus gallus*) and Human Newborns. *PLoS One*, 6(4), e18802. doi:10.1371/journal.pone.0018802
- Salva, R. O., Mayer, U., & Vallortigara, G. (2015). Roots of a social brain: Developmental models of emerging animacy-detection mechanisms. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 50, 150-168. doi:10.1016/j.neubiorev.2014.12.015
- Schalock, R. L., Luckasson, R., & Tassé, M. J. (2021). An Overview of Intellectual Disability: Definition, Diagnosis, Classification, and Systems of Supports (12th ed.). *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 126(6), 439-442. doi:10.1352/1944-7558-126.6.439
- Schleinitz, D., Seidel, A., Stassart, R., Klammt, J., Hirrlinger, P. G., Winkler, U., . . . Hirrlinger, J. (2018). Novel Mutations in the Asparagine Synthetase Gene (ASNS) Associated With Microcephaly. 9(245). doi:10.3389/fgene.2018.00245

- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(2), 809-813. doi:10.1073/pnas.0707021105
- Tanaka, J. W., & Gordon, I. (2011). Features, Configuration, and Holistic Face Processing. In G. Rhodes & J. Haxby (Eds.), *The Oxford Handbook of Face Perception* (pp. 177-194). Oxford, UK: OUP Oxford.
- Turati, C., Macchi Cassia, V., Simion, F., & Leo, I. (2006). Newborns' Face Recognition: Role of Inner and Outer Facial Features. *Child Development*, 77(2), 297-311. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00871.x
- Vlaskamp, C. (2005). Assessing People with Profound Intellectual and Multiple Disabilities. In J. L. Hogg, A. (Ed.), *Assessing Adults with Intellectual Disabilities: A Service Providers' Guide* (pp. 152-163). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Vlaskamp, C., Hiemstra, S. J., & Wiersma, L. A. (2007). Becoming aware of what you know or need to know: Gathering client and context characteristics in day services for persons with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 4(2), 97-103. doi:10.1111/ppi.2007.4.issue-2
- Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1954). *Experimental psychology*, Rev. ed. Oxford, England: Holt.

III.

DISCUSSION GÉNÉRALE

Chapitre 7. Discussion générale

Dans cette section, nous allons reprendre succinctement les principaux résultats obtenus au cours des différentes contributions expérimentales. Nous allons, dans un premier temps, revenir sur les résultats obtenus en testant des populations au développement typique (enfants et adultes) avant de nous intéresser aux résultats concernant l'évaluation et l'entraînement des compétences socio-émotionnelles des enfants et adolescents polyhandicapés suivis au cours de cette thèse. Enfin, nous conclurons ce travail en abordant ses limites ainsi que les perspectives se dessinant au terme de ce travail.

7.1. Synthèse et discussion des résultats des groupes contrôle

Nous allons dans un premier temps examiner les résultats obtenus auprès des groupes contrôle, en mettant en lumière les patterns de préférences visuelles qu'ils ont manifestés à travers les différentes tâches expérimentales dans les études 1, 2 et 3. Une attention particulière sera ensuite portée à l'étude 2 qui s'est spécifiquement consacrée à l'exploration des six compétences socio-émotionnelles d'intérêt chez des enfants au développement typique. L'objectif de cette analyse approfondie était d'identifier d'éventuelles corrélations entre ces compétences afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à leur développement et leur interdépendance. Cette synthèse des résultats des groupes contrôle constitue une étape clé pour contextualiser et interpréter les données obtenues auprès des enfants et adolescents polyhandicapés.

7.1.1. Patterns de préférences visuelles (études 1, 2 et 3)

Différents groupes contrôle ont été testés dans le cadre de cette thèse afin d'établir une base de référence concernant les patterns de préférences visuelles observés dans les diverses tâches expérimentales. Cette ligne de base était essentielle pour comparer les performances des populations au développement typique à celles des individus polyhandicapés. Les groupes contrôle comprenaient des enfants âgés en moyenne de 2 ans (dans les études 1, 2 et 3) ainsi que des adultes tout-venant (dans l'étude 3). L'âge moyen de 2 ans a été spécifiquement choisi car il correspond approximativement à l'âge de développement estimé des individus polyhandicapés (Nakken & Vlaskamp, 2007 ; Ware, 1994) permettant ainsi une comparaison plus pertinente entre les groupes. Le Tableau 1, ci-dessous, résume les patterns de préférences visuelles mesurés à chaque tâche dans les trois études.

Tableau 1. Préférences visuelles obtenues dans les différentes tâches expérimentales chez les différents groupes contrôle testés dans les études 1, 2 et 3

		Étude 1 Enfants typiques 12 – 36 mois ($M = 22.5 \pm 7.5$) N = 32	Étude 2 Enfants typiques 12 – 36 mois ($M = 23 \pm 7.2$) N = 86	Étude 3 Enfants typiques 12 – 35 mois ($M = 22.3 \pm 6.9$) N = 56	Étude 3 Adultes typiques 18 – 62 ans ($M = 28.3 \pm 9.5$) N = 101
PL-Task	Mvmt biologique	NS ($p = .572$)	Sign. ($p = .01$)	NS ($p = .208$)	
	Mvmt non-biologique				Sign. ($p = .007$)
SO-Task	Scènes sociales	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)
	Scènes non-sociales				
Visages	Yeux	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)
	Bouche				
Émotions	Joie				Sign. ($p = .029$)
	Colère	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p = .001$)	
Émotions	Joie	-1	-1	NS ($p = .935$)	NS ($p = .075$)
	Tristesse	-1	-1		
Émotions	Colère	-1	-1		
	Tristesse	-1	-1	NS ($p = .935$)	NS ($p = .091$)
RJA-Task	Objets regardés	Sign. ($p = .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)	Sign. ($p < .001$)
	Objets non-regardés				
SME-Task	Personnage prosocial		NS ($p = .791$)	NS ($p = .130$)	NS ($p = .556$)
	Personnage antisocial	NS ($p = .189$)			
SME-Task	Scène prosociale	Sign. ($p = .001$)	Sign. ($p = .045$)	NS ($p = .155$)	NS ($p = .705$)
	Scène antisociale				

Note. ¹ Compétence non-testée

Sign. : préférence significative ($p < .05$) ; NS : préférence non-significative

Passons, à présent, en revue les différentes tâches en commençant par celle évaluant l'attention préférentielle au mouvement biologique (tâche désignée comme « PL-Task » dans l'étude 1, puis « PLM-Task » dans les études 2 et 3). Il convient tout d'abord de souligner les modifications méthodologiques apportées à cette tâche entre l'étude 1 et l'étude 2 : la durée des essais a été réduite, passant de deux essais de 20 secondes à quatre essais de 10 secondes. Cette adaptation pourrait en partie expliquer les résultats concluants obtenus dans l'étude 2 contrairement à ceux de l'étude 1. En effet, l'attention préférentielle au mouvement biologique est un processus extrêmement rapide (100 millisecondes) (Johansson, 1976) et la présentation prolongée des stimuli pendant 20 secondes dans l'étude 1 aurait pu entraîner une répartition de l'attention entre les deux types de mouvements. Les participants, initialement attirés par le nuage de points lumineux représentant un mouvement biologique (i.e. un mouvement de marche humaine), auraient ensuite détourné leur attention vers le mouvement non-biologique,

ce qui pourrait expliquer l'équivalence des temps de regard mesurés dans l'étude 1. Par ailleurs, la taille des échantillons différait considérablement entre les deux études, avec 32 participants dans l'étude 1 contre 86 dans l'étude 2. Cette différence a probablement renforcé la sensibilité des analyses statistiques de l'étude 2, puisque le test-*t* de Student utilisé est particulièrement influencé par la taille de l'échantillon. Cette hypothèse est d'ailleurs corroborée par les résultats de l'étude 3 où le groupe contrôle, composé de 56 enfants, n'a pas montré de différence statistiquement significative dans les temps de regard pour les deux types de mouvements. Toutefois, les enfants de l'étude 3 ont tout de même montré une tendance à regarder davantage le mouvement biologique, un résultat qui, bien que non significatif, demeure en cohérence avec les données des études précédentes. Chez les adultes tout-venant testés dans l'étude 3, un résultat inattendu a été observé : ces participants ont manifesté une préférence visuelle significative pour le mouvement non-biologique. Cette observation pourrait refléter un intérêt accru pour les stimuli violant les attentes en matière de lois biologiquement plausibles (Simion et al., 2008). Ce phénomène, parfois décrit comme une sensibilité accrue aux anomalies ou aux violations des schémas attendus, mériterait d'être exploré davantage afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à cette préférence atypique.

Les résultats obtenus dans les tâches évaluant l'orientation sociale (« SO-Task »), la réponse à l'attention conjointe (« RJA-Task ») et l'exploration visuelle des visages étaient conformes à nos attentes, tant chez les enfants au développement typique évalués dans les études 1, 2 et 3 que chez les adultes testés dans l'étude 3. Ces données reflètent des comportements visuels bien documentés dans la littérature, confirmant la robustesse et la validité du paradigme utilisé.

Dans la SO-Task, destinée à évaluer l'orientation sociale, tant les enfants que les adultes manifestaient une préférence visuelle significative pour les scènes socialement saillantes (illustrées par des enfants en mouvement) par rapport aux scènes non-sociales (représentées par des déplacements de formes géométriques). Ce résultat concorde avec des études antérieures montrant que les humains, dès le plus jeune âge, sont naturellement attirés par des stimuli dynamiques associés à une présence sociale (Dawson et al., 1998 ; Chevallier et al., 2012).

Dans la RJA-Task, conçue pour évaluer la réponse à l'attention conjointe, les participants de tous les groupes contrôle (enfants comme adultes) regardaient significativement plus longtemps les objets regardés par l'actrice par rapport à ceux qu'elle ne regardait pas. Ce

comportement traduit une sensibilité aux indices sociaux directionnels, tels que le regard, qui sont essentiels au développement de l'attention partagée et de l'interaction sociale (Tasker & Schmidt, 2008). Ces résultats confirment que cette compétence est déjà bien établie chez les enfants typiques dès l'âge moyen de 2 ans et se maintient à l'âge adulte (Mundy et al., 2007).

Enfin, en ce qui concerne l'exploration visuelle des visages, la zone des yeux a été nettement plus regardée que celle de la bouche pour l'ensemble des visages émotionnels présentés. Cette observation corrobore des recherches antérieures soulignant que les yeux constituent une source d'information cruciale pour interpréter les émotions et comprendre les états mentaux d'autrui (Buffle et al., 2021 ; Dollion et al., 2012 ; Farroni et al., 2002 ; Pascalis et al., 2020). Ce schéma visuel, présent à la fois chez les enfants et les adultes, témoigne de l'importance universelle de la région oculaire dans les interactions sociales et dans la détection d'indices émotionnels.

En somme, les résultats des groupes contrôle à ces trois tâches expérimentales, en accord avec les attentes théoriques, ont permis de valider les tâches et stimuli visuels utilisés. Ils offrent également une base solide pour interpréter et comparer les comportements oculomoteurs observés chez les participants polyhandicapés testés en parallèle dans le cadre de cette thèse.

La tâche investiguant la discrimination des visages émotionnels a permis de mettre en évidence des résultats particulièrement intéressants au cours de cette thèse. Concernant, d'abord, la discrimination entre la joie et la colère, les données des études 1, 2 et 3 révèlent de manière cohérente que les enfants au développement typique, âgés de 1 à 3 ans, passaient significativement plus de temps à regarder les visages exprimant la colère. Cette préférence visuelle s'explique probablement par la nature surprenante et moins familière de cette émotion chez les jeunes enfants (Nelson, 1987). Durant cette tranche d'âge, les enfants sont encore peu exposés à des expressions de colère, une émotion relativement rare dans leur environnement social. Cette nouveauté suscite donc un intérêt accru lorsqu'un visage exprimant la colère est présenté à côté d'un visage souriant. Ainsi, cette réaction semble refléter une sensibilité spécifique des jeunes enfants aux stimuli émotionnels inattendus ou inconnus. En revanche, chez les adultes testés dans l'étude 3, le résultat s'inverse : une préférence visuelle significative pour les visages exprimant la joie a été observée. Ce résultat, déjà rapporté dans des travaux antérieurs (Hunnius et al., 2011 ; Palama et al., 2020), pourrait s'expliquer par une tendance des adultes à rechercher ou maintenir un état émotionnel positif lorsqu'ils sont confrontés à une

paire d'émotions contrastées comme la joie et la colère. Cette préférence pour la joie pourrait également être interprétée comme une stratégie cognitive ou émotionnelle visant à privilégier les stimuli associés à des expériences agréables ou rassurantes.

Concernant la discrimination entre la joie et la tristesse ainsi que celle entre la colère et la tristesse – deux conditions ajoutées dans l'étude 3 suite aux suggestions des parents d'enfants polyhandicapés impliqués dans la recherche – aucun résultat significatif n'a été relevé chez les groupes contrôle (enfants comme adultes). Cette absence d'effet semble être liée aux caractéristiques visuelles des stimuli utilisés. Bien que les visages aient été sélectionnés à partir de la banque de visages émotionnels KDEF (Lundqvist et al., 1998) en s'appuyant sur une étude de validation identifiant les 20 visages les plus représentatifs de chaque émotion (Goeleven et al., 2008), ces paires semblaient visuellement moins contrastées que celles utilisées pour la discrimination entre la joie et la colère. Par ailleurs, un aspect spécifique des paires de visages pourrait avoir influencé les résultats : parmi les quatre paires utilisées (réf. F23 et M16 pour la joie vs. tristesse, et F14 et M05 pour la colère vs. tristesse), les dents, un élément facial saillant souvent associé à une meilleure reconnaissance des émotions (Caron et al., 1985), n'étaient visibles que sur le visage masculin M16 utilisé pour tester la discrimination entre la joie et la tristesse. En revanche, elles étaient absentes sur le visage féminin F23 également utilisé pour tester cette compétence ce qui a pu créer un déséquilibre perceptif dans cette condition. De plus, les analyses basées sur les temps de regard moyens enregistrés sur les zones d'intérêt (AOIs) des différents visages de chaque paire ont probablement été influencées par ces variations visuelles, réduisant ainsi la sensibilité des mesures.

En synthèse, ces résultats mettent en lumière non seulement les préférences visuelles des participants au développement typique mais également les limitations méthodologiques liées à la conception des stimuli, soulignant l'importance de la standardisation et de l'optimisation des éléments visuels dans ce type de paradigme expérimental.

Enfin, la tâche évaluant les évaluations socio-morales (« SME-Task ») a révélé des résultats ambivalents au sein des groupes contrôle à travers les études 1, 2 et 3.

Dans un premier temps, aucune différence significative n'a été observée en mesurant les temps de regard enregistrés sur chacune des deux marionnettes lorsqu'elles étaient présentées côte à côte à l'écran après que l'une ait aidé (i.e. personnage prosocial) et l'autre ait empêché (i.e. personnage antisocial) le grimpeur d'atteindre le sommet de la colline. Cette absence de

résultat rejoint les conclusions de Holvoet et al. (2016) qui, dans leur revue de littérature, mettent en évidence la sensibilité de ce type de paradigme à divers facteurs expérimentaux, tels que les conditions de présentation, les caractéristiques visuelles des stimuli ou encore les différences interindividuelles parmi les participants.

Pour pallier ces limites et explorer davantage les évaluations socio-morales, une seconde forme d'analyse a été menée en comparant les temps de regard enregistrés sur chacune des deux scènes de grimpe successives. Cette approche a permis d'approfondir les résultats et a montré que, dans les études 1 et 2, les enfants au développement typique regardaient significativement plus longtemps la scène où le grimpeur était aidé dans son ascension par une autre marionnette (i.e. scène prosociale) par rapport à celle où une marionnette l'empêchait d'atteindre le sommet en le repoussant vers le bas (i.e. scène antisociale). Ces observations sont cohérentes avec l'idée que les jeunes enfants manifestent une sensibilité accrue aux actions prosociales dès les premières années de vie (Hamlin & Wynn, 2011).

Cependant, un résultat surprenant a émergé dans l'étude 3 : aucune préférence significative pour l'une ou l'autre des scènes n'a été observée, que ce soit chez le groupe contrôle composé d'enfants ou celui composé d'adultes. Les participants passaient un temps équivalent à regarder les deux scènes successives. Ce constat est en accord avec les conclusions de nombreuses études qui ont tenté de reproduire les résultats originaux de Hamlin et al. (2007) en adaptant le paradigme de l'ascension de la colline. Ces travaux soulignent la grande variabilité des résultats, souvent attribuée à la complexité des mécanismes attentionnels et socio-cognitifs en jeu ainsi qu'aux différences dans les méthodologies expérimentales utilisées (Holvoet et al., 2016).

Ces résultats contrastés illustrent à la fois la richesse et la complexité des processus évaluatifs socio-moraux chez les populations au développement typique. Ils rappellent également que la sensibilité des paradigmes expérimentaux à de nombreux facteurs contextuels et individuels constitue un défi majeur dans l'étude des comportements prosociaux et antisociaux.

Ensemble, les données recueillies auprès de ces deux populations au développement typique ont permis de dresser un panorama clair des réponses attendues, notamment en termes de préférences visuelles et de compétences socio-émotionnelles. Ces résultats de référence jouent un rôle crucial dans l'interprétation des observations réalisées auprès des participants

polyhandicapés, en offrant un cadre normatif qui aide à contextualiser et à mieux comprendre les variations individuelles et les spécificités liées à cette population particulière.

7.1.2. Liens entre les différentes compétences testées (étude 2)

L'un des principaux atouts de l'étude 2 résidait dans la mise en œuvre d'un protocole unique : un groupe de 86 enfants au développement typique âgés de 1 à 3 ans a participé non pas à une tâche isolée, comme cela est souvent le cas dans les études expérimentales, mais à un ensemble de six tâches conçues pour évaluer différentes compétences socio-émotionnelles. Cette approche a permis, non seulement, d'obtenir une vue d'ensemble de ces aptitudes socio-émotionnelles à un âge clé du développement mais aussi d'explorer les éventuelles corrélations entre ces compétences, dans le but de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent leur émergence et leur interdépendance.

Les analyses corrélationnelles ont ainsi révélé plusieurs résultats intéressants.

Tout d'abord, il a été constaté que le taux de regard enregistré sur l'écran de présentation durant les sessions expérimentales (i.e. le pourcentage de temps passé à regarder l'écran par rapport à la durée totale de la session) n'était pas lié à l'âge des enfants. Autrement dit, les enfants plus âgés n'étaient pas systématiquement ceux qui regardaient le plus l'écran, et inversement, les enfants plus jeunes n'étaient pas nécessairement ceux qui détournaient le plus leur attention de l'écran pour observer leur environnement. Ce résultat suggère que le paradigme expérimental et les stimuli utilisés étaient bien adaptés pour des enfants dès l'âge de 1 an, tout en restant pertinents et engageants pour ceux âgés de 3 ans.

Par ailleurs, les performances des enfants, mesurées par la différence de temps de regard entre les paires de stimuli présentées simultanément, n'étaient pas non plus corrélées à leur âge. En d'autres termes, les enfants plus âgés n'étaient pas systématiquement meilleurs pour discriminer les différents types de stimuli visuels et les plus jeunes ne montraient pas nécessairement des performances inférieures. Ce résultat peut être interprété comme un reflet du développement précoce des compétences socio-émotionnelles : dès l'âge d'un an, les enfants semblent déjà capables de discriminer les types de stimuli visuels présentés dans cette étude.

L'un des résultats les plus surprenants de cette étude a été la quasi-absence de corrélations significatives entre les performances aux différentes tâches expérimentales. La seule exception notable concernait la préférence visuelle pour les stimuli socialement saillants (mesurée dans la tâche d'orientation sociale) qui était significativement corrélée à la préférence pour la zone

des yeux dans les expressions faciales utilisées. Cette association pourrait s'expliquer par le rôle crucial de la région des yeux dans l'acquisition d'informations pertinentes pour les interactions sociales, comme l'ont montré les travaux de Farroni et al. (2006).

Initialement, ces analyses de corrélation visaient à évaluer l'existence d'un processus commun sous-tendant les six compétences socio-émotionnelles étudiées. Cependant, les résultats obtenus n'ont pas permis de confirmer cette hypothèse. Malgré cela, cette étude représente une avancée importante dans le domaine : il s'agit, à notre connaissance, de l'une des premières recherches ayant évalué simultanément un ensemble de six aptitudes socio-émotionnelles au sein d'un échantillon aussi large de 86 enfants. Ce protocole innovant ouvre des perspectives intéressantes pour de futurs travaux. En particulier, des études utilisant des plans expérimentaux intra-sujets similaires dans des populations variées pourraient apporter un éclairage nouveau sur les relations entre ces compétences et leur développement au cours des premières années de vie.

7.2. Synthèse et discussion des résultats des participants polyhandicapés

Les résultats obtenus auprès des participants polyhandicapés suivis dans le cadre de cette thèse s'articulent autour de deux thématiques principales : d'une part, la faisabilité et la pertinence du paradigme expérimental développé pour évaluer les compétences socio-émotionnelles et, d'autre part, les effets positifs d'un entraînement centré sur la personne, mis en œuvre sur une année, visant à renforcer les compétences individuelles.

7.2.1. Évaluer les compétences socio-émotionnelles : faisabilité et pertinence du paradigme expérimental créé (études 1 et 3)

Les compétences socio-émotionnelles des enfants et adolescents polyhandicapés ont été évaluées dans les études 1 et 3. Nous allons revenir sur leurs résultats qui se structurent en trois axes principaux, à savoir : la faisabilité du paradigme (étude 1), l'évaluation des compétences socio-émotionnelles individuelles (études 1 et 3) et la mise en lien des données oculométriques avec les profils de compétences individuels établis à l'aide de l'échelle ECP (étude 1).

7.2.1.1. Faisabilité du paradigme expérimental (étude 1)

En ce qui concerne, tout d'abord, la faisabilité du paradigme, celle-ci a été testée via différentes analyses. Nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés au temps que chaque participant passait à regarder l'écran (vs. ailleurs dans la pièce) au cours des différentes séances expérimentales individuelles (cinq ou huit séances selon les participants) en calculant leurs taux de regard individuels. Il a été observé que sept des neuf participants polyhandicapés regardaient d'avantage l'écran qu'ailleurs dans la pièce dès leur première séance expérimentale. Parmi les deux participantes (Betty et Elise) qui avaient un taux de regard sur l'écran inférieur à 50% à la première séance, celui d'Elise augmentait considérablement dès la deuxième séance (passant de 15.09 à 48.88%) alors que les taux de regard de Betty avaient tendance à rester faibles, fluctuant relativement peu (de 24.06 à 35.28%) à travers les cinq séances qu'elle a effectuées. À noter que cette faible variation n'était, néanmoins, pas observée chez les autres participants dont les taux de regard avaient tendance à fortement fluctuer à travers les séances. Par ailleurs, deux participants se distinguaient des autres par leurs taux de regard particulièrement élevés : les taux de regard moyens de Nina et Mike étaient respectivement de 70.28 et 71.23% au terme de leurs huit séances expérimentales respectives, s'approchant du taux moyen de 75.82% mesuré chez les 32 enfants au développement typiques du groupe contrôle qui n'avaient été testés qu'une seule fois.

Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux temps passés à regarder chacun des six blocs de contenu expérimental présentés aux participants lors de chaque séance indépendamment de leur contenu visuel. À nouveau, ces temps ont été convertis en taux de regard. Pour soutenir la faisabilité du paradigme expérimental, nous nous attendions à observer, d'une part, des taux de regard moyens statistiquement équivalents sur les différents blocs (i.e. ne pas observer d'effet lié à l'ordre de présentation) et, d'autre part, des taux de regard moyens sur les deux premiers blocs présentés statistiquement équivalents à ceux mesurés sur les deux derniers blocs présentés (i.e. ne pas observer d'effet de fatigue à travers la séance). Conformément à nos attentes, aucun effet de fatigue n'a été observé, alors qu'un effet lié à l'ordre de présentation a été mesuré chez Zoé qui regardait davantage l'écran lors de la présentation du quatrième bloc de contenu expérimental.

Nous nous sommes, ensuite, intéressés aux taux de regard sur chaque tâche afin de déterminer si tous les types de stimuli visuels utilisés attiraient l'attention des participants de manière équivalente. Deux effets liés au contenu ont été observés : Jane passait, en moyenne,

moins de temps à regarder les stimuli de la PL-Task testant l'attention préférentielle au mouvement biologique que ceux de la SO-Task évaluant l'orientation sociale alors que chez Mike les stimuli de la PL-Task étaient significativement moins regardés par rapport à ceux de la SO-Task ainsi que ceux de la RJA-Task testant la réponse à l'attention conjointe.

Ensemble, ces résultats semblent confirmer la faisabilité du paradigme expérimental basé sur l'oculométrie développé dans l'étude 1 pour l'évaluation des compétences socio-émotionnelles d'enfants et d'adolescents polyhandicapés via leurs préférences visuelles. Ce paradigme, élaboré à partir de stimuli validés dans des études antérieures dans le domaine de la petite enfance, s'est montré à la fois adapté et pertinent pour cette population spécifique. Les participants, âgés de 6 à 17 ans, ont manifesté un intérêt soutenu pour les contenus proposés, indiquant que le paradigme était globalement attractif. De plus, la durée des séances expérimentales semblait bien calibrée pour leurs capacités attentionnelles puisqu'aucun signe d'effet de fatigue ne fut observé. Enfin, la diversité des tâches incluses a permis de maintenir leur engagement, aucun stimulus ne dominant systématiquement en termes d'attention. Ces résultats soulignent l'efficacité et la pertinence de ce paradigme pour explorer les compétences socio-émotionnelles de cette population hétérogène.

7.2.1.2. Pertinence du paradigme pour l'évaluation des compétences socio-émotionnelles individuelles (études 1 et 3)

Revenons tout d'abord sur de l'étude 1 dont les résultats concernant l'évaluation des compétences socio-émotionnelles des participants via leurs préférences visuelles individuelles ont révélé une forte variabilité à la fois intra- et inter-sujets. Ils ont, néanmoins, permis de mettre en évidence certaines compétences individuelles spécifiques à une tâche, bien que peu de similitudes aient été constatées entre ces résultats individuels et ceux du groupe de contrôle. Le Tableau 2 résume les préférences visuelles mesurées dans les différentes tâches expérimentales de l'étude 1 pour chaque participant polyhandicapé en comparaison de celles du groupe contrôle.

Tableau 2. Préférences visuelles obtenues dans les différentes tâches expérimentales individuellement pour chaque participant polyhandicapé en comparaison de celles du groupe contrôle (GC, $n = 32$) de l'étude 1

		Zoé	Nina	Suzan	Jane	Betty	Elise	Mike	John	Tim	GC
PL-Task	Mvmt biologique	NS	NS		NS	NS	NS	NS		NS	NS
	Mvmt non-biologique			NS					NS		
SO-Task	Scènes sociales	Sign.	NS		NS		NS	NS	Sign.		Sign.
	Scènes non-sociales			NS		NS				NS	
Visages	Yeux	NS	Sign.	NS	NS	Sign.	NS	Sign.	NS	Sign.	Sign.
	Bouche										
Émotions	Joie	NS		NS	NS			NS			
	Colère		NS			NS	NS		NS	NS	Sign.
RJA-Task	Objets regardés	NS	Sign.	- ¹	NS		NS	NS			Sign.
	Objets non-regardés			- ¹		Sign.			NS	NS	
SME-Task	Personnage prosocial	NS			NS	NS					
	Personnage antisocial		NS	NS			NS	NS	NS	NS	NS
SME-Task	Scène prosociale	NS	NS	NS	NS		NS	Sign.		NS	Sign.
	Scène antisociale					NS			NS		

Note. ¹ Nombre d'essais valides insuffisant

Sign. : préférence significative ($p < .05$) ; NS : préférence non-significative.

Si la tâche testant l'attention préférentielle au mouvement biologique (vs. non-biologique) n'a révélé aucun résultat significatifs (ni chez les neuf participants polyhandicapés ni chez le groupe contrôle), la tâche d'orientation sociale a quant à elle mis en évidence une préférence visuelle significative pour les stimuli socialement saillants par rapport aux stimuli non-sociaux chez deux jeunes polyhandicapés (Zoé et John) ainsi que chez le groupe contrôle.

L'exploration visuelle des visages est la tâche qui fut la plus concluante : les neuf participants polyhandicapés avaient tendance à regarder d'avantage la zone des yeux par rapport à celle de la bouche et chez quatre d'entre eux (Nina, Betty, Mike et Tim) cette préférence était significative tout comme chez le groupe contrôle. En revanche, aucun participant polyhandicapé n'a manifesté de préférence significative pour l'une ou l'autre des expressions émotionnelles (joie vs. colère) alors que la colère était significativement plus regardée par le groupe contrôle.

Dans la tâche évaluant la réponse à l'attention conjointe, bien que cinq participants polyhandicapés aient montré une tendance à regarder davantage les objets regardés par l'actrice par rapport à ceux qu'elle ne regardait pas, seule Nina présentait une préférence significative similaire à celle du groupe contrôle. Cependant, cette tâche a également révélé deux résultats inattendus : Betty a manifesté une préférence significative pour les objets non-regardés par

l'actrice, tandis qu'aucun temps de regard n'a pu être enregistré pour Suzan, empêchant ainsi tout calcul de taux de regard. Ces observations mettent en lumière des limites importantes liées au design de la tâche telle que proposée dans l'étude 1. Contrairement à une procédure de préférence visuelle standard, cette tâche était plus complexe et comportait des exigences supplémentaires. Tout d'abord, pour qu'un essai soit considéré comme valide et inclus dans les analyses, il était nécessaire que le participant explore non seulement les deux zones d'intérêt (AOIs) correspondant aux deux types de stimulus (l'objet regardé par l'actrice et l'objet non-regardé) mais aussi qu'il regarde la zone correspondant au visage de l'actrice. Ce dernier point était crucial pour s'assurer que le participant avait effectivement observé la direction du regard de l'actrice vers l'un des deux objets. Par ailleurs, la disposition des AOIs était alors asymétrique, avec le visage de l'actrice placé en haut au centre de l'écran et les objets en bas à gauche et à droite, nécessitant un balayage précis et un contrôle oculomoteur avancé. De plus, les AOIs étaient relativement petites, exigeant des mouvements oculaires particulièrement précis pour les explorer. Enfin, les deux objets présentés simultanément étaient identiques et leur distinction reposait uniquement sur la direction du regard de l'actrice et son expression de surprise, des indices visuels subtils et potentiellement difficiles à percevoir. Ces défis méthodologiques ont conduit à des temps de regard réduits et à un nombre limité d'essais valides compromettant ainsi la fiabilité des analyses. Ces résultats soulignaient donc l'importance d'adapter cette tâche pour qu'elle soit plus accessible aux participants polyhandicapés et permettent une collecte de données plus robuste.

Finalement, la tâche visant à tester les évaluations socio-morales a donné lieu à des résultats relativement neutres. Lorsque les participants étaient invités à exprimer une préférence visuelle pour l'une des deux marionnettes présentées simultanément à l'écran après qu'elles aient respectivement aidé ou empêché un grimpeur d'atteindre le sommet d'une colline, aucune préférence significative n'a été observée. Tant le groupe contrôle que les neuf participants polyhandicapés partageaient leur attention de manière équivalente entre les deux marionnettes. Cependant, en examinant le temps de regard consacré à chacune des deux scènes de grimpe au moment où les actions prosociale et antisociale étaient exécutées, des tendances plus révélatrices ont émergé. Sept participants polyhandicapés montraient une inclination à regarder plus longtemps la scène prosociale, une préférence significative ayant été identifiée chez l'un d'entre eux (Mike). Cette tendance était également observée chez le groupe contrôle, suggérant que, malgré l'absence de préférence explicite pour une marionnette dans le test final, les participants pouvaient discriminer les actions prosociales et antisociales durant l'interaction.

Par ailleurs, ces résultats sont corroborés par ceux obtenus dans l'étude 3, où une version révisée du paradigme expérimental a été utilisée pour évaluer les compétences socio-émotionnelles individuelles avant (T1) et après (T2) la phase d'entraînement. Bien que la progression de chaque participant entre ces deux temps de mesure soit détaillée dans la sous-section suivante, il est pertinent de souligner ici que la version révisée du paradigme a permis d'obtenir davantage de résultats significatifs à T1, comparativement à la version originale utilisée dans l'étude 1. Parmi les tâches modifiées, certaines ont montré des améliorations notables.

Par exemple, la tâche d'attention préférentielle au mouvement biologique, qui n'avait produit aucun résultat concluant dans l'étude 1, a révélé que tous les participants polyhandicapés regardaient davantage les mouvements biologiques, avec une préférence significative observée chez quatre d'entre eux (Zoé, Nina, Elise et Mike).

De même, l'exploration visuelle des visages, dont le temps de présentation avait été réduit de 10 à 8 secondes par essai, a montré une préférence visuelle significative pour la zone des yeux chez les neuf participants polyhandicapés à T1.

En ce qui concerne la discrimination des émotions faciales, des différences importantes sont également apparues. Alors que l'étude 1 testant uniquement la discrimination entre la joie et la colère n'avait révélé aucun résultat significatif (à l'exception du groupe contrôle), l'étude 3 a montré que deux participants polyhandicapés, John et Tim, manifestaient une préférence visuelle pour les visages exprimant la colère similaire à celle observée chez le groupe contrôle à T1. En revanche, les deux autres discriminations testées à l'aide de la version révisée du paradigme expérimental (i.e. joie vs. tristesse et colère vs. tristesse) n'ont pas produit de résultats significatifs, ni chez les participants polyhandicapés ni chez le groupe contrôle.

Enfin, en ce qui concerne la tâche de réponse à l'attention conjointe, qui avait fait l'objet des modifications les plus substantielles en raison des résultats mitigés obtenus dans l'étude 1, l'étude 3 a permis de mettre en évidence des résultats nettement plus convaincants. En particulier, une tendance accrue à regarder les objets regardés par l'actrice a été mesurée chez sept participants polyhandicapés, contre six dans l'étude 1. Parmi ces participants, Zoé et Nina ont manifesté une préférence visuelle significative pour les objets regardés, un progrès notable puisque Nina n'avait pas montré de résultats significatifs lors de cette tâche dans l'étude 1. Ces améliorations témoignent de l'efficacité des révisions apportées au paradigme expérimental. La simplification des stimuli, l'ajustement des paramètres de présentation et l'amélioration du

design global semblent avoir contribué à renforcer la sensibilité des tâches, permettant ainsi de capter avec plus de précision les réponses des participants. Ces ajustements ont, non seulement, accru la robustesse des résultats obtenus mais ils renforcent également la pertinence de cette méthode pour l'évaluation des compétences socio-émotionnelles chez des enfants et adolescents polyhandicapés.

En outre, ces résultats mettent en lumière le potentiel du paradigme révisé pour dresser des profils de compétences socio-émotionnelles individuels. Une telle sensibilité accrue offre des perspectives prometteuses pour une meilleure compréhension des capacités socio-cognitives de cette population et pour l'adaptation d'interventions pédagogiques ou thérapeutiques ciblées.

7.2.1.3. Mise en lien des données oculométriques avec les profils de compétences individuels établis à l'aide de l'échelle ECP (étude 1)

Enfin, en ce qui concerne la mise en lien des données oculométriques avec les profils de compétences individuels établis à l'aide de l'échelle ECP, deux résultats intéressants ont été mis en avant.

Les analyses corrélationnelles effectuées dans l'étude 1 ont, tout d'abord, montré que les scores obtenus à la sous-échelle mesurant les capacités attentionnelles de l'ECP (évaluée à travers sept items, tels que « Oriente volontairement son attention vers un objet qui l'intéresse » ou encore « Maintient son attention de manière soutenue », cf. Figure 3) corrélaient significativement avec les taux de regard enregistrés lors des séances expérimentales : les jeunes polyhandicapés qui regardaient davantage l'écran durant celles-ci (vs. ailleurs dans la pièce) avaient également tendance à obtenir un score élevé à la sous-échelle mesurant les capacités attentionnelles de l'ECP.

Concernant la seconde hypothèse selon laquelle la sous-échelle évaluant les compétences socio-émotionnelles de l'ECP corrélait avec les capacités à discriminer les différents types de stimuli appariés, les analyses ont révélé que seule la capacité à discriminer les objets d'attention conjointe (temps passé à regarder les objets regardés par l'actrice vs. temps sur les objets non-regardés par celle-ci) corrélait significativement avec le score obtenu aux dix items de la sous-échelle de l'ECP évaluant les compétences socio-émotionnelles (e.g. « Est capable de s'adapter aux émotions qu'elle perçoit chez les autres » ou encore « Prête attention à une activité en même temps qu'une autre personne », voir Figure 4, pour la liste complète).

Ensemble, ces résultats sont très prometteurs : ils montrent qu'il est possible de recourir à des tâches développées initialement pour étudier les compétences précoces des bébés afin d'évaluer le développement socio-émotionnel de personnes polyhandicapées. Malgré certaines limites méthodologiques, nous avons pu montrer, dès l'étude 1, que le paradigme expérimental proposé était suffisamment sensible pour permettre d'établir des profils de compétences individuels, apportant ainsi une contribution au développement de nouvelles méthodes pour mieux évaluer cette population.

7.2.2. Entraîner les compétences socio-émotionnelles : effets positifs de l'entraînement centré sur la personne implémenté (étude 3)

L'étude 3 avait pour objectif principal d'évaluer les effets d'un entraînement centré sur la personne, mené sur une période d'un an, visant à soutenir les compétences socio-émotionnelles de neuf enfants et adolescents polyhandicapés. Cet entraînement reposait sur l'utilisation de la technologie d'eye-tracking qui remplaçait alors les moyens de contrôle classiques, tels que la souris ou le clavier, par le regard, permettant ainsi aux participants de s'engager activement dans des activités numériques adaptées malgré leurs limitations motrices. L'approche adoptée visait à répondre à deux enjeux majeurs : évaluer les bénéfices d'un entraînement personnalisé sur les compétences socio-émotionnelles et mieux comprendre les potentialités de cette population en termes d'apprentissage et d'adaptabilité cognitive. L'entraînement comprenait des séances régulières (1 à 5 par semaine) au cours desquelles les participants s'engageaient dans des tâches interactives et ludiques (*serious games*) conçues pour cibler un ensemble de compétences spécifiques. Une évaluation préliminaire (T1) et une évaluation finale effectuée au terme de la phase d'entraînement (T2) ont permis de mesurer les progrès réalisés par chaque participant. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 3. Ils montrent des progrès significatifs dans plusieurs compétences avec des différences interindividuelles soulignant l'importance d'une approche individualisée.

Tableau 3. Préférences visuelles obtenues dans les différentes tâches expérimentales pour chaque participant polyhandicapé avant (T1) et après (T2) la phase d'entraînement

		Zoé		Nina		Suzan		Jane		Betty		Elise		Mike		John		Tim	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
PLM-Task	Mvmt biologique	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.*	NS	NS	NS	Sign.*	NS	NS	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	NS	Sign.	NS	Sign.
	Mvmt non-biologique																		
SO-Task	Scènes sociales	Sign.	Sign.*	Sign.	Sign.*	NS	Sign.		Sign.*	NS	Sign.*		Sign.*	NS	Sign.*	Sign.	Sign.		Sign.*
	Scènes non-sociales							NS				NS						NS	
Visages	Yeux	Sign.	Sign.*	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.*	Sign.	Sign.	Sign.	Sign.
	Bouche																		
Émotions	Colère			NS	NS	NS	NS	NS	Sign.		NS		NS	NS	NS	Sign.	NS	Sign.	NS
	Joie	NS	NS							NS		NS							
Émotions	Joie	NS	NS	NS	NS	Sign.	NS *	NS	NS	NS	Sign.				NS	NS	NS	NS	NS
	Tristesse											NS	NS	NS					
Émotions	Colère	NS	NS	NS	Sign.	NS				NS	Sign.		NS	NS	NS	NS		NS	NS
	Tristesse						Sign.*	NS	NS			NS					NS		
RJA-Task	Objets regardés	Sign.	Sign.*	Sign.	Sign.*	NS	Sign.*		Sign.*	NS	Sign.	NS	Sign.*	NS	Sign.*		Sign.*		Sign.*
	Objets non-regardés							NS								NS		NS	
SME-Task	Perso. prosocial	NS		NS	Sign.*	NS	NS		Sign.*	NS	NS	Sign.	Sign.	NS	Sign.	NS	Sign.		Sign.
	Perso. antisocial		NS *					NS										NS	
SME-Task	Scène prosociale	Sign.	NS	NS	Sign.	NS	Sign.*		Sign.*		Sign.		Sign.*	NS	Sign.		Sign.*		Sign.*
	Scène antisociale							NS		NS		NS				NS		Sign.	

Note. Sign. : préférence significative ($p < .05$) ; NS : préférence non-significative ; les astérisques (*) indiquent les progrès significatifs entre T1 et T2 (tests- t appariés).

Tout d'abord, une amélioration globale de l'exploration visuelle a été constatée chez l'ensemble des participants. À T2, tous les participants passaient significativement plus de temps à regarder l'écran au cours des séances d'évaluation qu'à T1. Cette augmentation témoigne d'une attention visuelle accrue et d'un engagement renforcé dans les tâches proposées, suggérant une meilleure capacité d'attention soutenue et une motivation accrue liée à l'entraînement.

En ce qui concerne l'attention préférentielle au mouvement biologique, les résultats mettent en lumière des progrès notables. Alors qu'à T1, seuls quatre participants manifestaient une préférence significative pour le mouvement biologique, cette préférence était mesurée chez sept participants à T2. Ce résultat révèle une sensibilité accrue aux indices visuels socialement pertinents après l'entraînement, soulignant l'efficacité de ce dernier pour développer cette compétence essentielle dans les interactions sociales.

L'orientation sociale, une autre compétence clé, a également montré des avancées remarquables. Initialement, seuls trois participants manifestaient une préférence visuelle significative pour les stimuli socialement saillants. Cependant, cette préférence était systématiquement retrouvée chez tous les participants à T2. Ce résultat reflète une amélioration importante de la capacité à orienter l'attention vers des interactions sociales et traduit un développement notable des compétences socio-émotionnelles globales. Cette évolution est corroborée par l'augmentation des scores sur l'échelle ECP (Évaluation-Cognition-Polyhandicap) pour cette dimension.

En ce qui concerne l'exploration visuelle des visages, bien que tous les participants aient déjà montré une nette préférence pour la zone des yeux par rapport à celle de la bouche à T1, des améliorations supplémentaires ont été constatées à T2. Plus précisément, Zoé et Mike ont présenté une attention encore plus marquée pour cette région, renforçant ainsi leur capacité à extraire des indices émotionnels essentiels. Ces progrès sont particulièrement significatifs, la zone des yeux jouant un rôle clé dans la compréhension et l'interprétation des expressions faciales.

En revanche, les résultats de la discrimination émotionnelle étaient plus variables. À T2, seule Jane a montré une amélioration notable en différenciant plus efficacement les visages exprimant la colère de ceux exprimant la joie par rapport à T1. Cependant, John et Tim, qui discriminaient ces émotions à T1, ne manifestaient plus cette distinction claire à T2. D'autres résultats isolés méritent également d'être mentionnés : Betty a développé une préférence pour

les visages exprimant la joie par rapport à la tristesse à T2 alors qu'elle ne discriminait pas ces émotions à T1. De même, Nina et Betty regardaient significativement plus les visages exprimant la colère que ceux exprimant la tristesse à T2, tandis que Suzan manifestait une préférence pour les visages de tristesse par rapport à la colère à T2, ce qu'elle ne faisait pas à T1. Ces résultats hétérogènes reflètent des différences interindividuelles marquées, suggérant que la discrimination émotionnelle peut être influencée par des facteurs personnels, comme l'exposition préalable à certaines émotions mais également par les caractéristiques visuelles des stimuli utilisés comme discuté plus haut dans la synthèse des résultats des groupes contrôle.

Les résultats de la tâche testant la réponse à l'attention conjointe confirment également l'efficacité de l'entraînement. Alors qu'à T1, sept participants manifestaient une préférence pour les objets regardés par l'actrice, cette préférence était observée chez tous les participants à T2. Cette progression illustre une amélioration significative des compétences liées à l'attention partagée, un élément fondamental dans le développement des interactions sociales (Cilia et al., 2018).

Enfin, dans la tâche évaluant les évaluations socio-morales, des progrès notables ont également été enregistrés. À T2, six participants manifestaient une préférence visuelle pour la marionnette ayant aidé le grimpeur à atteindre le sommet de la colline (i.e. personnage prosocial), contre un seul à T1 (Elise). Plus impressionnant encore, huit participants passaient significativement plus de temps à regarder la scène prosociale par rapport à la scène antisociale. Ces résultats traduisent une sensibilité accrue aux comportements prosociaux et un intérêt renforcé pour les interactions sociales positives.

En résumé, l'ensemble des résultats met en évidence les bénéfices significatifs d'un entraînement centré sur la personne pour le développement des compétences socio-émotionnelles dans une population polyhandicapée. Bien que certaines compétences aient montré des résultats plus variables (comme la discrimination émotionnelle), d'autres, telles que l'attention conjointe, l'orientation sociale ou encore l'exploration visuelle des visages, ont bénéficié d'améliorations systématiques, soulignant la pertinence et l'efficacité de l'approche utilisée.

7.3. Limites

Malgré les contributions significatives de cette thèse, plusieurs limites méritent d'être soulignées.

Tout d'abord, les effets des séances d'entraînement ont été évalués en comparant les préférences visuelles des participants avant et après la phase d'entraînement grâce au paradigme expérimental. Bien que cette approche ait permis de mettre en évidence des progrès individuels, une analyse plus détaillée des performances des participants aux différents *serious games* utilisés aurait pu enrichir davantage notre compréhension des effets spécifiques de chaque jeu. Malheureusement, cette analyse n'a pas été anticipée au début de la phase d'entraînement et la plupart des jeux proposés ne permettaient pas d'enregistrer les réponses des participants (e.g. correctes ou erronées). Certains jeux n'étaient pas conçus pour générer de telles données, limitant ainsi notre capacité à quantifier précisément les apprentissages au cours des sessions.

Une autre piste importante aurait été d'examiner les effets de l'entraînement au-delà des tâches expérimentales, en explorant le transfert potentiel des compétences acquises à d'autres domaines. En effet, les participants bénéficiaient d'un éventail d'activités quotidiennes proposées par l'IME et il aurait été pertinent d'investiguer si les compétences renforcées dans nos tâches expérimentales se traduisaient par des progrès dans d'autres contextes.

La question clé du transfert des apprentissages, qui désigne la capacité d'appliquer des connaissances ou compétences acquises dans un contexte à d'autres situations, constitue un enjeu central dans les approches éducatives et thérapeutiques (Barnett & Ceci, 2002). Étudier ce phénomène aurait permis de mieux comprendre les potentialités et les limites individuelles des participants polyhandicapés en termes d'apprentissage. Par exemple, des progrès observés dans des compétences socio-émotionnelles, comme l'attention conjointe, auraient pu se manifester dans des interactions sociales spontanées ou des activités éducatives proposées au sein de l'IME. Toutefois, un tel suivi nécessiterait des outils d'évaluation longitudinale et une collaboration étroite avec les professionnels qui, dans le contexte de cette thèse, s'est avérée particulièrement complexe.

Une contrainte majeure à cette collaboration était le fort taux de renouvellement du personnel au sein de l'IME reflétant une problématique structurelle dans les domaines de la santé et de l'aide à la personne, tant en France qu'en Suisse. Les établissements médico-sociaux font face à une pénurie chronique de personnel qualifié, exacerbée par des conditions de travail

souvent difficiles, des salaires peu attractifs et un manque de reconnaissance (HAS, 2020). En 2021, en France, près de 64% des établissements pour personnes en situation de handicap déclaraient avoir des difficultés à recruter (Jouve, 2022). De plus, la rotation importante des intérimaires compliquait la continuité des prises en charge. Cette instabilité du personnel a directement impacté notre capacité à obtenir des retours approfondis sur les performances des participants en dehors des séances d'entraînement car les professionnels engagés pour de courtes périodes n'avaient ni une connaissance approfondie des participants ni une familiarité avec le projet de recherche en cours.

L'étude des effets à long terme de l'entraînement constitue également une piste de recherche essentielle. Malheureusement, en raison des contraintes temporelles inhérentes à cette thèse, il n'a pas été possible d'examiner si les progrès observés à court terme étaient maintenus ou renforcés avec le temps. Une évaluation longitudinale aurait permis de mieux comprendre la durabilité des apprentissages et leur impact sur la qualité de vie des participants.

Enfin, un autre facteur limitant a été la difficulté à impliquer les parents des participants dans le projet. Bien qu'il ait été initialement prévu qu'ils complètent des questionnaires à plusieurs étapes du projet, il a été particulièrement compliqué de maintenir leur participation malgré de multiples relances. Ce défi est fréquemment rencontré dans les recherches impliquant des familles d'enfants polyhandicapés. Ces parents doivent souvent jongler avec des contraintes importantes, telles que la gestion de soins quotidiens complexes, l'épuisement émotionnel et physique ainsi que des démarches administratives chronophages (Woodgate et al., 2015). Par ailleurs, plusieurs études soulignent que ces familles peuvent se sentir submergées par les demandes de participation à des recherches qu'elles perçoivent parfois comme secondaires par rapport à leurs priorités immédiates (Bailey et al., 2006). Ces facteurs ont conduit à une faible implication des parents dans cette thèse limitant ainsi la richesse des données recueillies à travers leurs observations.

Malgré ces limitations, les résultats obtenus démontrent le potentiel des approches proposées et ouvrent la voie à de futures recherches pour surmonter ces défis et approfondir la compréhension du développement socio-émotionnel des personnes polyhandicapées.

7.4. Perspectives

Au terme de ce travail de thèse, plusieurs perspectives prometteuses émergent. La première porte sur la démocratisation croissante de l'oculométrie et sur son potentiel en tant qu'outil essentiel pour évaluer et soutenir les compétences des personnes polyhandicapées. La seconde perspective s'inscrit dans une démarche d'extension et d'implémentation à plus grande échelle des études menées auprès de cette population.

7.4.1. L'eye-tracking : une technologie prometteuse et accessible pour l'évaluation et le soutien des compétences des personnes polyhandicapées

Les avancées technologiques récentes ont permis à l'oculométrie de se démocratiser rendant cette technologie de plus en plus accessible et adaptée à une utilisation dans des contextes médico-éducatifs. Au cours des dernières années, l'eye-tracking a bénéficié de progrès significatifs en matière de précision, de vitesse d'enregistrement et de convivialité des dispositifs. Par exemple, les capteurs modernes offrent une résolution temporelle et spatiale largement suffisante pour enregistrer, avec précision, les mouvements oculaires, tout en maintenant un coût d'acquisition abordable (Holmqvist et al., 2011). Aujourd'hui, il est possible d'acquérir des dispositifs performants à des prix inférieurs à 200 CHF comme l'Eye Tracker 5 de Tobii. Ce dernier, successeur de l'Eye Tracker 4C utilisé dans cette thèse durant la phase d'entraînement, illustre parfaitement la convergence entre performance et accessibilité économique, rendant cette technologie utilisable même dans des structures avec des moyens limités.

L'intégration de l'oculométrie dans les pratiques des établissements médico-éducatifs représente une opportunité majeure pour améliorer l'évaluation et l'accompagnement des personnes polyhandicapées. Cependant, un constat préoccupant observé durant cette thèse est que de nombreux professionnels manquent de ressources et de connaissances actualisées sur les technologies émergentes et les pratiques basées sur des preuves (*evidence-based practices*) pour intégrer des innovations technologiques dans leurs pratiques. Ils ne disposent souvent pas des informations nécessaires pour accéder aux avancées scientifiques qui pourraient enrichir leurs interventions ou ouvrir de nouvelles perspectives. Ce constat rejoint les observations de Sigafoos et al. (2008) qui soulignent que l'écart entre les recherches scientifiques et les pratiques de terrain reste un obstacle majeur à l'amélioration des interventions. Cette lacune renforce un sentiment d'impuissance face à des situations complexes où l'eye-tracking pourrait

pourtant fournir des données objectives pour mieux comprendre les capacités individuelles et guider les stratégies d'accompagnement.

Cependant, l'acquisition de dispositifs d'oculométrie ne peut se limiter à l'achat de matériel. Pour que ces outils soient véritablement efficaces, il est essentiel de former les professionnels à leur utilisation. Une compréhension approfondie des principes de l'oculométrie, des capacités techniques des dispositifs et des applications possibles dans des contextes médico-éducatifs est indispensable. Il est donc crucial de développer des formations spécifiques pour les professionnels afin qu'ils puissent exploiter pleinement le potentiel des dispositifs d'oculométrie. Ces formations devraient notamment inclure des modules sur l'utilisation technique de l'eye-tracking mais également sur l'interprétation des données, permettant ainsi une application pratique et concrète dans l'évaluation et le soutien des compétences des résidents.

En outre, il serait pertinent d'organiser davantage de collaborations entre les instituts médico-éducatifs et les laboratoires de recherche, telles que celle qui fut à l'origine de ce travail, pour encourager un transfert de connaissances et un partage des bonnes pratiques. Ces collaborations permettraient de mettre en œuvre des protocoles d'évaluation innovants, de former les professionnels aux outils technologiques et d'améliorer la prise en charge des personnes polyhandicapées.

En conclusion, l'eye-tracking offre une perspective prometteuse pour enrichir les pratiques évaluatives, éducatives et thérapeutiques auprès des personnes polyhandicapées. Grâce à sa démocratisation et à ses propriétés techniques avancées, cette technologie pourrait devenir un outil incontournable dans les instituts médico-éducatifs. Cependant, son intégration nécessite une démarche globale impliquant l'équipement des structures, la formation des professionnels et l'établissement de collaborations interdisciplinaires. Cette approche pourrait, non seulement, améliorer l'évaluation et l'accompagnement des personnes polyhandicapées mais aussi contribuer à leur inclusion et à leur épanouissement.

7.4.2. L'importance de l'implémentation des recherches à grande échelle

Si cette thèse a permis d'apporter des éclairages précieux sur le développement socio-émotionnel de neuf participants polyhandicapés, il est désormais nécessaire de réfléchir à la possibilité d'élargir ces recherches à une échelle plus importante. Tester un nombre restreint de participants, bien que justifié par les contraintes logistiques et les besoins spécifiques de cette

population, limite la généralisation des résultats obtenus. Une étude de plus grande ampleur permettrait non seulement d'affiner les conclusions mais aussi de mieux comprendre les variations interindividuelles au sein de la population polyhandicapée qui se caractérise par une extrême hétérogénéité.

L'élargissement de ce type de recherche s'inscrit dans une démarche d'inclusion scientifique et éducative plus globale. Comme le souligne Richard et al. (2023), une approche à grande échelle serait particulièrement pertinente pour documenter la variabilité des compétences socio-émotionnelles. Ces auteurs mettent également en évidence l'importance de développer des outils d'évaluation accessibles et standardisés qui permettraient de mesurer les progrès individuels de manière fiable et objective. Par ailleurs, leurs travaux suggèrent que les programmes d'entraînement, combinés à des méthodologies robustes, pourraient avoir un impact significatif sur le développement de compétences essentielles, telles que l'attention conjointe et la compréhension des signaux sociaux. Par ailleurs, ces auteurs insistent sur l'intérêt de combiner les données expérimentales avec des observations qualitatives pour mieux comprendre les variations interindividuelles et les mécanismes sous-jacents aux apprentissages chez les enfants au développement typique.

Une implémentation à grande échelle des outils développés dans cette thèse permettrait ainsi de les valider et de préciser leur utilité clinique auprès de la population polyhandicapée. Néanmoins, la mise en œuvre de telles recherches nécessite des partenariats interdisciplinaires impliquant des chercheurs, des professionnels de terrain et des institutions publiques ou privées. Ces collaborations faciliteraient, non seulement, le déploiement des outils d'évaluation mais contribueraient également à sensibiliser les décideurs politiques à l'importance de financer des projets d'envergure visant à améliorer les pratiques auprès des personnes polyhandicapées. En outre, une recherche élargie permettrait de mieux comprendre les facteurs favorisant ou limitant les apprentissages chez cette population, éclairant ainsi les professionnels sur les potentialités et les limites des interventions centrées sur la personne.

Enfin, il est essentiel d'explorer les effets à long terme des programmes d'entraînement basés sur l'eye-tracking, afin d'évaluer leur impact durable sur la qualité de vie et l'autonomie des participants. Une telle démarche pourrait contribuer à établir des lignes directrices pour la mise en œuvre de ces technologies dans les politiques publiques renforçant ainsi leur accessibilité et leur efficacité.

7.5. Conclusion générale

Cette thèse a exploré les apports de l'oculométrie pour l'évaluation et le soutien des compétences socio-émotionnelles chez des enfants et adolescents polyhandicapés ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour une prise en charge mieux adaptée à leurs besoins spécifiques. En s'appuyant sur des stimuli et paradigmes expérimentaux empruntés à la psychologie développementale et en intégrant des programmes d'entraînement personnalisés, ces travaux ont démontré que, loin d'être « instable », cette population est capable de manifester des compétences souvent sous-estimées.

Les résultats obtenus montrent que l'oculométrie constitue un outil précieux, à la fois pour évaluer objectivement des dimensions complexes comme l'attention conjointe ou la reconnaissance des expressions émotionnelles ainsi que pour accompagner le développement des compétences individuelles. Par son caractère non-invasif, précis et adaptable, cette technologie offre un moyen novateur de mieux comprendre et valoriser les potentialités des personnes polyhandicapées tout en tenant compte de leurs limitations. De plus, le succès des programmes d'entraînement centrés sur la personne souligne l'importance de concevoir des interventions qui respectent les besoins et les capacités spécifiques de chaque individu favorisant ainsi des progrès tangibles dans leur qualité de vie.

Cependant, ce travail met également en lumière des limites importantes et des défis encore à relever. Parmi ceux-ci, l'absence d'un suivi longitudinal pour évaluer les effets à long terme des interventions, le manque d'investigation sur le transfert des apprentissages dans différents contextes ainsi que les difficultés liées à l'implication des parents et des professionnels reflètent des enjeux cruciaux pour la recherche future. Ces éléments soulignent la nécessité de renforcer les collaborations entre les équipes pluridisciplinaires, les institutions médico-éducatives et les familles afin de maximiser l'impact des outils développés.

Au-delà des résultats obtenus, cette thèse ouvre des perspectives ambitieuses. D'une part, la démocratisation croissante de l'oculométrie, avec des dispositifs plus accessibles et performants, permet d'envisager une utilisation élargie de cette technologie dans les structures médico-éducatives. D'autre part, la mise en œuvre d'études à grande échelle, intégrant un échantillon plus représentatif de la diversité des profils polyhandicapés, apparaît comme une étape essentielle pour confirmer et approfondir les conclusions de ce travail. Ces initiatives pourraient contribuer, non seulement, à améliorer les pratiques d'évaluation et d'intervention

mais aussi à sensibiliser davantage les professionnels aux avancées scientifiques susceptibles d'enrichir leurs approches.

En définitive, cette thèse aspire à combler un vide dans la littérature sur le polyhandicap, en mettant en avant la valeur et la pertinence d'une méthodologie novatrice. Elle réaffirme que les jeunes polyhandicapés, souvent perçus uniquement à travers leurs limitations, possèdent des potentialités qui méritent d'être reconnues, explorées et soutenues. En adoptant des outils tels que l'oculométrie et en plaçant l'individu au centre de l'intervention, il est possible de redéfinir les contours de leur accompagnement, avec l'espoir de leur offrir une existence plus épanouissante et inclusive.

Chapitre 8. Références bibliographiques

- Amantis, R., Corradi, F., Molteni, A. M., Massara, B., Orlandi, M., Federici, S., Olivetti Belardinelli, M., & Mele, M. L. (2011). Eye-tracking assistive technology: is this effective for the developmental age? Evaluation of eye-tracking systems for children and adolescents with cerebral palsy. *Assistive Technology Research Series*, 29, 489–496. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-814-4-489>
- Aubineau, L.-H., Vandromme, L., & Le Driant, B. (2015). L'attention conjointe, quarante ans d'évaluations et de recherches de modélisations. *L'Année Psychologique*, 115(1), 141–174. <https://doi.org/10.3917/anpsy.151.0141>
- Bailey Jr, D. B., Bruder, M. B., Hebbeler, K., Carta, J., Defosset, M., Greenwood, C., Kahn, L., Mallik, S., Markowitz, J., Spiker, D., Walker, D., & Barton, L. (2006). Recommended outcomes for families of young children with disabilities. *Journal of Early Intervention*, 28(4), 227–251. <https://doi.org/10.1177/105381510602800401>
- Bardi, L., Regolin, L., & Simion, F. (2011). Biological motion preference in humans at birth: Role of dynamic and configural properties. *Developmental Science*, 14(2), 353–359. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00985.x>
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612–637. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.4.612>
- Baudouin, J.-Y., Durand, K., Soussignan, R., & Schaal, B. (2016). Exploration oculaire du visage et expression faciale chez le jeune enfant: Une approche qualitative du développement cognitif et social [Visual exploration of face and facial expression in infancy: A qualitative approach of cognitive and social development]. *A.N.A.E.*, 28(142), 297–304.
- Bayet, L., Pascalis, O., & Gentaz, E. (2014). The development of emotional facial expression discrimination by infants in the first year of life. *L'Année Psychologique*, 114(3), 469–500. <https://doi.org/10.4074/S0003503314003030>
- Beukelman, D. R., & Mirenda, P. (2017). *Communication alternative et améliorée: Aider les enfants et les adultes avec des difficultés de communication*. De Boeck Supérieur.
- Bidet-Ildei, C., Kitromilides, E., Orliaguet, J. P., Pavlova, M., & Gentaz, E. (2014). Preference for point-light human biological motion in newborns: Contribution of translational displacement. *Developmental Psychology*, 50(1), 113–120. <https://doi.org/10.1037/a0032956>

- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L., & Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14(2), 151–157. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01434>
- Borgestig, M., Sandqvist, J., Parsons, R., Falkmer, T., & Hemmingsson, H. (2016). Eye gaze performance for children with severe physical impairments using gaze-based assistive technology – A longitudinal study. *Assistive Technology*, 28, 93–102. <https://doi.org/10.1080/10400435.2015.1092182>
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (2000). The Design of Learning Environments. In N. R. Council (Ed.), *How People Learn: Brain, Mind, Experience, School* (pp. 117–142). The National Academies Press.
- Brito, N. H., Fifer, W. P., Amso, D., Barr, R., Bell, M. A., Calkins, S., Flynn, A., Montgomery-Downs, H. E., Oakes, L. M., Richards, J. E., Samuelson, L. M., & Colombo, J. (2019). Beyond the Bayley: Neurocognitive assessments of development during infancy and toddlerhood. *Developmental Neuropsychology*, 44, 220–247. <https://doi.org/10.1080/87565641.2018.1564310>
- Britto, P. R., Lye, S. J., Proulx, K., Yousafzai, A. K., Matthews, S. G., Vaivada, T., Perez-Escamilla, R., Rao, N., Ip, P., Fernald, L. C. H., MacMillan, H., Hanson, M. A., Wachs, T. D., Yao, H., Yoshikawa, H., Cerezo, A., Leckman, J. F., & Bhutta, Z., A. (2017). Nurturing care: Promoting early childhood development. *The Lancet*, 389(10064), 91–102. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31390-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31390-3)
- Buffle, P., Cavadini, T., Posada, A., & Gentaz, E. (2021). A study on visual preference for social stimuli in typical Ecuadorian preschoolers as a contribution to the identification of autism risk factors. *Scientific Reports*, 11(1), 8461. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87888-3>
- Bulf, H., Valenza, E., & Turati, C. (2013). How a hat may affect 3-month-olds’ recognition of a face: An eye-tracking study. *PLoS ONE*, 8(12), e82839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082839>
- Bylinskii, Z., Borkin, M. A., Kim, N. W., Pfister, H., & Oliva, A. (2017). Eye Fixation Metrics for Large Scale Evaluation and Comparison of Information Visualizations. In M. Burch, L. Chuang, B. Fisher, A. Schmidt, & D. Weiskopf (Eds.), *Eye Tracking and Visualization. Foundations, Techniques, and Applications* (pp. 235–255). Springer International Publishing.
- Candini, M., di Pellegrino, G., & Frassinetti, F. (2020). The plasticity of the interpersonal space in autism spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 147, 107589. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107589>

- Cannella, H. I., O'Reilly, M. F., & Lancioni, G. E. (2005). Choice and preference assessment research with people with severe to profound developmental disabilities: A review of the literature. *Research in Developmental Disabilities*, 26(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2004.01.006>
- Carnaby, S. (2007). Developing good practice in the clinical assessment of people with profound intellectual disabilities and multiple impairment. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 4(2), 88–96. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2007.00105.x>
- Caron, R. F., Caron, A. J., & Myers, R. S. (1985). Do infants see emotional expressions in static faces? *Child Development*, 56(6), 1552–1560. <https://doi.org/10.2307/1130474>
- Carter, A. S., Briggs-Gowan, M. J., & Davis, N. O. (2004). Assessment of young children's social-emotional development and psychopathology: Recent advances and recommendations for practice. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1), 109–134. <https://doi.org/10.1046/j.0021-9630.2003.00316.x>
- Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (2022). Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *PLoS ONE*, 17(4), e0266176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266176>
- Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (submitted). Improving social-emotional abilities in children with profound intellectual and multiple disabilities through a person-centred eye-tracking-based training.
- Cavadini, T., Fort, M., Pascalis, O., & Gentaz, E. (2022). Quels sont les effets du port du masque sur la reconnaissance des visages et des émotions chez les enfants et les adultes ? *A.N.A.E.*, 34(176), 113–125
- Cavadini, T. & Gentaz, E. (2023). Les apports de l'oculométrie pour évaluer des compétences socio-émotionnelles de personnes en situation de polyhandicap. *Contraste*, 57, 27–50.
- Cavadini, T., Riviere, E., & Gentaz, E. (2024). An eye-tracking study on six early social-emotional abilities in children aged 1 to 3 years. *Children*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/children11081031>
- Chard, M., Roulin, J.-L., & Bouvard, M. (2014). Visual habituation paradigm with adults with profound intellectual and multiple disabilities: A new way for cognitive assessment? *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 27(5), 481–488. <https://doi.org/10.1111/jar.12079>

- Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>
- Chita-Tegmark, M. (2016). Social attention in ASD: A review and meta-analysis of eye-tracking studies. *Research in Developmental Disabilities*, 48, 79–93. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.10.011>
- Cilia, F., Garry, C., Brisson, J., & Vandromme, L. (2018). Attention conjointe et exploration visuelle des enfants au développement typique et avec TSA: synthèse des études en oculométrie. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 66(5), 304–314. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2018.06.002>
- Colombo, J., & Mitchell, D. W. (2009). Infant visual habituation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(2), 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.06.002>
- Cowell, J. M., & Decety, J. (2015). Precursors to morality in development as a complex interplay between neural, socioenvironmental, and behavioral facets. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(41), 12657–12662. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508832112>
- Dawson, G., Meltzoff, A. N., Osterling, J., Rinaldi, J., & Brown, E. (1998). Children with autism fail to orient to naturally occurring social stimuli. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 28(6), 479–485. <https://doi.org/10.1023/A:1026043926488>
- 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. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2703_6
- Decety, J., & Jackson, P. L. (2004). The functional architecture of human empathy. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 3(2), 71–100. <https://doi.org/10.1177/1534582304267187>
- Décret n° 2017-982 du 9 mai 2017 relatif à la nomenclature des établissements et services sociaux et médico-sociaux accompagnant des personnes handicapées ou malades chroniques (JORF, 11 mai 2017). <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2017/5/9/2017-982/jo/texte>
- Denham, S. A. (2006). Social-emotional competence as support for school readiness: What is it and how do we assess it?. *Early education and development*, 17(1), 57–89. https://doi.org/10.1207/s15566935eed1701_4

- Dollion, N., Soussignan, R., Durand, K., Schaal, B., & Baudouin, J.-Y. (2015). Visual exploration and discrimination of emotional facial expressions in 3-, 7- and 12-month-old infants. *Journal of Vision*, 15(12), e795. <https://doi.org/10.1167/15.12.795>
- Duarte, A., Martins, S., Augusto, C., Silva, M. J., Lopes, L., Santos, R., & Rosário, R. (2024). The impact of a health promotion program on toddlers' socio-emotional development: A cluster randomized study. *BMC Public Health*, 24, 415. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17953-9>
- Elias, M. J, Zins, J. E., Weissberg, R. P., Frey, K. S., Greenberg, M. T., Haynes, N. M., Kessler, R., Schwab-Stone, M. E., & Shriver, T. P. (1997). *Promoting social and emotional learning: Guidelines for educators*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Engerström, I. W. (1990). Rett syndrome in Sweden. Neurodevelopment-disability-pathophysiology. *Acta Paediatrica Scandinavica Supplement*, 369, 1–60. <https://doi.org/0.hdl.handle.net/2077/15001>
- Falck-Ytter, T., Bölte, S., & Gredebäck, G. (2013). Eye tracking in early autism research. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5(28). <https://doi.org/10.1186/1866-1955-5-28>
- Fantz, R. L. (1963). Pattern vision in newborn infants. *Science*, 140(3564), 296–297. <https://doi.org/10.1126/science.140.3564.296>
- Farroni, T., Chiarelli, A. M., Lloyd-Fox, S., Massaccesi, S., Merla, A., Di Gangi, V., Mattarello, T., Faraguna, D., & Johnson, M. H. (2013). Infant cortex responds to other humans from shortly after birth. *Scientific Reports*, 3(1), 2851. <https://doi.org/10.1038/srep02851>
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), e9602. <https://doi.org/10.1073/pnas.152159999>
- Farroni, T., Menon, E., & Johnson, M. H. (2006). Factors influencing newborns' preference for faces with eye contact. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(4), 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2006.08.001>
- Forssman, L., Ashorn, P., Ashorn, U., Maleta, K., Matchado, A., Kortekangas, E., & Leppänen, J. M. (2017). Eye-tracking-based assessment of cognitive function in low-resource settings. *Archives of Disease in Childhood*, 102(4), 311–315. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-310525>
- Franchini, M., Glaser, B., Gentaz, E., Wood de Wilde, H., Eliez, S., & Schaer, M. (2017). The effect of emotional intensity on responses to joint attention in preschoolers with an

- autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 35, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2016.11.010>
- Franchini, M., Wood de Wilde, H., Glaser, B., Gentaz, E., Eliez, S., & Schaer, M. (2016). Brief report: A preference for biological motion predicts a reduction in symptom severity 1 year later in preschoolers with autism spectrum disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 143. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00143>
- Frank, M. C., Amso, D., & Johnson, S. P. (2014). Visual search and attention to faces during early infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 118, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.012>
- Freire, A., Lewis, T. L., Maurer, D., & Blake, R. (2006). The development of sensitivity to biological motion in noise. *Perception*, 35(5), 647–657. <https://doi.org/10.1068/p5403>
- Genoud, P. A. (2011). *Indice de Position Socioéconomique (IPSE): Un calcul simplifié [Socio-economic position index (SEPI): A simplified calculation]*. University of Fribourg.
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Appleton Century Crofts.
- Glöckner, A., & Herbold, A.-K. (2011). An eye-tracking study on information processing in risky decisions: Evidence for compensatory strategies based on automatic processes. *Journal of Behavioral Decision Making*, 24(1), 71–98. <https://doi.org/10.1002/bdm.684>
- Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., & Verschuere, B. (2008). The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition & Emotion*, 22(6), 1094–1118. <https://doi.org/10.1080/02699930701626582>
- Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. K. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, 56(4), 544–549.
- Green, C. W., Reid, D. H., Canipe, V. S., & Gardner, S. M. (1991). A comprehensive evaluation of reinforcer identification processes for persons with profound multiple handicaps. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 24(3), 537–552. <https://doi.org/10.1901/jaba.1991.24-537>
- Green, C. W., Reid, D. H., White, L. K., Halford, R. C., Brittain, D. P., & Gardner, S. M. (1988). Identifying reinforcers for persons with profound handicaps: Staff opinion versus systematic assessment of preferences. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 21(1), 31–43. <https://doi.org/10.1901/jaba.1988.21-31>
- Gross, J. J. (2013). Emotion regulation: Taking stock and moving forward. *Emotion*, 13(3), 359–365. <https://doi.org/10.1037/a0032135>

- Grossmann, T., Striano, T., & Friederici, A. D. (2007). Developmental changes in infants' processing of happy and angry facial expressions: A neurobehavioral study. *Brain and Cognition*, 64(1), 30–41. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.10.002>
- Grove, N., Bunning, K., Porter, J., & Olsson, C. (1999). See what I mean: Interpreting the meaning of communication by people with severe and profound intellectual disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 12(3), 190–203. <https://doi.org/10.1111/j.1468-3148.1999.tb00076.x>
- Hadad, B.-S., Schwartz, S., Maurer, D., & Lewis, T. (2015). Motion perception: A review of developmental changes and the role of early visual experience. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9, 49. <https://doi.org/10.3389/fnint.2015.00049>
- Hamlin, J. K. (2013). Moral judgment and action in preverbal infants and toddlers: Evidence for an innate moral core. *Current Directions in Psychological Science*, 22(3), 186–193. <https://doi.org/10.1177/0963721412470687>
- Hamlin, J. K. (2014). Context-dependent social evaluation in 4.5-month-old human infants: The role of domain-general versus domain-specific processes in the development of social evaluation. *Frontiers in Psychology*, 5, 614. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00614>
- Hamlin, J. K., & Wynn, K. (2011). Young infants prefer prosocial to antisocial others. *Cognitive Development*, 26(1), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2010.09.001>
- Hamlin, J. K., Wynn, K., & Bloom, P. (2007). Social evaluation by preverbal infants. *Nature*, 450(7169), 557–559. <https://doi.org/10.1038/nature06288>
- Hamlin, J. K., Wynn, K., & Bloom, P. (2010). Three-month-olds show a negativity bias in their social evaluations. *Developmental Science*, 13(6), 923–929. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00951.x>
- Haute Autorité de la Santé [HAS] (2020). *L'accompagnement de la personne polyhandicapée dans sa spécificité*. Retrieved from Saint-Denis La Plaine : https://www.has-sante.fr/jcms/p_3215404/fr/l-accompagnement-de-la-personne-polyhandicapee-dans-sa-specificite
- Hemerén, P., & Rybarczyk, Y. (2020). The Visual Perception of Biological Motion in Adults. In N. Noceti, A. Sciutti, & F. Rea (Eds.), *Modelling Human Motion: From Human Perception to Robot Design* (pp. 53–71). Springer International Publishing.
- Hirai, M., & Senju, A. (2020). The two-process theory of biological motion processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 111, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.01.010>

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press.
- Holvoet, C., Scola, C., Arciszewski, T., & Picard, D. (2016). Infants' preference for prosocial behaviors: A literature review. *Infant Behavior and Development*, 45, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2016.10.008>
- Hostyn, I., & Maes, B. (2009). Interaction between persons with profound intellectual and multiple disabilities and their partners: A literature review. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 34(4), 296–312. <https://doi.org/10.3109/13668250903285648>
- Hostyn, I., Neerinckx, H., & Maes, B. (2011). Attentional processes in interactions between people with profound intellectual and multiple disabilities and direct support staff. *Research in Developmental Disabilities*, 32(2), 491–503. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.12.034>
- Hunnius, S., de Wit, T. C. J., Vries, S., & von Hofsten, C. (2011). Facing threat: Infants' and adults' visual scanning of faces with neutral, happy, sad, angry, and fearful emotional expressions. *Cognition and Emotion*, 25(2), 193–205. <https://doi.org/10.1080/15298861003771189>
- Ivancic, M. T., & Bailey, J. S. (1996). Current limits to reinforcer identification for some persons with profound multiple disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 17(1), 77–92. [https://doi.org/10.1016/0891-4222\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0891-4222(95)00038-0)
- Janicki, M. P., & Dalton, A. J. (1998). Sensory impairments among older adults with intellectual disability. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 23(1), 3–11. <https://doi.org/10.1080/13668259800033541>
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211. <https://doi.org/10.3758/BF03212378>
- Johansson, G. (1976). Spatio-temporal differentiation and integration in visual motion perception. *Psychological Research*, 38(4), 379–393. <https://doi.org/10.1007/BF00309043>
- Jouve, A. (2022). Réflexion sur ce que sont les recommandations HAS, ce qu'elles ne sont pas, ce qu'elles deviendront ? *Motricité Cérébrale*, 43(2), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.motcer.2022.05.001>

- Kaehne, A., & Beyer, S. (2014). Person-centred reviews as a mechanism for planning the post-school transition of young people with intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 58(7), 603–613. <https://doi.org/10.1111/jir.12058>
- Karlsson, P., Allsop, A., Dee-Price, B. J., & Wallen, M. (2018). Eye-gaze control technology for children, adolescents, and adults with cerebral palsy with significant physical disability: Findings from a systematic review. *Developmental Neurorehabilitation*, 21(8), 497–505. <https://doi.org/10.1080/17518423.2017.1362057>
- Kellman, P. (2002). Perceptual Learning. In H. Pashler & R. Gallistel (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* (Vol. 3, pp. 259–299). John Wiley & Sons, Inc.
- Kohlberg, L. (1963). Moral development and identification. In H. W. Stevenson (Ed.) *Child Psychology: The Sixty-Second Yearbook of the National Society for the Study of Education, Part 1* (pp. 277–332). University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1037/13101-008>
- Kuhlmeier, V. A., Dunfield, K. A., & O'Neill, A. C. (2014). Selectivity in early prosocial behavior. *Frontiers in Psychology*, 5, 836. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00836>
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H., Hawk, S. T., & van Knippenberg, A. D. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition & Emotion*, 24(8), 1377–1388. <https://doi.org/10.1080/02699930903485076>
- Lawton, A. (2009). *Personalisation and Learning Disabilities: A review of evidence on advocacy and its practice for people with learning disabilities and high support needs*. Social Care Institute for Excellence (SCIE).
- Lima, M., Silva, K., Amaral, I., Magalhaes, A., & de Sousa, L. (2013). Beyond behavioural observations: A deeper view through the sensory reactions of children with profound intellectual and multiple disabilities. *Child Care, Health and Development*, 39(3), 422–431. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2011.01334.x>
- Lima, M., Silva, K., Magalhães, A., Amaral, I., Pestana, H., & de Sousa, L. (2012). Can you know me better? An exploratory study combining behavioural and physiological measurements for an objective assessment of sensory responsiveness in a child with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 25(6), 522–530. <https://doi.org/10.1111/j.1468-3148.2012.00698.x>
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). *The Karolinska Directed Emotional Faces—KDEF* [CD ROM]. Stockholm, Sweden: Department of Neurosciences, Karolinska Hospital.

- Maes, B., Nijs, S., Vandesande, S., Van keer, I., Arthur-Kelly, M., Dind, J., Goldbart, J., Petitpierre, G., & Van der Putten, A. (2021). Looking back, looking forward: Methodological challenges and future directions in research on persons with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 34(1), 250–262. <https://doi.org/10.1111/jar.12803>
- Magerotte, G., & Willaye, É. (2007) . L'accompagnement éducatif personnalisé des personnes présentant de l'autisme. In P. Jonckheere, R. Salbreux & G. Magerotte (Eds.), *Handicap mental : prévention et accueil* (pp. 151–183). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.jonck.2007.01.0151>.
- Margoni, F., & Surian, L. (2018). Infants' evaluation of prosocial and antisocial agents: A meta-analysis. *Developmental Psychology*, 54(8), 1445–1455. <https://doi.org/10.1037/dev0000538>
- Marini, A., & Genereux, R. (1995). The Challenge of Teaching for Transfer. In A. McKeough, J. Lupart, & A. Marini (Eds.), *Teaching for Transfer: Fostering Generalization in Learning* (pp. 1–19). Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Mayer, J. D., & Salovey, P. (1997). What is emotional intelligence?. In P. Salovey & D. Sluyter (Eds.), *Emotional development and emotional intelligence: Implications for educators* (pp. 3–31). Basic Books.
- Munde, V. S., Vlaskamp, C., Maes, B., & Ruijsenaars, A. J. J. M. (2014). Catch the wave! Time-window sequential analysis of alertness stimulation in individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *Child: Care, Health and Development*, 40(1), 95–105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2012.01415.x>
- Munde, V. S., Vlaskamp, C., Ruijsenaars, A. J., & Nakken, H. (2009). Alertness in individuals with profound intellectual and multiple disabilities: A literature review. *Research in Developmental Disabilities*, 30(3), 462–480. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2008.07.003>
- Mundy, P., Block, J., Delgado, C., Pomares, Y., Van Hecke, A. V., & Parlade, M. V. (2007). Individual differences and the development of joint attention in infancy. *Child Development*, 78(3), 938–954. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01042.x>
- Mundy, P., & Jarrold, W. (2010). Infant joint attention, neural networks and social cognition. *Neural Networks*, 23(8), 985–997. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2010.08.009>
- Mundy, P., & Newell, L. (2007). Attention, joint attention, and social cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 269–274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00518.x>

- Murphy, K. M., Saunders, M. D., Saunders, R. R., & Olswang, L. B. (2004). Effects of ambient stimuli on measures of behavioral state and microswitch use in adults with profound multiple impairments. *Research in Developmental Disabilities*, 25(4), 355–370. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2003.10.003>
- Nakken, H., & Vlaskamp, C. (2002). Joining forces: Supporting individuals with profound multiple learning disabilities. *Tizard Learning Disability Review*, 7(3), 10–15. <https://doi.org/10.1108/13595474200200023>
- Nakken, H., & Vlaskamp, C. (2007). A need for a taxonomy for profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 4(2), 83–87. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2007.00104.x>
- National Scientific Council on the Developing Child. (2007). *The timing and quality of early experiences combine to shape brain architecture*. Center on the Developing Child, Harvard University.
- Negi, S., & Mitra, R. (2020). Fixation duration and the learning process: An eye tracking study with subtitled videos. *Journal of Eye Movement Research*, 13(6), 1–13. <https://doi.org/10.16910/jemr.13.6.1>
- Nelson, C. A. (1987). The recognition of facial expressions in the first two years of life: Mechanisms of development. *Child Development*, 58(4), 889–909. <https://doi.org/10.2307/1130530>
- Nieuwenhuijse, A. M., Willems, D. L., van Goudoever, J. B., Echteld, M. A., & Olsman, E. (2019). Quality of life of persons with profound intellectual and multiple disabilities: A narrative literature review of concepts, assessment methods and assessors. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 44(3), 261–271. <https://doi.org/10.3109/13668250.2017.1388913>
- Palama, A., Malsert, J., & Gentaz, E. (2018). Are 6-month-old human infants able to transfer emotional information (happy or angry) from voices to faces? An eye-tracking study. *PLoS ONE*, 13(4), e0194579. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194579>
- Palama, A., Malsert, J., Grandjean, D., Sander, D., & Gentaz, E. (2020). The cross-modal transfer of emotional information from voices to faces in 5-, 8- and 10-year-old children and adults: An eye-tracking study. *Emotion*, 22(4), 725–739. <https://doi.org/10.1037/emo0000758>
- Palmer, F. B., Graff, J. C., Jones, T. L., Murphy, L. E., Keisling, B. L., Whitaker, T. M., Wang, L., & Tylavsky, F. A. (2018). Socio-demographic, maternal, and child indicators of socioemotional problems in 2-year-old children: A cohort study. *Medicine*, 97, e11468. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011468>

- Pascalis, O., de Schonen, S., Morton, J., Deruelle, C., & Fabre-Grenet, M. (1995). Mother's face recognition by neonates: A replication and an extension. *Infant Behavior and Development*, 18(1), 79–85. [https://doi.org/10.1016/0163-6383\(95\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0163-6383(95)90009-8)
- Pascalis, O., Fort, M., & Quinn, P. C. (2020). Development of face processing: Are there critical or sensitive periods? *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 36, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.05.005>
- Pavlova, M. (2011). Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cerebral Cortex*, 22(5), 981–995. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr156>
- Pavlova, M., Krägeloh-Mann, I., Sokolov, A., & Birbaumer, N. (2001). Recognition of point-light biological motion displays by young children. *Perception*, 30(8), 925–933. <https://doi.org/10.1068/p3157>
- Pereira Da Costa, M., & Scelles, R. (2012). Un outil d'évaluation des compétences cognitives des jeunes polyhandicapés: Le P2CJP [A questionnaire for the evaluation of cognitive skills for children with multiple functional impairments: The P2CJP]. *Alter*, 6(2), 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.alter.2012.02.010>
- Perfect, E., Hoskin, E., Noyek, S., & Davies, T. C. (2020). A systematic review investigating outcome measures and uptake barriers when children and youth with complex disabilities use eye gaze assistive technology. *Developmental Neurorehabilitation*, 23, 145–159. <https://doi.org/10.1080/17518423.2019.1600066>
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2, 96–100. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.92040-3>
- Pierce, K., Conant, D., Hazin, R., Stoner, R., & Desmond, J. (2011). Preference for geometric patterns early in life as a risk factor for autism. *Archives of General Psychiatry*, 68(1), 101–109. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.113>
- Ponsot, G. (2017). La personne polyhandicapée. *Laennec*, 65(2), 19–33. <https://doi.org/10.3917/lae.172.0019>
- Poujol, A. L., Boissel, A., Guédon, D., Guénolé, N., Mellier, D., & Scelles, R. (2021). Évaluation-cognition-polyhandicap (ECP): Apports d'une approche qualitative dans l'élaboration et la validation d'un outil [The cognitive skills assessment scale for profound intellectual and multiple disabilities persons: The qualitative process contributions for the validation]. *Psychologie Française*, 66(3), 207–222. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2020.09.003>

- Protocole National de Diagnostic et de Soins [PNDS] (2020). *Générique Polyhandicap*. Retrieved from Hôpital La Roche-Guyon, Service de Polyhandicap Pédiatrique : https://transitionmaladiesrares.com/wp-content/uploads/2021/03/PNDS_Generique_Polyhandicap-1_compressed.pdf
- Raftopoulos, A. (2009). *Cognition and perception: How do psychology and neural science inform philosophy?*. MIT Press.
- Ratti, V., Hassiotis, A., Crabtree, J., Deb, S., Gallagher, P., & Unwin, G. (2016). The effectiveness of person-centred planning for people with intellectual disabilities: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 57, 63–84. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.06.015>
- Richard, S., Clerc-Georgy, A., & Gentaz, E. (2023). Pretend play-based training improves some socio-emotional competences in 5–6-year-old children: A large-scale study assessing implementation. *Acta Psychologica*, 238, 103961. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2023.103961>
- Richards, J. (2003). The development of visual attention and the brain. In M. de Haan (Ed.), *The cognitive neuroscience of development* (pp. 73–98). Psychology Press.
- Risko, E. F., Laidlaw, K., Freeth, M., Foulsham, T., & Kingstone, A. (2012). Social attention with real versus reel stimuli: Toward an empirical approach to concerns about ecological validity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 143. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00143>
- Ruzzo, E. K., Capo-Chichi, J.-M., Ben-Zeev, B., Chitayat, D., Mao, H., Pappas, A. L., Hitomi, Y., Lu, Y.-F., Yao, X., Hamdan, F. F., Pelak, K., Reznik-Wolf, H., Bar-Joseph, I., Oz-Levi, D., Lev, D., Lerman-Sagie, T., Leshinsky-Silver, E., Anikster, Y., Ben-Asher, E., ... Goldstein, D. B. (2013). Deficiency of Asparagine Synthetase Causes Congenital Microcephaly and a Progressive Form of Encephalopathy. *Neuron*, 80(2), 429–441. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.08.013>
- Saarni, C. (1999). *The development of emotional competence*. Guilford press.
- Salva, R. O., Farroni, T., Regolin, L., Vallortigara, G., & Johnson, M. H. (2011). The evolution of social orienting: Evidence from chicks (*Gallus gallus*) and human newborns. *PLoS ONE*, 6(4), e18802. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018802>
- Salva, R. O., Mayer, U., & Vallortigara, G. (2015). Roots of a social brain: Developmental models of emerging animacy-detection mechanisms. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 50, 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.12.015>

- Saunders, M. D., & Saunders, R. R. (2011). Innovation of a reinforcer preference assessment with the difficult to test. *Research in Developmental Disabilities*, 32(5), 1572–1579. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.049>
- Saunders, M. D., Saunders, R. R., Mulugeta, A., Henderson, K., Kedzierski, T., Hekker, B., & Wilson, S. (2005). A novel method for testing learning and preferences in people with minimal motor movement. *Research in Developmental Disabilities*, 26(3), 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2004.03.002>
- Scelles, R. (2013). Conditions pour mener une évaluation éthique et utile. In R. Scelles & G. Petitpierre (Eds), *Polyhandicap : processus d'évaluation cognitive* (pp. 75–100). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.scel.2013.01.0075>.
- Scelles, R. (2021). L'évaluation cognitive chez les personnes polyhandicapées. In P. Camberlein & G. Ponsot (Eds.), *La personne polyhandicapée : La connaître, l'accompagner, la soigner* (2^e éd., pp. 321–340). Dunod.
- Scelles, R., Boissel, A., Guedon, D., Guenolé, N., Mellier, D., & Poujol, A. L. (2018). *Evaluation-cognition-polyhandicap (ECP) : rapport de recherche novembre 2014 - novembre 2017*. Retrieved from CESAP : <https://www.reseau-lucioles.org/wp-content/uploads/2019/06/Rapport-final-ECP.pdf>
- Scelles, R., & Petitpierre, G. (2013). *Polyhandicap : processus d'évaluation cognitive*. Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.scel.2013.01>
- Schalock, R. L., Luckasson, R., & Tassé, M. J. (2021). An overview of intellectual disability: Definition, diagnosis, classification, and systems of supports (12th ed.). *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 126(6), 439–442. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-126.6.439>
- Schleinitz, D., Seidel, A., Stassart, R., Klammt, J., Hirrlinger, P. G., Winkler, U., Köhler, S., Heiker, J., T., Schönauer, R., Bialek, J., Krohn, K., Hoffmann, K., Kovacs, P., & Hirrlinger, J. (2018). Novel mutations in the asparagine synthetase gene (ASNS) associated with microcephaly. *Frontiers in Genetics*, 9, 245. <https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00245>
- Schwab, D., Riou, S., Fejza, A., Vial, L., Marku, J., El Hussein, W., Sannara, E. K., Bardon, M. & Robert, Y. (2020). Le projet GazePlay : des jeux ouverts, gratuits et une communauté pour les personnes en situation de polyhandicap. *Bulletin de la Societe Informatique de France (SIF)*, 1024.
- Scola, C., Holvoet, C., Arciszewski, T., & Picard, D. (2015). Further evidence for infants' preference for prosocial over antisocial behaviors. *Infancy*, 20(6), 684–692. <https://doi.org/10.1111/infa.12095>

- Sifre, R., Olson, L., Gillespie, S., Klin, A., Jones, W., & Shultz, S. (2018). A longitudinal investigation of preferential attention to biological motion in 2- to 24-month-old infants. *Scientific Reports*, 8, 2527. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20808-0>
- Sigafoos, J., Ganz, J., O'Reilly, M., & Lancioni, G. (2008). Evidence-based practice in the classroom: Evaluating a procedure for reducing perseverative requesting in an adolescent with autism and severe intellectual disability. *Australasian Journal of Special Education*, 32(1), 55–65. <https://doi.org/10.1017/S1030011200025756>
- Sheliga, B. M., Riggio, L., & Rizzolatti, G. (1994). Orienting of attention and eye movements. *Experimental Brain Research*, 98(3), 507–522. <https://doi.org/10.1007/BF00233988>
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(2), 809–813. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707021105>
- Spevack, S., Yu, C. T., Lee, M. S., & Martin, G. L. (2006). Sensitivity of passive approach during preference and reinforcer assessments for children with severe and profound intellectual disabilities and minimal movement. *Behaviour Intervention*, 21(3), 165–175. <https://doi.org/10.1002/bin.216>
- Spitzer, L., & Mueller, S. (2022). Using a test battery to compare three remote, video-based eye-trackers. In A. C. Machinery (Ed.), *2022 Symposium on Eye Tracking Research and Applications* (pp. 1–7). Seattle, WA, USA. <https://doi.org/10.1145/3517031.3529644>
- Sweeny, T. D., Wurnitsch, N., Gopnik, A., & Whitney, D. (2013). Sensitive perception of a person's direction of walking by 4-year-old children. *Developmental Psychology*, 49(11), 2120–2124. <https://doi.org/10.1037/a0031714>
- Tanaka, J. W., & Gordon, I. (2011). Features, configuration, and holistic face processing. In G. Rhodes & J. Haxby (Eds.), *The Oxford Handbook of Face Perception* (pp. 177–194). Oxford University Press.
- Tardif, C., Martineau, J., & Gentaz, E. (2016). Apports de l'oculométrie (Eye-Tracking) en psychologie du développement. *A.N.A.E.*, 28(142), 281–370.
- Tasker, S. L., & Schmidt, L. A. (2008). The “dual usage problem” in the explanations of “joint attention” and children's socioemotional development: A reconceptualization. *Developmental Review*, 28(3), 263–288. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.07.001>
- Toubert-Duffort, D., Atlan, E., Benoit, H., Lewi-Dumont, N., Puustinen, M., & Zebdi, R. (2018). *Conditions d'accès aux apprentissages des jeunes polyhandicapés en établissements médico-sociaux – de l'évaluation des potentiels cognitifs à la mise en œuvre de leur*

- scolarisation. [Rapport de recherche]. Retrieved from Suresnes, France: <https://hal-inshea.archives-ouvertes.fr/hal-02015513>
- Turati, C., Macchi Cassia, V., Simion, F., & Leo, I. (2006). Newborns' face recognition: Role of inner and outer facial features. *Child Development*, 77(2), 297–311. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00871.x>
- UNAPEI. (2016). *Polyhandicap et citoyenneté : un défi pour tous*. Livre Blanc de l'UNAPEI. Retrieved from UNAPEI: https://www.unapei.org/wp-content/uploads/2018/10/unapei_livre_blanc_polyhandicap_et_citoyennete.pdf
- van Timmeren, E. A., van der Putten, A. A., van Schrojenstein Lantman-de Valk, H. M., van der Schans, C. P., & Waninge, A. (2016). Prevalence of reported physical health problems in people with severe or profound intellectual and motor disabilities: A cross-sectional study of medical records and care plans. *Journal of Intellectual Disability Research*, 60(11), 1109–1118. <https://doi.org/10.1111/jir.12298>
- Visser, L., Ruiter, S. A. J., van der Meulen, B. F., Ruijsenaars, W. A. J., & Timmerman, M. E. (2014). Accommodating the Bayley-III for motor and/or visual impairment: A comparative pilot study. *Pediatric Physical Therapy*, 26(1), 57–67. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000004>
- Vlaskamp, C. (2005). Interdisciplinary assessment of people with profound intellectual and multiple disabilities. In J. L. Hogg (Ed.), *Assessing adults with intellectual disabilities: A service providers' guide* (pp. 39–51). Wiley-Blackwell.
- Vlaskamp, C. (2005). Assessing people with profound intellectual and multiple disabilities. In J. L. Hogg (Ed.), *Assessing adults with intellectual disabilities: A service providers' guide* (pp. 152–163). Wiley-Blackwell.
- Vlaskamp, C., & Cuppen-Fontaine, H. (2007). Reliability of assessing the sensory perception of children with profound intellectual and multiple disabilities: A case study. *Child Care Health and Development*, 33(5), 547–551. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2007.00776.x>
- Vlaskamp, C., Hiemstra, S. J., & Wiersma, L. A. (2007). Becoming aware of what you know or need to know: Gathering client and context characteristics in day services for persons with profound intellectual and multiple disabilities. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 4(2), 97–103. <https://doi.org/10.1111/ppi.2007.4.issue-2>
- Vos, P., De Cock, P., Petry, K., Van Den Noortgate, W., & Maes, B. (2010). What makes them feel like they do? Investigating the subjective well-being in people with severe and profound disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1623–1632. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2010.04.021>

- Voyazopoulos R., Vannetzel L., & Eynard L.-A. (2011). *L'Examen psychologique de l'enfant et l'utilisation des mesures*. Dunod.
- Ware, J. (1994). *Educating children with profound and multiple learning difficulties* (1st ed.). Routledge.
- Wass, S. V., Forssman, L., & Leppänen, J. (2014). Robustness and precision: How data quality may influence key dependent variables in infant eye-tracker analyses. *Infancy*, 19(5), 427–460. <https://doi.org/10.1111/infa.12055>
- Wessels, M. D., & van der Putten, A. J. (2017). Assessment in people with PIMD: Pilot study into the usability and content validity of the Inventory of the Personal Profile and Support. *Cogent Psychology*, 4(1), 1340082. <https://doi.org/10.1080/23311908.2017.1340082>
- Wessels, M. D., van der Putten, A. J., & Paap, M. C. S. (2021). Inventory of assessment practices in people with profound intellectual and multiple disabilities in three European countries. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 34(6), 1521–1537. <https://doi.org/10.1111/jar.12896>
- Wilkinson, K. M., & Mitchell, T. (2014). Eye tracking research to answer questions about augmentative and alternative communication assessment and intervention. *Augmentative and Alternative Communication*, 30(2), 106–119. <https://doi.org/10.3109/07434618.2014.904435>
- Willaye, É., & Magerotte, G. (2013). *Evaluation et intervention auprès des comportements-défis: déficience intellectuelle et/ou autisme* (2^e éd.). De Boeck Supérieur.
- Woodgate, R. L., Edwards, M., Ripat, J. D., Borton, B., & Rempel, G. (2015). Intense parenting: a qualitative study detailing the experiences of parenting children with complex care needs. *BMC Pediatrics*, 15(197), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0514-5>
- Woodhouse, J. M., Griffiths, C., & Gedling, A. (2000). The prevalence of ocular defects and the provision of eye care in adults with learning disabilities living in the community. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 20(2), 79–89. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2000.00491.x>
- Woodworth, R. S., & Schlosberg, H. (1954). *Experimental psychology*. Oxford and IBH Publishing.
- Zhao, J., Wang, L., Wang, Y., Weng, X., Li, S., & Jiang, Y. (2014). Developmental tuning of reflexive attentional effect to biological motion cues. *Scientific Reports*, 4, 5558. <https://doi.org/10.1038/srep05558>



Thalia Ellen CAVADINI

Janvier 2025

Université de Genève
Faculté de psychologie (FPSE)
Uni Mail, 40 bd du Pont-d'Arve
CH - 1211 Genève 4
+41 22 379 90 50

Thalia.Cavadini@unige.ch

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2098-089X>

Formation et diplômes

- Depuis 2020 **Doctorat en psychologie**, Université de Genève, Suisse.
Thèse : *Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles d'enfants et adolescents en situation de polyhandicap*, dirigée par Prof. Edouard Gentaz (Université de Genève) et Prof. Yannick Courbois (Université de Lille).
- 2019 **Master (MSc.) en psychologie** (plan d'études : Approches psycho-éducatives et situations de handicap – APESH), Université de Genève, Suisse.
Mémoire : *Exploration du processus d'évaluation cognitive des événements de vie, des compétences émotionnelles et de la santé mentale d'hommes tout-venant : une contribution à l'établissement de normes longitudinales destinées au suivi de sujets blessés médullaires*, dirigé par Prof. Edouard Gentaz et Prof. Sandra Berney (Université de Genève).
- 2017 **Bachelor (BSc.) en psychologie**, Université de Genève, Suisse.
- 2013 **Cambridge English: Advanced (CAE-C1)**, EF International Language Campus, San Diego, USA.
TOEFL (Test of English as a Foreign Language), Educational Testing Service, San Diego, USA.

Activités professionnelles

- Depuis 2020 **Assistante-doctorante (CanDoc FNS)**, Laboratoire de psychologie du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS), Université de Genève ; supérieur : Prof. Edouard Gentaz.
- 2019-2020 **Assistante de recherche et d'enseignement**, Laboratoire de psychologie du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS), Université de Genève ; supérieur : Prof. Edouard Gentaz.
- 2018 **Stage intra-cursus** (400 heures), Fondation Cap Loisirs, Genève
Projet : *Approche psycho-éducative de la déficience intellectuelle : la question des loisirs et de la participation sociale*, dirigé par Sylvie Trincherro (Fondation Cap Loisirs) et Prof. Nicolas Favez (Université de Genève).

Subside de recherche obtenu

2020-2024 **Fonds national suisse (FNS)**, subside Doc.CH (SHS) N°191657. Montant accordé : CHF 265'985.- [Page de profil dans la base de données P3 du FNS](#).

Distinction

2022 Prix de la Relève de l'Académie Suisse des Sciences Humaines et Sociales (ASSH/SAGW) bronze 2022. [Capacités locomotrices et performances mathématiques à l'âge préscolaire](#).

Activités d'enseignement

Depuis 2023 *Apports de l'oculométrie (eye-tracking) pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles de jeunes en situation de polyhandicap*, séminaire niveau Licence ([Diplôme Universitaire \(DU\) « Polyhandicap, éducation et apprentissages \(POLYÉDUCAP\) »](#)), INSHEA), Suresnes, France

Apports de l'oculométrie (eye-tracking) pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles de jeunes en situation de polyhandicap », séminaires destinés au personnel de l'Éducation nationale ([Module de formation d'initiative nationale \(MFIN\) « Scolariser des élèves avec polyhandicap »](#)).

Depuis 2022 *Emotions, compétences sociales, motricité et mathématiques à l'âge préscolaire*, séminaire niveau Master (cours 75133D du Prof. Edouard Gentaz), Université de Genève, Suisse.

Depuis 2021 *Compétences visuelles précoces, cécité et suppléances sensorielles*, séminaire niveau Bachelor (Diplôme Universitaire (DU) « Développement cognitif et social du nourrisson »), Université de Paris, France.

Depuis 2019 *Mieux comprendre le développement socio-émotionnel de l'enfant en situation de polyhandicap – Parties 1 & 2*, séminaires niveau Master (cours 75133D du Prof. Edouard Gentaz), Université de Genève, France.

Membre du jury lors de soutenances de master

- NESPOLO, Bastien. *Quelles sont les préférences visuelles que manifestent les enfants de 12 à 36 mois dans une tâche d'attention conjointe, d'exploration de l'expression faciale et de discrimination des émotions ? Étude réalisée avec une technologie de suivi oculaire sur 50 enfants d'âge cible de 24 mois, comparés à un groupe contrôle de 75 adultes*. Université de Neuchâtel, Maîtrise en sciences cognitives, 2024.
- DEJARDIN, Jean-Baptiste. *Influence de l'état affectif maternel sur les fonctions attentionnelles maternelles, ainsi que les fonctions attentionnelles précoces du nourrisson*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie, 2023.
- MARKS, Tessa. *The impact of the perinatal period and the perinatal affective state on the emotional attentive skills of both mother and baby*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie, 2023.

- AXHIJA, Fjolla. *Unité de consultation Accordages (HUG) : effets des facteurs de risque et de leur cumul sur la relation parent-enfant et sur le développement du bébé*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie, 2021.
- CHESNEAU, Vanina. *Unité de consultation Accordages (HUG) : effets des facteurs de risque et de leur cumul sur le développement du bébé et la relation parent-bébé*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie, 2021.

Encadrement de travaux d'étudiants

- 2021-2022 APPIA, Maude. *Comment l'oculométrie peut-elle aider à révéler et soutenir des compétences socio-émotionnelles chez des enfants en situation de polyhandicap ?* Université de Genève, Maîtrise en psychologie.
- 2020-2022 AZRIA, Dan Simon et GALISSARD DE MARIGNAC, Laure. *Compétences socio-émotionnelles des enfants de 1 à 3 ans : élaboration d'un groupe contrôle dans le cadre d'une étude de cas menée auprès d'enfants en situation de polyhandicap*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie.
- BEUCHOT, Emma. *Évaluation des prédicteurs des performances mathématiques chez des enfants de 3 à 6 ans et de l'effet d'un entraînement aux compétences sociales et émotionnelles pour les élèves, le climat scolaire et les apprentissages*. Université de Genève, Maîtrise en psychologie.
- 2020-2021 DADOS-RIBEIRO, Marta ; EL HAMDAOUI, Elias ; HAEFLIGER, Elodie et ISMAILI, Guillaume. *Conception d'un jeu vidéo pédagogique : Attention Eye, un "serious game" visant à renforcer les compétences socio-émotionnelles d'enfants polyhandicapés*. Université de Genève, Master of Learning and Teaching Technologies (MALTT). Disponible ici : <https://tecfa.unige.ch/jeux/attention-eye/>.

Supervision de stages

- 2022-2023 NESPOLO, Bastien. Stage de recherche intra-cursus au sein du Laboratoire SMAS d'une durée de 6 mois (30 ECTS) pour l'obtention du master en sciences cognitives. Directeur académique : prof. CLÉMENT Fabrice (Université de Neuchâtel).
- SALZMANN, Nadège. Stage de recherche intra-cursus au sein du Laboratoire SMAS de 50 heures pour l'obtention du master en sciences cognitives. Directeur académique : Dr GAGNIÈRE Laurence (UniDistance).

Autres responsabilités institutionnelles

- Depuis 2019 Gestion du site web du Laboratoire du développement Sensori-moteur Affectif et Social (<https://www.unige.ch/fapse/sensori-moteur/>) et du BabyLab de l'Université de Genève (<https://www.unige.ch/fapse/babylab/>).

Liste des publications

Janvier 2025

Thalia Ellen CAVADINI

Doctorante en psychologie (Doc.CH – FNS)

Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation (FPSE)

Laboratoire du développement sensori-moteur, affectif et social (SMAS)

Uni Mail, 40 bd du Pont-d'Arve, 1211 Genève 4, Suisse

+41 (0)22 379 90 50

Email : Thalia.Cavadini@unige.ch

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2098-089X>

<https://www.unige.ch/fapse/sensori-moteur/membres/thalia-cavadini/>

Articles soumis à des revues à comité de lecture

Cavadini, T., Courbois, Y., & Gentaz, E. (soumis). Improving social-emotional abilities in children with profound intellectual and multiple disabilities through a person-centred eye-tracking-based training.

Richard, S. *, **Cavadini, T.** *, Dalla-Libera, S., Angonin, S., Alaria, L., Lafay., Berger, C., & Gentaz, E. (en révision). The development of specific components of emotion comprehension in 1285 preschool children.

Articles parus dans des revues à comité de lecture

Buffle, P., **Cavadini, T.**, Ortega, M. de L., Armijos, C., Soto, P., Gentaz, E., & Crane, L. (2024). Journeys towards accessing an autism diagnosis and associated support: A survey of families of autistic children in Ecuador. *Autism*, 1–18. <https://doi.org/10.1177/13623613241281029>

Cavadini, T., Riviere, E., & Gentaz, E. (2024). An eye-tracking study on six early social-emotional abilities in children aged 1 to 3 years. *Children*, 11(8), 1031. <https://doi.org/10.3390/children11081031>

Lafay, A., Berger, C., Alaria, L., Angonin, S., Dalla-Libera, N., Richard, S., **Cavadini, T.**, & Gentaz, E. (2023). Impact of innovative emotion training in preschool and kindergarten children aged from 3 to 6 years. *Children*, 10(11), 1825. <https://doi.org/10.3390/children10111825>

Liverani, M. C., Kalogirou, E., De Blaireville, A., **Cavadini, T.**, Tomasetto, C., & Gentaz, É. (2022). Étude des liens entre le « math self-concept », les émotions anticipées, la mémoire de travail et les habiletés numériques chez les élèves de 4-5 ans dans le canton de Genève. *A.N.A.E.*, 180, 607–617.

* Co-premiers auteurs

- Cavadini, T.**, Courbois, Y. & Gentaz, E. (2022). Eye-tracking-based experimental paradigm to assess social-emotional abilities in young individuals with profound intellectual and multiple disabilities. *PLoS ONE*, 17(4). e0266176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266176>
- Cavadini, T.**, Richard, S., Dalla-Libera, N., & Gentaz, E. (2021). Emotion knowledge, social behaviour and locomotor activity predict the mathematic performance in 706 preschool children. *Scientific Reports*, 11, 14399. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93706-7>
- Piquard-Kipffer, A., **Cavadini, T.**, Sprenger-Charolles, L., & Gentaz, E. (2021). Impact of lip-reading on speech perception in French-speaking children at risk for reading failure assessed from age 5 to 7. *L'Année psychologique/Topics in Cognitive Psychology*, 121(2), 3–18. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.212.0003>.
- Buffle, P., **Cavadini, T.**, Posada, A., & Gentaz, E. (2021). A study on visual preference for social stimuli in typical Ecuadorian preschoolers as a contribution to the identification of autism risk factors. *Scientific Reports*, 11, 8461. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87888-3>

Articles parus dans des revues professionnelles

- Cavadini, T.** & Gentaz, E. (2023). Les apports de l'oculométrie pour évaluer des compétences socio-émotionnelles de personnes en situation de polyhandicap. *Contraste*, 57(1), 27–50.
- Cavadini, T.**, Fort, M., Pascalis, O., & Gentaz, E. (2022). Quels sont les effets du port du masque sur la reconnaissance des visages et des émotions chez les enfants et les adultes ? *A.N.A.E.*, 34(176), 113–125.
- Gentaz, E., **Cavadini, T.**, Dalla-Libera, N. & Richard, S. (2021). Émotions et apprentissages chez des élèves de 3 à 6 ans. *Au fil des maths*, 542, 1–10.
- Gentaz, E. & **Cavadini, T.** (2020). Evaluation des effets d'un entraînement cognitif et émotionnel en milieu scolaire sur le sentiment de compétence et les émotions ressenties chez les élèves âgés de 6 à 13 ans. Dans D. Aujogues (Ed.), *Bien être à l'école pour mieux apprendre : Entraîner les compétences psychosociales en classe – Livret recherche action* (pp. 6–13). La Tronche, France : Institut Formation & Développement (IFD).

Communications orales

- Vy, M., Riviere, E., Billiet, G. & **Cavadini, T.** (2024, juin). *Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les compétences socio-émotionnelles de jeunes en situation de polyhandicap* [symposium]. 16ème colloque international du RIPSYPDEVE – Psychologie du développement et de l'éducation : Grandir dans une société en transitions, Université de Reims, Reims, France. <https://ripsydeve2024.sciencesconf.org/>
- Cavadini, T.** & Gentaz, E. (2023, décembre). *Présentation des résultats d'une recherche universitaire visant à évaluer et entraîner leurs compétences sociales et émotionnelles* [communication orale]. Colloque Croix-Rouge française. La commande oculaire comme

aide technique au soutien des compétences cognitives des personnes en situation de polyhandicap. IME La Clé des Champs, Saint-Cergues, France.

Cavadini, T. (2023, octobre). *Les apports de l'oculométrie pour évaluer et entraîner les compétences sociales et émotionnelles d'enfants et adolescents en situation de polyhandicap afin de mieux comprendre leurs besoins et favoriser leurs interactions sociales* [communication orale]. La CAA au-delà des outils : une démarche humaine. Colloque Isaac Francophone (online).

Kalogirou, E., **Cavadini, T.** & Gentaz, E. (2022, janvier). *Mathématiques et Émotions de la maternelle à l'Université* [communication orale]. Colloque international de l'Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation (INSPÉ) de Grenoble : Comprendre et favoriser l'apprentissage des mathématiques, comment ? Croisement des apports de différentes disciplines. INSPÉ, Grenoble, France.

Cavadini, T. & Gentaz, E. (2021, décembre). *Apports de l'oculométrie pour déceler et entraîner des compétences socio-émotionnelles insoupçonnées chez des enfants en situation de polyhandicap : présentation des premiers résultats d'une recherche universitaire* [communication orale]. Colloque Croix-Rouge française. Potentiels et compétences cognitives des personnes en situation de polyhandicap : un nouveau défi. IME La Clé des Champs, Saint-Cergues, France.

Gentaz, E. & **Cavadini, T.** (2021, novembre). *Port du masque et développement socio-émotionnel : quelles conséquences ? Apports des recherches en sciences cognitives*. Conférence pour le Neuroclub (HUG-UNIGE), Genève, Suisse.

Communications affichées

Cavadini, T. & Gentaz, E. (2023, juin). *Les apports de l'oculométrie pour évaluer les compétences socio-émotionnelles de jeunes en situation de polyhandicap* [poster]. 15ème Colloque international PIAGET-RIPSYDEVE 2023. Psychologie du développement et de l'éducation : Enjeux actuels et défis pour le XXIème siècle, Université de Genève, Genève, Suisse. <https://piagetripsydeve.sciencesconf.org/>

Buffle, P., **Cavadini, T.**, De Lourdes Ortega, M., Armijos, C., Soto, P., Gentaz, E., & Crane, L. (2023, May). *Autism Diagnostic Experiences of Parents in Ecuador* [poster]. INSAR 2023 Annual Meeting, Stockholm, Sweden. <https://www.autism-insar.org/page/2023AnnMtg>

Mémoire de recherche

Cavadini, T. (2019). *Exploration du processus d'évaluation cognitive des événements de vie, des compétences émotionnelles et de la santé mentale d'hommes tout-venant : une contribution à l'établissement de normes longitudinales destinées au suivi de sujets blessés médullaires*, Mémoire de maîtrise en psychologie, Université de Genève, Suisse. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19792.87049>

Diffusion scientifique

Entretiens pour la presse écrite

Entretien pour un article écrit par Lorène Mesot pour le journal *Heidi.news*, « Chez les jeunes enfants, agilité et compétences cognitives sont liées » publié le 22 juillet 2021. <https://www.heidi.news/education/chez-les-jeunes-enfants-agilite-et-competences-cognitives-sont-liees>

Entretien pour un article écrit par Sophie Gaitzsch pour le journal *Heidi.news*, « Le masque des enseignants complique l'apprentissage de la lecture » publié le 27 mai 2021. <https://www.heidi.news/education/le-masque-des-enseignants-complique-l-apprentissage-de-la-lecture>

Entretien pour un article écrit par Agnès Vernet pour le journal *Heidi.news*, « Les enfants savent lire les émotions malgré le masque » publié le 24 décembre 2020. <https://www.heidi.news/sciences/les-enfants-savent-lire-les-emotions-malgre-le-masque>

Participations à des émissions radio et télévisuelles

Participation à l'émission radio **La Matinale** pour un reportage d'Alexandra Richard intitulé « Mieux comprendre les personnes polyhandicapées avec l'oculométrie » diffusé le 27 avril 2022 sur RTS - La Première. Lien direct vers l'intervention : <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/medecine/13047914-mieux-comprendre-les-personnes-polyhandicapees-avec-l-oculometrie.html>

Participation à l'épisode 3 « [Bébés - Fierté, honte et sens moral](#) » de la série de reportages intitulée [Les superpouvoir des bébés](#) pour l'émission radio **Vacarme** diffusée du 02 au 08 mai 2022 sur RTS - La Première. Lien direct vers l'intervention : <https://www.rts.ch/audio-podcast/2022/audio/bebes-3-5-fierte-honte-et-sens-moral-25820657.html?startTime=953>

Participation à l'épisode intitulé « [Démasqués !](#) » de l'émission culturelle télévisuelle **RAMDAM**, diffusé le 07 avril 2022 sur RTS Un. Lien direct vers l'intervention : <https://www.rts.ch/play/tv/ramdam/video/demasques-13?urn=urn:rts:video:13001847&startTime=957>

