

COORDINATION ET HABILETÉS SOCIALES CHEZ L'ENFANT PORTEUR DU TROUBLE DU SPECTRE DE L'AUTISME (TSA)

—
RAPPORT DE RECHERCHE



**JEANNE KRUCK
& VIVIANE KOSTRUBIEC**



Sommaire

I. Avant-propos	3
II. Résumé du projet 1 à 2 pages en français et anglais	5
III. Introduction	5
IV. Synthèse de la revue de littérature	6
V. Méthodologie du projet	12
VI. Résultats et discussion	19
VIII. Recommandations au regard des résultats	29
IX. Supports d'application	29
X. Evaluation résultats - objectifs	32
XI. Conclusion	33
XII. Bibliographie	34
ANNEXE I	38

I. Avant-propos

1. Rôles respectifs des chercheurs et des acteurs de terrain et leurs modes de collaboration

Principes. Jusqu'à présent, les recherches appliquées avaient pour but de produire des retombées directes sur le plan clinique et pour les praticiens de terrain. D'une part, ils devaient apporter un cadre et des conseils sur la façon dont doivent être menées les thérapies et permettre aux professionnels d'évaluer leurs interventions et de faire évoluer leurs pratiques. D'autre part, ces travaux avaient pour but de révéler des limites et des freins pour la recherche tout en ouvrant des voies vers de futures thématiques. Actuellement les différents appels d'offre qui sont proposés réclament une plus grande implication des acteurs du terrain dans la recherche. Désormais, les personnes qui participent aux recherches ne doivent pas être seulement des bénéficiaires d'un service ou d'une thérapie mais également des acteurs à part entière de l'étude qui leur est proposée. Concrètement, les protocoles de recherche doivent être conçus, construits et menés avec les partenaires de terrain.

Démarche. Un travail important en termes de collaboration entre les chercheurs et les acteurs de terrain a été réalisé dans cette étude. Le protocole d'intervention expérimentale a été élaboré avec la précieuse aide d'une éducatrice spécialisée en autisme (A. Peltier-Manteau) et l'intervention a été menée, entre autres, par une maman d'un enfant TSA (J. Kürtz), une psychologue clinicienne (C. de Launay). Les chercheurs ont été en contact avec les acteurs de terrain pour leur expliquer le protocole et les exercices de suivi afin de pouvoir, s'ils le souhaitent, reprendre les exercices proposés. Les professionnels psychologues et psychomotriciens ont également été sollicités dans les étapes de mise en place de la procédure expérimentale afin qu'en tant qu'expert de l'accompagnement de l'enfant avec TSA ils puissent nous faire des retours sur ce qui pouvait être trop difficile pour l'enfant et pour déterminer le niveau de guidance ou d'aide nécessaire dans chacune des étapes du protocole. Les acteurs de terrain notamment les psychologues qui animent des groupes d'habiletés sociales ont mis en place en introduction des séances une activité de synchronisation/coopération. Les enfants étaient alors plus réceptifs et une meilleure cohésion du groupe était observée. La diffusion et la vulgarisation des résultats nous a finalement permis d'entretenir la participation des familles de personnes en situation de handicap.

Freins. Il convient néanmoins d'attirer l'attention sur des freins et risques d'une démarche collaborative de recherche. Bien que de nombreux acteurs du terrain qui s'expriment réclament d'être directement impliqués dans la recherche, il est important de noter qu'il s'agit uniquement d'un sous-groupe. Généraliser les attentes de ce sous-groupe à tous les acteurs ne va pas sans risque. Le premier problème est la difficulté à rendre les parents acteurs alors qu'ils recherchent, et qu'ils ont pleinement droit, au répit. Ayant déjà un emploi du temps extrêmement chargé, les parents, praticiens et enfants ne peuvent encore entreprendre la formation nécessaire et allouer le temps et l'énergie nécessaires à la recherche. Notez à ce propos que les parents peuvent être eux-mêmes sur le spectre de l'autisme et trouver les tâches dédiées à l'apprentissage social difficile en conséquence. Le second frein à la démarche collaborative est simplement lié à l'intérêt : Tout le monde n'est pas attiré par la production des connaissances et des outils. « Je suis intéressé par la clinique et non par la recherche », est une formule souvent employée, même par nos étudiant(e)s. Le troisième frein à la démarche collaborative est celui de la saturation des familles et des praticiens, constamment sollicités pour divers programmes de recherche dont ils ne voient pas suffisamment tôt les conséquences et les bénéfices.

Pour éviter certains de ces obstacles, nous avons pris soin de contacter un très large éventail d'acteurs de terrain. Concrètement, pour pouvoir recruter des enfants, nombreux partenaires ont été identifiés, ils ont tous été contactés et le projet leur a été présenté. Les partenaires ont proposé de diffuser l'information auprès des familles dont les enfants avaient un profil correspondant aux critères de sélection de notre étude. Les cabinets de C. Boscus (31140 Fonbeauzard), B. Jas (31450 Ayguevives), Cabinet Autis&nd (31130 Balma), C. Filhol (Toulouse), l'association CERESA (31100 Toulouse) et l'ARSSEA (31100 Toulouse) ont participé à la diffusion de l'information. Un suivi hebdomadaire a été également mis en place pendant un mois après l'expérience, pendant lequel les parents étaient priés d'appliquer la méthode testée à domicile.

2. L'intérêt pour des acteurs de terrain des résultats et livrables de ce programme de recherche

- Les résultats de notre étude ont permis de constater que la rééducation fondée sur le paradigme de coordination-coopération est efficace, aussi bien dans la situation expérimentale que dans la situation écologique « à la maison ». Les parents qui ont participé à cette étude en tant qu'acteur et spécialiste de leur enfant, ont vu les bénéfices au quotidien de ce type d'intervention dans l'apprentissage des tâches d'autonomie.
- La procédure de rééducation proposée est efficace mais à condition qu'elle soit menée par un co-acteur humain et non par un robot. Bien que les coordinations soient plus stables avec le robot, les enfants progressent plus au niveau de la compréhension des intentions sociales lorsqu'ils interagissent avec l'humain. Ceci implique que la procédure peut être applicable par tous les thérapeutes sans nécessité la présence du robot.
- Il existe un lien bidirectionnel entre les habilités sociales et les habilités motrices des enfants. Plus les habilités motrices sont préservées, plus les enfants progressent au test des intentions sociales. Plus la coordination motrice entre l'enfant et le co-acteur est précise, plus la coopération est ensuite efficace chez les enfants avec TSA. Il y a donc un intérêt à réhabiliter les coordinations interpersonnelles en vue d'augmenter les habiletés sociales c'est-à-dire d'agir sur la motricité de l'enfant à travers des exercices de coordination afin d'agir sur la coopération sociale.
- Concrètement, les acteurs de terrain pourraient donc s'appuyer sur la théorie motrice de l'apprentissage (brochure 1) et sur la méthode d'intervention proposée (brochure 2) pour intégrer cette procédure à leurs séances. Les parents n'ont pas le rôle d'éducateur de leur enfant mais il participe avec leur enfant à une activité ludique ce qui est moins vécu comme une charge.



II. Résumé du projet 1 à 2 pages en français et anglais

Notre étude propose d'évaluer l'efficacité d'une solution concrète aux spécificités sociales des enfants TSA : une intervention rééducative assistée par la robotique. Le projet est axé autour de l'hypothèse selon laquelle il existe une codépendance entre le développement des spécificités sociales et des spécificités de coordination motrice chez des TSA. Nous postulons (1) qu'en stimulant la coordination motrice entre l'enfant et son partenaire social nous faciliterons l'émission des comportements de coopération chez ce dernier; (2) que l'effet de cette intervention se généralisera sur la production et la compréhension des communications non verbales nécessaires au décodage des intentions sociales ; (3) que la rééducation sera plus efficace lorsqu'elle implique l'interaction avec le robot Nao plutôt qu'avec un partenaire humain. Notre étude a été développée en collaboration avec des enfants TSA et leurs familles qui bénéficient de l'accompagnement et l'évaluent. Le projet met en commun des compétences provenant de quatre disciplines – psychopathologie développementale, sciences du mouvement, psychologie expérimentale et ingénierie. Le projet a reçu un avis favorable du comité d'éthique CERNI et a été cofinancé par le Contrat de Plan État-Région (CPER - 2015).

III. Introduction

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) est un trouble neurodéveloppemental diagnostiqué en vue de deux critères comportementaux : perturbations dans les domaines des interactions sociales réciproques et par des comportements, intérêts et activités au caractère restreint et répétitif. A l'heure actuelle, il n'y a pas de 'cure' de l'autisme. Seules quelques méthodes, dont l'efficacité dans la gestion des symptômes a été démontrée grâce à des preuves solides (ABA) ou modérées (DENVER, TECCH, PECS, scenarii sociaux...), sont recommandées par l'HAS. Il semble important de rappeler ces informations face à la publicité multipliant des annonces enthousiastes autour des interventions assistées par des robots, aussi bien sur des sites français ('un robot capable de sortir les enfants autistes de leurs bulles') qu'internationales ('faire une rencontre avec X, le robot qui aide des enfants autistes').

Mais que sait-on réellement aujourd'hui de l'effet de l'assistance robotique destinée aux personnes avec TSA ? Les interventions sur la robotique ciblent plus spécifiquement les compétences sociales dysfonctionnelles chez les personnes avec TSA notamment l'imitation, le tour de rôle et l'attention conjointe (Huijnen et al., 2016). La robotique a toutefois accordé moins d'attention à des prérequis indispensables au développement de la réciprocité sociale tel que la perception et la compréhension des intentions sociales. La compréhension des intentions sociales fait référence à la capacité d'inférer des états mentaux (ici : désirs, intentions) du comportement de l'autre. Par exemple si un enfant ne perçoit pas ou ne comprend pas que son partenaire souhaite réaliser une tâche et qu'il est face à un problème, il ne tentera pas de l'aider dans la recherche d'une solution. La compréhension des intentions sociales joue un rôle primordial dans le développement des compétences sociales. Selon Simon Baron-Cohen, 1997, une difficulté dans le développement de la théorie de l'esprit serait un trouble primordial dans le TSA.

Les prérequis indispensables au développement de la réciprocité sociale ne sont pas uniquement sociaux mais également perceptivo- moteurs (Donnellan et al., 2013). Un enfant qui ne sait pas pointer sur l'objet désiré ne peut pas communiquer ses intentions à l'adulte. Comme les habilités sociales et motrices sont liées, il ne sait pas non plus inférer l'intention

de l'adulte qui exécute ce même geste. Les personnes avec TSA, leurs parents et/ou les professionnels de terrain ont attiré l'attention sur l'omniprésence des troubles moteurs et l'impact de ces derniers sur le développement social des personnes avec TSA (Kaur et al., 2018). Nous avons donc postulé que les troubles moteurs participent au développement des troubles sociaux et qu'une rééducation motrice favoriserait l'apprentissage des habilités sociales. La recherche présentée ci-après porte sur l'usage du robot Nao dans une intervention axée sur des habiletés sociales, plus particulièrement sur la compréhension des intentions sociales, et impliquant des activités motrices et rythmiques.

IV. Synthèse de la revue de littérature

1. Spécificités sociales et cognitives chez des personnes avec TSA

Baghdadli et Brisot-Dubois (2011) définissent les compétences sociales comme un ensemble de comportements verbaux et non-verbaux sous-tendus par des processus cognitifs et affectifs qui permettent une adaptation suffisante à l'environnement social. Il s'agit par exemple de savoir initier une conversation, remercier, s'excuser, demander et offrir de l'aide, partager des activités, exprimer ses sentiments et identifier ceux des autres, reconnaître et utiliser l'humour, savoir formuler ou accepter un refus, faire ou accepter une critique etc. Ces capacités nous permettent de recevoir, de comprendre et d'exprimer des messages ajustés à une situation sociale, et donc de prendre part à la vie de groupe. La vie sociale étant une nécessité pour notre espèce, les déficits sociaux entraînent des inadaptations mettant en cause l'épanouissement de l'individu.

Dans la présente étude, nous avons porté notre attention sur des habilités liés à la « théorie de l'esprit », (Theory of mind : TOM) à savoir une aptitude cognitive permettant d'imputer des états mentaux, telles que les intentions, par définition inobservables, à soi et aux autres individus (Premack & Woodruff, 1978). Chez l'enfant, cette compréhension des états mentaux de l'autre peut être évaluée à travers un test d'assistance (helping task) : l'enfant observe un adulte en prise avec une situation-problème ; un enfant qui cherche à aider l'adulte fait preuve qu'il a réussi à inférer l'intention de son partenaire. Chez l'enfant au développement typique, la compréhension des intentions de l'autre apparaît au cours de la deuxième année de vie de manière rapide et innée (Meltzoff, 1995; Warneken & Tomasello, 2006; Carpenter, Aktar & Tomasello, 1998 ; Ballagamba & Tomasello, 1999). Selon la très influente théorie de Baron-Cohen et al. (1985), les difficultés dans les interactions sociales des personnes avec TSA résulteraient d'une incapacité chez des TSA à inférer des états mentaux de l'autre et à comprendre la manière dont ces états dirigent leurs comportements. Tomasello et al(2007) montrent que les enfants TSA offrent spontanément leur aide à l'adulte lorsque le but de la situation-problème est simple à identifier, mais présentent de moins bonnes performances lorsque les tâches à accomplir pour apporter la solution sont plus complexes. Ce déficit est d'autant plus marqué chez les TSA avec handicap intellectuel (Peters-Scheffer et al., 2018).

Alors que l'hypothèse d'une défaillance de TOM attribue le TSA à un déficit spécifiquement social – les personnes avec TSA seraient atteintes d'une cécité aux états mentaux de l'autre ('mindblindness') – il est possible que les anomalies comportementales suggérant un déficit de la TOM découlent, en réalité, des particularités cognitives ou perceptivo-motrices du TSA : *'Je semble antipathique parce que je ne me fais pas de câlin ou ne bouge pas de mon canapé pour partager l'espace sauf si on me le demande. De fait, je n'initie pas bien les actions, mais cela ne veut pas dire que je n'ai pas [de TOM]'* (Kedar, 2012, p. 82, personne avec TSA). L'absence du comportement attendu dans un test de TOM peut découler des

difficultés cognitives ou perceptivo-motrices. Les anomalies du système exécutif chez des TSA sont susceptibles d'entraver la capacité à se représenter la séquence d'actions d'une activité, à exécuter et à comprendre les différentes sous-actions nécessaires à la réalisation de celle-ci (Zalla et al., 2006). Les anomalies perceptivo-motrices ont le potentiel d'affecter l'exploration visuelle des visages, le suivi du regard et l'attention conjointe (Cilia et al., 2018) et la capacité à sélectionner, dans le répertoire moteur, le comportement le plus adapté à la situation actuelle (Williams, Prud'Homme et Wright, 2010).

A l'heure actuelle, les explications formulées en termes de «dysfonctionnements» du TOM sont mises en cause. Les personnes TSA suivraient plutôt une trajectoire développementale atypique les amenant à développer des habilités inhabituelles (Mottron, 2004). Dans ce cadre, les troubles de relations sociales expérimentés par les TSA seraient dus à une rupture de la compréhension mutuelle entre des personnes avec et sans ASD, percevant et expérimentant le monde de façon trop différente (Milton et al., 2018). Selon cette perspective, il conviendrait de faire interagir des personnes TSA, du moins de façon transitoire, avec des partenaires sociaux adaptés à leurs particularités. Notamment, il s'agirait des partenaires qui auraient le potentiel d'attirer spontanément l'intérêt des personnes avec TSA et qui leur épargneraient des défis perceptifs majeurs. *'Apprendre à me sentir en paix dans ma vie m'a obligé à apprendre à identifier mes différences et à travailler avec elles, pas contre elles. J'ai dû apprendre à me mettre dans des situations où mes forces sont valorisées et à éviter les situations où mes défis (aversions sensorielles par exemple) pourraient être problématiques'* (M. Kelter; 2018, témoignage d'une personne avec TSA). Selon notre hypothèse, des robots pourraient endosser le rôle de partenaires catalysant les relations sociales chez des personnes avec TSA.

2. La robotique sociale au service des personnes avec TSA

L'usage des robots dans l'assistance des personnes avec TSA n'est pas nouveau. L'étude pionnière sur un robot téléguidé, Logo, jouant avec un enfant TSA date de 1976 (Emanuel & Weir, 1976). L'élan décisif à la robot-assistance a été impulsé par le projet Aurora (Dautenhahn, 1999), lancé en 1997. A l'heure actuelle, une bonne trentaine de robots dits 'sociaux' ont déjà été développés à l'attention des personnes avec TSA et les travaux décrivant ces efforts sont nombreux. Un robot est qualifié de social lorsqu'il est pourvu d'une 'interface sociale' lui permettant de simuler des comportements sociaux, par exemple, échanger des indices communicatifs non verbaux ou dialoguer avec un humain (Fong. et al., 2002). Par exemple, la face des robots Kismet, Ono ou Probo est pourvue d'actionneurs permettant de mimer des émotions ; les robots multiarticulés Kaspar, Teddy, ou Tito peuvent être programmés à produire des gestes. Le robot humanoïde Infanoid est pourvu de deux mains capables de pointer et saisir, de lèvres et de sourcils pour produire des expressions faciales, et de deux caméras positionnées au niveau des yeux pour détecter des visages. Le robot Nao est également capable de prononcer des phrases via la technique du 'magicien d'Oz'.

L'hypothèse fondatrice de la robot-assistance propose que les automates sont susceptibles de catalyser le développement des habilités sociales chez des personnes avec TSA (Feil-Seifer & Matarić, 2009). Sur cette base, plusieurs hypothèses spécifiques peuvent être envisagées (Simut et al., 2016). Tout d'abord, selon l'hypothèse motivationnelle, les TSAs accorderaient leur préférence aux stimuli non sociaux plutôt qu'aux humains (Chevallier et al., 2012). Grâce à l'implication des stimuli préférentiels des TSA dans la situation éducative, l'apprentissage des interactions sociales serait facilité. Selon l'hypothèse de simplification, l'interaction avec des robots (objets mécaniques, simples dans leurs expressions faciales et verbales, prédictibles dans le comportement et dépourvus du jugement social) leur imposerait moins de défis

que l'interaction avec des humains (Dautenhahn, 1999). Finalement, selon l'hypothèse de Feil-Seifer et Matarić (2009), le robot pourrait jouer le rôle de médiateur social dans les interactions triadiques : interagir avec un robot n'éliciterait pas seulement des réponses sociales envers le robot mais également envers le partenaire humain, l'automate jouant ainsi le rôle de passerelle entre l'enfant TSA et son environnement social. Selon la revue de la littérature de (Huijnen et al., 2016) les buts thérapeutiques les plus souvent ciblés par la robot-assistance sont les interactions sociales, la communication et le jeu. Les interventions mettent typiquement en jeu l'imitation, le tour de rôle, la collaboration, l'attention conjointe, la prise de contact, la prise d'initiative, la demande, le jeu libre, jeu en parallèle ou jeu en collaboration.

Ces hypothèses ont rapidement été soutenues par des observations anecdotiques, fondées sur des études de cas (Ricks & Colton, 2010). Particulièrement prometteuses, elles soulèvent un fort enthousiasme dans la communauté des roboticiens et chercheurs, enthousiasme tempéré durant la dernière décennie par des revues de littérature (Cabibihan et al., 2013; Diehl et al., 2012; Pennisi et al., 2016). Ces dernières ont mis en avant des insuffisances limitant l'intérêt et la portée de ces études pilotes. Sur 16 études retenues par Pennisi et al. (2016), 13 travaux suggèrent que les enfants TSA présentent de meilleures performances lorsqu'ils interagissent avec un robot plutôt qu'avec un humain, deux études apportent des conclusions inverses et deux n'apportent pas de résultats concluants. Jusqu'à présent, aucune revue de littérature n'a pas permis d'aboutir à des conclusions fermes quant à l'efficacité de l'assistance par la robotique du TSA. Selon Begum et al. (2016) la grande majorité de ces travaux a réussi à apporter la preuve de l'attractivité du robot pour des enfants TSA ('likability effect') mais pas encore de son utilité. Or, selon ces auteurs, le caractère attractif et ludique n'est pas suffisant, à lui seul, pour motiver le déploiement des robots en clinique. Trop de technologie semble difficilement acceptable par les usagers lorsqu'elle est principalement dédiée aux divertissements. So et al., (2019) quant à eux estiment que les robots sont aussi efficaces que les humains lorsque la rééducation obéit à une procédure hautement structurée.

Pour mieux répondre aux besoins des acteurs de terrain, les chercheurs ont interrogé les professionnels travaillant auprès des personnes avec TSA à propos de leurs attentes à l'égard des robots. Les professionnels interrogés ont souhaité que les robots soient livrés avec une 'bibliothèque de scénarios' pouvant être choisis en fonction des besoins spécifiques de l'enfant. L'efficacité de l'application d'un scénario social avec l'assistance du robot reste néanmoins à prouver.

3. Troubles moteurs dans le TSA

Le scénario social proposé ci-dessous repose sur les activités motrices. Bien que les troubles moteurs ne fassent pas partie des critères diagnostiques du TSA, ils figurent parmi les signes associés à ce trouble et leur impact ne peut être négligé.

Des difficultés motrices, repérées pourtant depuis le début des travaux sur le TSA par Kanner (1943) ont longtemps demeuré hors des centres d'intérêt des spécialistes du TSA. Leary et Hill (1996) figurent parmi les premiers chercheurs ayant attiré l'attention sur ces troubles, en listant une cinquantaine d'anomalies motrices rencontrées dans les TSA : rigidité, mouvements inachevés, marche sur la pointe des pieds, déficit d'ajustement de la force etc. Vers 2000, le nombre des travaux sur le mouvement dans le TSA a explosé. A l'heure actuelle, l'hypothèse selon laquelle la déficience motrice ferait partie du phénotype du TSA est testée et soutenue par un riche éventail d'études.

Ainsi, selon l'estimation de Miyahara et al. (1997), les déficits moteurs seraient présents chez 50 à 75% des individus. La comparaison des personnes avec TSA avec leurs frères et sœurs sans TSA (Hilton et al., 2012) montre que des déficits moteurs ont été observés dans 83% des cas dans le groupe TSA, contre seulement 6% dans celui des frères et sœurs typiques. Kaur et al. (2018) confirment la présence de difficultés motrices fondamentales en matière d'équilibre, de posture et de coordination, mais repèrent également des difficultés de planification motrice et de synchronisation motrice interpersonnelle chez les enfants TSA.

La méta-analyse la plus récente porte sur 51 études : elle montre que la coordination motrice des personnes avec TSA présente des anomalies se manifestant dans des tâches d'équilibre, de la posture, de la marche, le pointage... (Fournier et al., 2010). Par rapport aux enfants typiques, les enfants avec TSA obtiennent des scores plus faibles à des tests standardisés de la performance motrice (ex : BOT-2, SIPT, M-ABC), à la fois au niveau de la motricité fine (ex : pliage de papier, reproduction de configuration manuelle) que globale (ex : marcher sur une ligne droite, attraper une balle) (Kaur, et al. 2018). Des travaux sur la cinématique du mouvement mettent en évidence des profils atypiques de vitesse et d'accélération (Cook, 2016; Glazebrook et al., 2006), une organisation anormale des chaînes moteurs (Mari et al., 2003), et un contrôle en feed-back plutôt qu'un contrôle anticipatoire du mouvement (Schmitz et al., 2003). Du point de vue développemental, les troubles moteurs sont parmi les plus précoces à apparaître (Iarocci & McDonald, 2006). Les anomalies motrices peuvent servir de premier signal d'alerte, suggérant que la trajectoire développementale de l'enfant dévie de la route typique.

Les anomalies motrices n'affectent pas seulement des activités impliquant du mouvement : s'habiller, prendre un bus, écrire etc. Il existe un lien entre la sévérité des troubles moteurs et la sévérité des symptômes du TSA (Dziuk et al., 2007; Kaur et al., 2018; Sutera et al., 2007). Vanvuchelen et al. (2007) ont rapporté que déficits moteurs chez des enfants avec TSA de symptomatologie sévère, des déficits moteurs sont fortement liés aux déficits en imitation de gestes.

4. La production du mouvement affecte la cognition chez le typique

Dans la perspective des Théories Motrices de la Cognition, il existe, en effet, un lien entre la motricité et la cognition, la distinction classique entre des processus moteurs et des processus cognitifs étant trompeuse (Gibson, 1979; Hommel et al., 2001). D'une part, le système neuro-musculo-squelettique sélectionne les informations sensorielles en scrutant l'environnement à travers le mouvement des yeux, des mains, en inspirant et en gouttant (Prescott et al., 2011). D'autre part, il participe activement au déroulement de processus cognitifs plus " centraux " : discrimination, attention, émotion, compréhension, mémoire etc.

L'impact de la production de gestes sur la cognition a été mis en avant en neurologie suite à la découverte des neurones dits 'miroirs' chez le sujet typique. Il s'agit d'un système de neurones situés dans les régions prémotrices du cerveau qui s'activent lorsque le sujet effectue un geste intentionnel vers un but (ex : saisir une pomme) ou lorsqu'il observe ou imagine quelqu'un le produire (Rizzolatti & Craighero, 2004). Le système des neurones miroirs permettrait au cerveau de tisser des liens sensori-moteurs entre les propres programmes moteurs dont il dispose et l'action motrice observée sur un autre individu. Aussi, l'activation du système de neurones miroirs est plus élevée lorsque le sujet observe une action qu'il est capable d'accomplir, par rapport à l'observation de mouvements

physiquement impossibles. En d'autres termes, les neurones miroirs seraient impliqués dans la traduction des percepts en action, jetant ainsi des bases de l'imitation : leur activité est plus élevée lorsque l'on demande au sujet d'observer puis d'imiter un mouvement par rapport à la condition où il doit seulement observer le geste (Lacoboni et al., 2001).

L'activité tissant le plus explicitement un lien perceptivo-moteur entre deux personnes est la synchronisation inter-personnelle, telle que chanter ou danser ensemble. McNeill (1995) a postulé que la fonction primaire des chants, des danses et des marches réalisés en synchronie par des groupes d'individus contribue à l'émergence de relation sociale. Les travaux expérimentaux ultérieurs ont soutenu cette hypothèse chez l'adulte (Lakens, 2010 ; Hove & Risen, 2009) comme chez l'enfant (Kirschner et Tomasello, 2010). Par exemple, les indices physiologiques d'empathie sont plus élevés lorsqu'un stimulus douloureux est appliqué à un comparse qui imite les mouvements du sujet plutôt qu'à un comparse qui n'imitent pas (De Coster, Verschuere, Goubert, Tsakiris, & Brass, 2013). La production de mouvements synchrones avec l'autre active le système des neurones miroirs (Tognoli, Lagarde, DeGuzman, & Kelso, 2007) et contribue à la synchronisation des ondes cérébrales des co-acteurs (Dumas, Nadel, Soussignan, Martinerie, & Garnero, 2010). Chez l'enfant, Kirschner et Tomasello (2010) ont montré que lorsque les enfants ayant chanté de manière synchronisée lors d'une première activité, ils manifestent plus de comportements d'aide envers leurs pairs lors d'une deuxième activité en comparaison au groupe d'enfants qui chantaient individuellement.

5. TSA, la synchronisation inter-personnelle et cognition sociale

L'action conjointe synchronisée chez la personne avec TSA est atypique. Condon (1975) a remarqué que les nourrissons ultérieurement diagnostiqués TSA synchronisent de façon anormale leurs gestes avec les verbalisations de l'adulte. Yirmiya et al. (2006) ont rapporté que des enfants de 4 mois à risque de TSA synchronisent moins bien leurs gestes avec les mouvements de leur mère que les enfants sans risque. Dawson, Hill, Spencer, Galpert, et Watson, (1991) ont remarqué que les enfants TSA sourient autant que des enfants typiques, mais l'émission de leurs sourires coïncide moins bien avec l'émission de sourires par la mère. De Marchena et Eigsti (2010) ont noté que les gestes communicatifs sont moins bien synchronisés avec la parole chez des adolescents avec TSA que chez le groupe de contrôle. Isenhower et al. (2012) ont noté que les enfants TSA priés de frapper sur un tambour soit en in-phase (des baguettes qui frappent simultanément) soit en anti-phase (frappes en alternance) avec un partenaire produisent moins de configurations motrices requises (in-phase et anti-phase) que des enfants typiques. Récemment, Kostrubiec, Huys, Jas, et Kruck (2018) ont montré que les anomalies de synchronisation avec un stimulus auditif sont liées à la sévérité des symptômes du TSA. La même conclusion a été apportée par Romero et al. (2018) : le niveau de synchronisation motrice sociale spontanée est corrélé à la capacité de réponse à l'attention conjointe, à la coopération et à la théorie de l'esprit, le niveau de synchronisation motrice sociale intentionnelle est associé à l'initiation de l'attention conjointe et à la théorie de l'esprit.

Ces observations expérimentales ont contribué à promouvoir l'idée selon laquelle le TSA serait lié à une anomalie de synchronisation des rythmes, tant au niveau comportemental que neuronal. Ayant examiné l'activité cérébrale des personnes avec TSA impliquées dans une tâche commune, Salmi et al., (2013) ont noté que les ondes cérébrales de ces sujets se synchronisaient moins que les ondes des personnes typiques.

6. Que retenir ?

- *L'acquisition de compétences sociales peut sembler simple et naturelle chez des personnes neurotypiques mais cet apprentissage s'avère moins évident chez les personnes TSA. De nombreuses particularités sont présentes au niveau de la capacité de perception, d'élaboration et d'émission de comportements verbaux ou non-verbaux, et peuvent ainsi expliquer leurs difficultés d'apprentissage des compétences sociales.*
- *Puisque les anomalies de synchronisation interpersonnelle sont liées aux anomalies sociales du TSA et que le niveau de synchronisation motrice sociale spontanée au même titre que la compréhension des intentions sociale est corrélée à la capacité de réponse à l'attention conjointe, à la coopération et à la théorie de l'esprit (Romero et al., 2018), il semble pertinent de proposer des rééducations utilisant la synchronisation interpersonnelle dans l'objectif d'améliorer les compétences sociales des enfants avec TSA.*
- *Finalement, étant donné que les robots sociaux produisent un mouvement plus régulier que les humains, et qu'ils fassent partie des objets préférentiels des enfants avec TSA, il est possible qu'ils puissent favoriser l'apprentissage des compétences sociales chez ces jeunes personnes.*



V. Méthodologie du projet

1. Tâche éducative et hypothèses

Tâche éducative. L'enfant avec TSA est impliqué dans une tâche de coordination-coopération, ayant pour partenaire social soit le robot Nao, soit un humain. A chaque essai, il doit synchroniser le mouvement de frappe avec la chanson chantée par un partenaire social (coordination). Immédiatement après la chanson, le partenaire social sollicite l'aide de l'enfant. Si l'enfant coopère, en y répondant de façon appropriée, il est chaudement félicité (coopération). L'efficacité de l'apprentissage du comportement de coopération est testée au moyen du test d'assistance (helping task), appliqué juste avant et juste après la tâche éducative.

- **Hypothèse 1.** Dans la tâche de coordination-coopération, l'apprentissage de la coopération chez l'enfant avec TSA est facilité lorsque le sujet interagit avec un partenaire robot plutôt qu'avec un partenaire humain.

- **Hypothèse 2.** Une coordination inter- personnelle précise et stable facilite l'apprentissage de la coopération ainsi que la généralisation de cet apprentissage, testée au moyen du test d'assistance évaluant la compréhension des intentions sociales.

- **Hypothèse 3.** Il existe un lien entre les habilités sociales et les habilités motrices chez des enfants avec TSA.

2. Population

Population. Un groupe de 23 enfants TSA et un groupe de contrôle composé de 33 enfants au développement typique ont participé à l'étude (**Tableau 1**). Les enfants, âgés de 4 à 8 ans, ont été répartis en deux groupes : interaction 'avec humain' et interaction 'avec robot'. Les enfants présentant une pathologie neurologique comme une épilepsie ou une hyperactivité et des quotients intellectuels inférieurs à 70 ont été exclus.

	Typique		ASD		Total
	Nao	Humain	Nao	Humain	
Prévu	12	12	12	12	48
Réalisé	15	18	13	10	56

Tableau 1. Plan expérimental avec effectifs prévus et réalisés.

Aspects éthiques et réglementaires. Les responsables légaux de l'enfant seront préalablement informés dans un langage adapté, des objectifs de l'étude, de sa méthodologie, de sa durée, ses contraintes, des risques prévisibles, des bénéfices attendus, du mode de diffusion de la recherche, ainsi que des coordonnées du responsable scientifique. Ils recevront également une information portant sur leurs droits (droit de refus, droit de retrait à tout moment, droit à la confidentialité, droits d'accès aux données, droit de suivi de résultats). Tout enfant recevra les mêmes types d'informations dans un langage simplifié. Le projet a reçu un avis favorable du comité d'éthique CERNI de L'université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées.

3. Matériel expérimental et tests psychométriques

Robot. Nao est un robot humanoïde programmable développé par Aldebaran Robotics, une société française de robotique (**Figure 1**). Pesant 5,4 kg et mesurant 574 mm de haut, il peut parler à l'aide de deux haut-parleurs et produire des gestes à l'aide de ses 25 moteurs contrôlant 25 degrés de liberté (DOF): 11 DOF pour la partie inférieure qui comprend les jambes et le bassin, et 14 DOF pour la partie supérieure cela comprend le tronc, les bras et la tête. Nao est équipé de deux caméras, quatre microphones, des capteurs de position communs et une carte inertielle avec gestionnaire de chute. Son processeur principal est le processeur Intel ATOM 1,6 GHZ exécutant un noyau Linux.

Dans la présente étude, chaque action de robot a été programmée dans Choregraphe et Python sous le système d'exploitation Windows 7. Pour enregistrer les réponses motrices de l'enfant, l'ordinateur était connecté à un bouton-poussoir Arcade de 10 cm de diamètre dont l'état de marche-arrêt était enregistré via une carte d'acquisition SparkFun Redboard à un débit de 9600 bps. Deux caméras filment l'ensemble de la passation. Une petite valise vide est posée sur une table à proximité du robot.

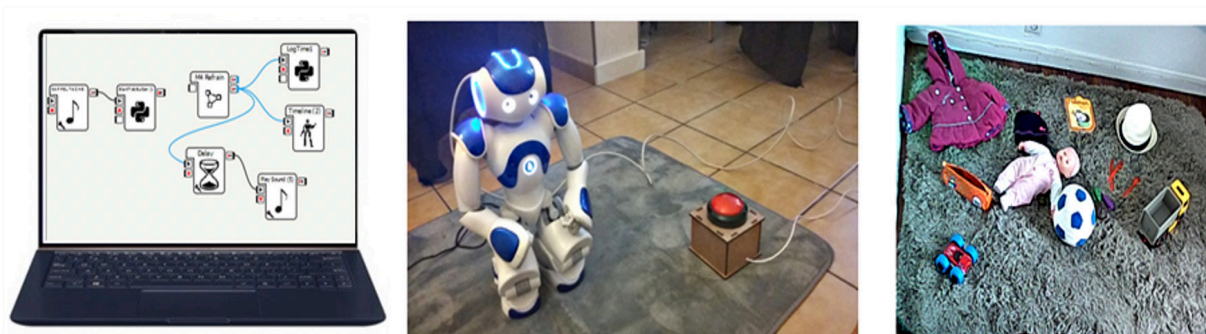


Figure 1. Matériel expérimental utilisé pour l'intervention dans la condition Nao: programme avec les icônes de contrôle, le robot Nao, le bouton de réponse, et les objets utilisés dans la tâche de Coopération.

Chanson et objets à trouver. La chanson du partenaire social était composée d'un refrain et de 10 couplets, chantés a capella sur la mélodie de «Ah vous dirai-je, maman». Dans le refrain, le partenaire présentait une plainte, rythmée par un métronome (cf. Tick):

*(Tick) Moi je cherche (Tick) tout le temps
(Tick) Ce qui était (Tick) là-dedans
(Tick) Moi je cherche (Tick) tout le temps
(Tick) Ah vraiment c'est (Tick) pas marrant*

Dans le couplet, l'objet à trouver était identifié et l'enfant implicitement sollicité à aider le partenaire social :

*Mon stylo est-il par-là ?
Je ne le retrouve pas !*

Chaque sollicitation était préparée sous trois formes : celle de la demande implicite chantée, celle de la demande parlée implicite, et celle de la demande parlée explicite :

*Mon stylo est-il par-là ?
Je t'en supplie aide-moi !*

Dix demandes sont préparées et dix objets correspondant éparpillés sur un tapis gris (un crayon, une balle, une poupée, une cuillère, un bonnet, un chapeau, un livre, un pardessus et un gâteau) ainsi que deux objets-distracteurs.

Programmation du robot. Sept modules ont été programmés sur chorégraphe : (1) un module où Nao se présente à l'enfant («Bonjour, je m'appelle Nao. Et toi ? Comment t'appelles-tu ? ...»), (2) un module où le robot explique la tâche («Moi, je chante en même temps que les ticks. Toi, tu écoutes et tu appuis avec les ticks...»), (3) un module dédié à la coordination, délivrant tout d'abord 10 Ticks toutes les 1400 ms puis le refrain, (4) un module dédié à la coopération permettant à l'expérimentateur de sélectionner, au hasard, un couplet et sa forme, (5) un module de félicitation avec diverses félicitations et encouragements (ex : «Bien joué! Tu es sur la bonne voie!»), (6) un module avec des questions (ex : «Veux-tu une pause?»), (7) et module avec des remerciements finaux («Merci. Je suis fier d'avoir joué avec toi! Ça m'a fait plaisir ! ... Au revoir !»). Pendant le refrain, Nao a été programmé à «danser» en balançant ses hanches sur le rythme de la chanson.

Programmation pour condition de contrôle. Pour la condition de contrôle, un programme analogue a été développé sur Pro-cessing.org pour les modules de coordination et de coopération uniquement. Au début de chaque essai de coordination, l'ordinateur émettait automatiquement dix ticks toutes les 1400 ms. Immédiatement après, la chanson apparaissait à l'écran permettant à l'expérimentateur de la chanter. Pour aider l'adulte à respecter le rythme, une séquence de 16 cercles rouges s'affichait sous les paroles. Pendant la chanson, chaque pression sur la barre donnait lieu à un Tick. L'expérimentateur pouvait ainsi chanter et donner le rythme.

Cahier de suivi. Un cahier de suivi expliquant aux parents comment le paradigme de coordination-coopération pouvait être exploité au cours des routines quotidiennes a été préparé. Les parents devaient tenter d'administrer la tâche au moins deux fois par semaine. À la fin de chaque essai, le parent notait si l'enfant avait coopéré spontanément, ou avec de la guidance, ou avait refusé de coopérer.

Tests psychométriques. La présence de traits autistiques était testée au moyen de deux outils construits en lien avec les critères de diagnostic du DSM-IV et recommandés par la Haute Autorité de Santé (2012) : Questionnaire de Communication Sociale (SCQ) (Rutter, Anthony, & Lord, 2003), validé en langue française (Kruck, Baudel, & Rogé, 2013) (Rogé, Fombonne, Fremolle-Kruck, & Arti, 2011), ADOS (Lord et al. 1989) et Vineland II (Sparrow et al, 2015). Trois autres tests visant à évaluer les performances motrices, attentionnelles, cognitives et sociales ont été préparés : Le test CONNERS utilisé pour tester l'hyperactivité et les défauts d'attention, le Q-TAC exploité pour dépister des troubles moteurs et deux épreuves tirés de WISQ : un test de raisonnement perceptif (matrices) et un test de compréhension (similitudes).

Les outils psychométriques sont listés dans le **Tableau 2**.

Test	Sigle	Habilité mesurée	t	df	p
Age			-1.852	40.00	0.071
WPPSI Cubes	WPP-SI-C	Capacité de raisonnement perceptif	1.458	39.00	0.153
WPPSI Informations	WPP-SI-I	Capacités verbales	1.785	39.00	0.082
ADOS au pré-test	ADO	Interaction sociale réciproque	-5.245	39.00	< .001**
SCQ	SCQ	Capacités de communication sociale	-8.965	39.00	< .001**
Vineland RP	VRP	Relations inter- personnelles	5.617	36.00	< .001**
Vineland JT	VJT	Jeu et temps libre	2.979	36.00	0.005*
Vineland A	VA	Adaptation	4.465	36.00	< .001**
Vineland P	VP	Personnel	3.889	36.00	< .001**
TIS au pré-test	TIS 1	Intentions sociales	2.027	38.00	0.050*
Conners I	C1	Difficultés du comportement	-3.382	38.00	0.002*
Conners II	C2	Difficultés d'apprentissage	-1.921	38.00	0.062
Conners III	C3	Psycho-somatisation	-1.802	38.00	0.080
Conners IV	C4	Impulsivité	-4.356	38.00	< .001**
Conners V	C5	Anxiété	-1.927	38.00	0.062
Conners VI	C6	Hyperactivité	-4.363	38.00	< .001**
BRIEF-P (Notes brutes)	BRIEF	Fonctions exécutives	-5.684	25.00	< .001**
Q-TAC	QT	Compétences motrices	4.347	39.00	< .001**

Tableau 2 : Tests psychométriques et tâches évaluant les habilités des enfants avec les résultats de comparaison du groupe des enfants TSA avec le groupe des enfants typiques (Différence significative : * p < 0,05 ; ** p < 0,001).

Test des intentions sociales. S'inspirant de tâches de Tomasello (2005), douze scénarii ont été préparés pour tester la capacité de l'enfant à inférer les intentions sociales de son partenaire.

4. Procédure

Préparation. Les familles volontaires ont été contactées et des RDV ont été pris pour l'étape sur les mesures (questionnaires) pré-intervention. A chacune des étapes les familles ont été accompagnées un psychologue qui expliquent les objectifs de chaque phase d'intervention ainsi que le déroulement des exercices. Dans la condition 'avec robot' l'expérimentation se déroulait au sein du cabinet Autis&nd habilité à recevoir des enfants. Dans la condition 'avec humain', l'enfant était accueilli par son thérapeute dans le cadre des soins courants.

Intervention. La procédure expérimentale appliquée à l'enfant est résumée dans la **Figure 2**. L'expérience est bâtie selon le plan expérimental pré-post. Au pré et aux post-tests, l'enfant était soumis à l'ADOS, aux deux tests d'aptitudes intellectuelles et au test des Intentions sociales. Pour ce dernier, quatre scénarii des intentions sociales différents choisis au tirage aléatoire sans remise sont utilisés au pré-test et au post-test (12 scénarii en tout). Nous évitons ainsi l'apprentissage par l'enfant d'une situation donnée. A chaque essais, l'enfant

devait identifier l'intention implicite de son partenaire social (ex : accrocher des vêtements sur un fil au moyen de pince-linges) et lui porter spontanément secours en cas de difficulté (ici : une pince-linge tombée par terre).

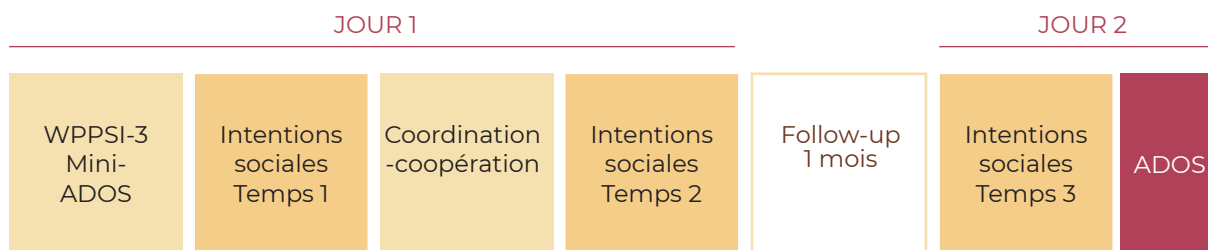


Figure 2. Procédure expérimentale appliquée à l'enfant.

Immédiatement après, dix essais de coordination-coopération étaient appliqués soit en condition « avec robot », soit en condition « avec humain » (Figure 3). Pendant la phase de coordination, l'enfant était invité à appuyer sur le bouton-poussoir au rythme des Ticks. Au début de chaque essai, dix Ticks étaient délivrés par l'ordinateur pour évaluer la capacité de l'enfant à se synchroniser dans la situation de simple tâche. Ensuite, le partenaire social chantait la chanson en produisant les Ticks au même temps. La chanson dure 20 secondes. Dès qu'elle s'arrêtait, la phase de coopération avait lieu. Le partenaire s'exclamait en constatant le manque d'un objet dans sa valise et tendait les bras vers l'objet en question, qui se situait hors de sa portée. L'expérimentateur notait si l'enfant rapportait l'objet en question : l'enfant recevait 3 points s'il réagissait la demande implicite chantée, 2 points à la demande implicite parlée et 1 point à la demande explicite parlée. A chaque essai, un autre objet est impliqué. Sans compter les pauses qui peuvent être insérées à la demande de l'enfant, l'expérience totale durait maximum 45 minutes. Le post-test est appliqué deux fois de suite : une fois immédiatement après l'intervention et une fois un mois après l'intervention. A chaque post-test, l'enfant passait 4 nouveaux scénarii d'intentions sociales.

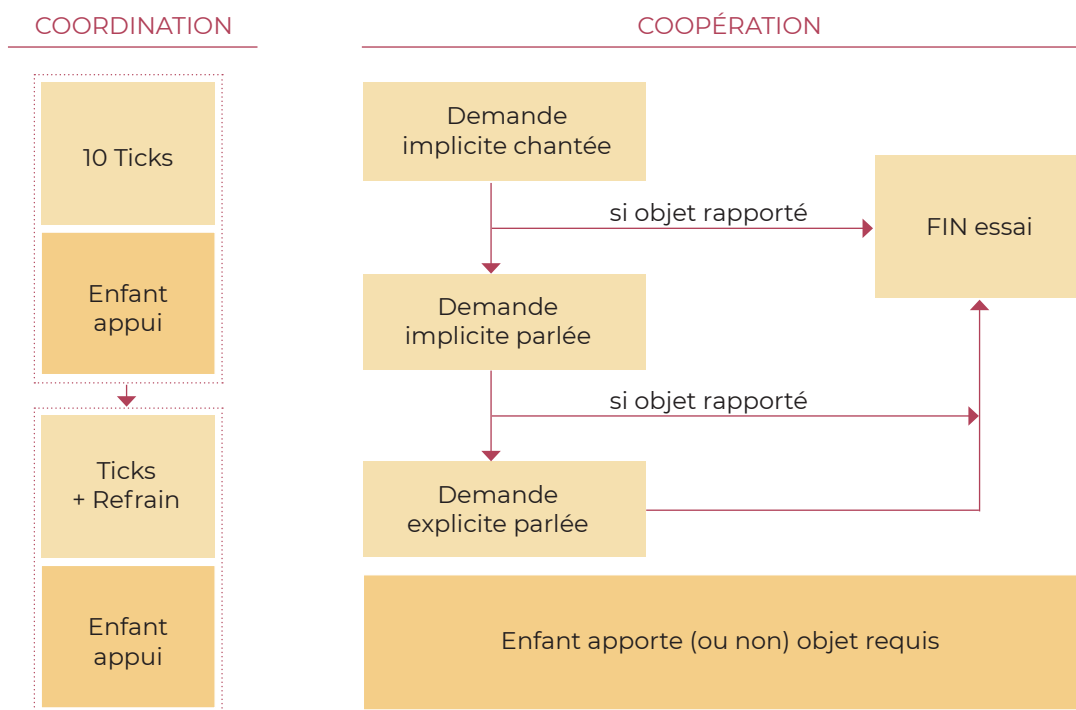


Figure 3. Procédure de la tâche de coordination-coopération.

Suivi post-intervention. Pendant le mois qui suivait l'intervention les parents ont été amenés à pratiquer une activité relative à l'autonomie de l'enfant en utilisant le principe de coordination/coopération (C/C) tel qu'il a été initié lors de la tâche expérimentale avec l'adulte ou le robot. Afin de ne pas surcharger les familles, il leur était demandé de réaliser deux fois par semaine minimum le principe C/C et de notifier sur un cahier de bord si l'enfant a réalisé l'action attendue entièrement seul, partiellement seul, avec une guide, en assistance totale et s'il a eu un trouble du comportement au cours de l'activité. Une fois par semaine, les familles étaient contactées par téléphone afin de faire un point sur leur vécu et les difficultés rencontrées afin d'ajuster au mieux l'utilisation du principe C/C avec leurs contraintes familiales. Un mois après l'expérimentation les parents et enfants sont reçus pour la dernière étape au cours de laquelle les habiletés sociales sont de nouveau mesurées de même que la compréhension des intentions sociales. A la fin de la procédure, les parents rencontrent le ou la psychologue qui leur propose un bref questionnaire de satisfaction et une consultation de clôture.

5. Mobilisation des chercheurs et des acteurs de terrain pour participer à la recherche

La mobilisation des chercheurs et des acteurs de terrain a été constante tout au long de l'expérimentation.

- **Temps 1 :** Le protocole d'intervention expérimentale a été élaboré avec l'aide d'une éducatrice spécialisée en autisme (A. Peltier-Manteau), une psychomotricienne (C. Filhol) et une psychologue (S. Courty) qui ont accompagnées J. Kruck, V. Kostrubiec et P.V. Paubel dans la construction du paradigme.
- **Temps 2 :** Les cabinets de C. Boscus (31140 Fonbeauzard), B. Jas (31450 Ayguevives), Cabinet Autis&nd (31130 Balma), l'association CERESA (31100 Toulouse) et le cabinet de psychomotricité (C. Filhol) ont participé à la diffusion de l'information. Les familles intéressées pour participer ont contacté les chercheurs et la psychologue recrutés pour assurer l'accueil et l'accompagnement des familles.
- **Temps 3 :** les interventions ont été menées par 4 psychologues cliniciennes (C. de Launay, C. Lajunta, J. Kurtz et G. Fayolle) toutes préalablement formées à la passation, à la cotation des outils de mesures et à la passation du paradigme expérimental.
- **Temps 4 :** deux psychologues (C.L et C.DL) ont accompagné les familles au cours du mois de mise en place de l'expérimentation à domicile. Chaque semaine elles ont fait un point sur les difficultés rencontrées par les familles et/ou les enfants et ont répondu aux interrogations.
- **Temps 5 :** A l'issue de l'étude, les familles et les psychologues ont été sollicités pour évaluer leur satisfaction afin que soit proposé des éventuels aménagements des exercices en fonction des contraintes environnementales (cabinet de consultation ou domicile) pour une meilleure acceptabilité. Elles ont également participé à l'élaboration et à l'enregistrement des vidéos proposées dans les livrables.

6. Traitement de résultats

Intervention. Chaque enfant a été caractérisé par 30 variables : l'âge, les 16 scores aux tests psychologiques (**Tableau 2**), le score au pré-test et au post-test des intentions sociales, le score obtenu pendant la tâche de coordination, la variable motrices décrivant la coordination, la phase relative (PR), ainsi que quatre autres indices calculés à partir de la PR (**Tableau 3**). L'imprécision de la coordination a été estimée par l'erreur absolue c'est-à-dire la différence absolue entre le PR produite et la PR requise (ici : 0°), l'instabilité de la coordination par la variabilité de la RP et l'entropie de la PR. Nous avons également calculé le nombre de phases relatives produites pendant l'essai, signe de l'implication du sujet dans la tâche de coordination. Chacune de ces variables motrices est mesurée avant la partie chantée, où l'enfant doit se coordonner avec le signal auditif seul (Tick : T) et pendant la partie chantée, où l'enfant doit se synchroniser avec le rythme du refrain (Refrain : R).

Deux classes de traitement statistiques sont entreprises. Dans la première, il s'agit de comparer la performance des conditions expérimentales au moyen des analyses de variance (ANOVA), suivis des t-tests (post-hoc) dont le niveau de significativité a été ajusté en raison des comparaisons multiples. Dans la seconde, les relations entre les scores aux tests psychologiques et les performances motrices sont évaluées au moyen des indices de corrélations. Des méthodes issues de taxonomie numérique (théorie des graphes, analyse des clusters) ont été utilisées dans le but de mieux illustrer ces interrelations. Les résultats sont considérés comme significatifs pour $p < 0.05$. En cas de violation de la sphéricité des variances, des corrections de Greenhouse-Geisser sont effectuées.

Variable motrice	Description
Phase relative PR	Mesure de la coordination (en degrés)
Erreur absolue de la PR	Indice de l'imprécision de la coordination
Variabilité de la PR	Indice de l'instabilité de la coordination
Entropie de la PR	Indice de l'instabilité de la coordination
Nombre de PRs produits dans l'essai	Indice de l'implication du sujet dans la tâche

Tableau 3. Variables motrices utilisées dans l'étude.

Suivi à domicile. Le suivi à domicile a été évalué en étudiant la distribution de réponses (coordination spontanée, guidée, absence de coordination) en fonction des semaines ainsi que par les réponses au questionnaire de satisfaction. La distribution de ces réponses, mesurées sur l'échelle de Lickert, est représentée pour chaque question ci-dessous. Pour évaluer la satisfaction des parents, un test de Wilcoxon a été appliqué à chaque question, évaluant si la médiane des résultats est significativement supérieure à 3, c'est-à-dire si le nombre de réponses « tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord » est plus élevé que celui de réponses « je ne sais pas », « plutôt pas d'accord » et « pas du tout d'accord ».

VI. Résultats et discussion

1. Comparaison inter-groupe

La comparaison des deux groupes de sujets (**Tableau 1**) montre que le niveau de fonctionnement social, mesuré par ADOS, socio-adaptatif, mesuré par le Vineland, de la communication sociale, mesuré par SCQ, et de la compréhension des intentions sociales, mesuré au pré-test, était plus faibles chez les TSA que chez les enfants typiques. Les enfants TSA ont également obtenu des scores au Conners I, Conners IV, Conners VI, plus élevés que les enfants au développement typiques. Ils présentent par conséquent plus de difficultés comportementales, d'impulsivité et d'hyperactivité. Les mesures de BRIEF ont également confirmé ce constat. En revanche aucune différence significative n'est retrouvée au niveau de l'âge et des compétences cognitives des enfants des deux groupes : les deux groupes ne différaient ni en âge ni en capacités intellectuelles.

2. Compréhension des intentions sociales chez TSA

L'ANOVA 2(Partner : humain vs. robot) × 2(Test : pré-test vs. Pos-test) × 2(Group : TSA vs typique) met en évidence une progression du niveau de compréhension des intentions sociales entre le pré-test et le post-test, $F(1, 38) = 6.549, p = 0.015$, ainsi qu'une interaction entre les facteurs Test et Partner $F(1, 38) = 9.782, p = 0.003$: le progrès intervenait dans la situation 'humain' seulement (**Figure 3**). Les tests post-hocs avec correction de Holm ont confirmé que le score au test des intentions sociales était plus élevé au post-test dans la condition 'humain' par rapport au pré-test dans la condition 'humain' ($t = 3.834, p = 0.003$) et pré-test dans la condition 'robot' ($t = 2.762, p = 0.03$).

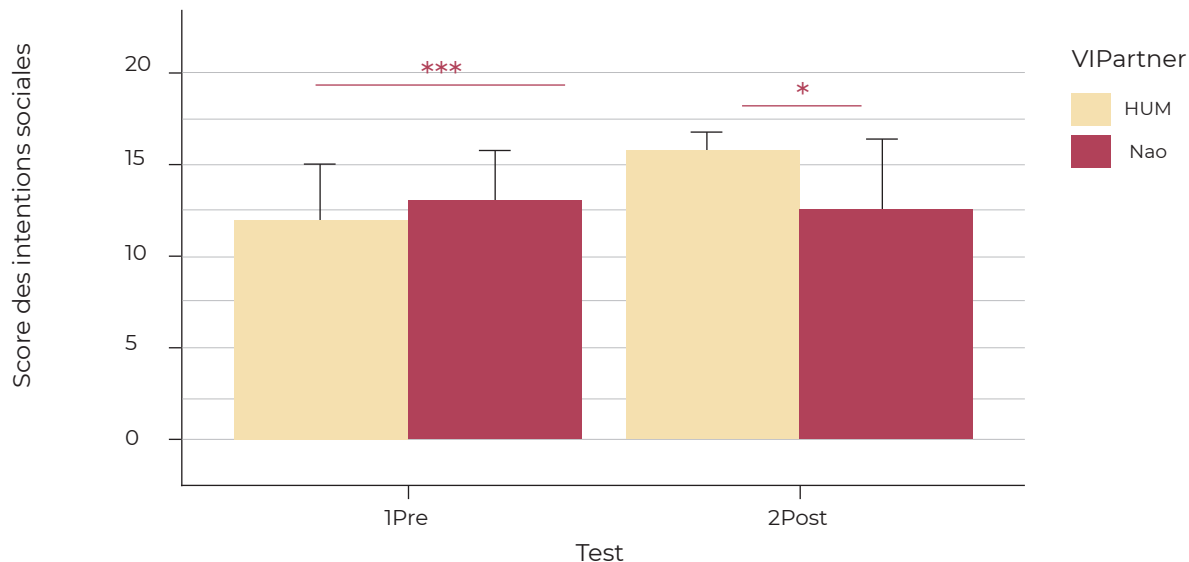


Figure 3. Progression du score de compréhension des intentions sociales en pré et post intervention.

3. Coordination motrice

Imprécision de la coordination. L'ANOVA 2(Partner : humain vs. robot) × 2(Condition : tick vs. refrain) × 2(Group : TSA vs typique) (Figure 2) portant sur l'erreur absolue de phase relative montre que les coordinations avec l'humain sont plus imprécises qu'avec le robot, $F(1, 37) = 58.855, p = 0.001$, aussi bien chez les TSA que chez les typiques (**Figure 4**). L'enfant a donc plus de facilité à appuyer au bon moment lorsqu'il se coordonne avec le robot qu'avec l'humain. Un regard plus précis sur des données révèle une interaction entre Condition et

Partner, $F(1, 37) = 7.344$, $p = 0.01$. Lorsque l'enfant interagit avec l'humain, il est plus imprécis dans la condition Tick que Refrain ($t = 7.572$, $p = 0.001$). Lorsque l'enfant suit le refrain, il est plus imprécis dans la condition 'humain' and dans la condition Nao ($t = 4.022$, $p = 0.001$).

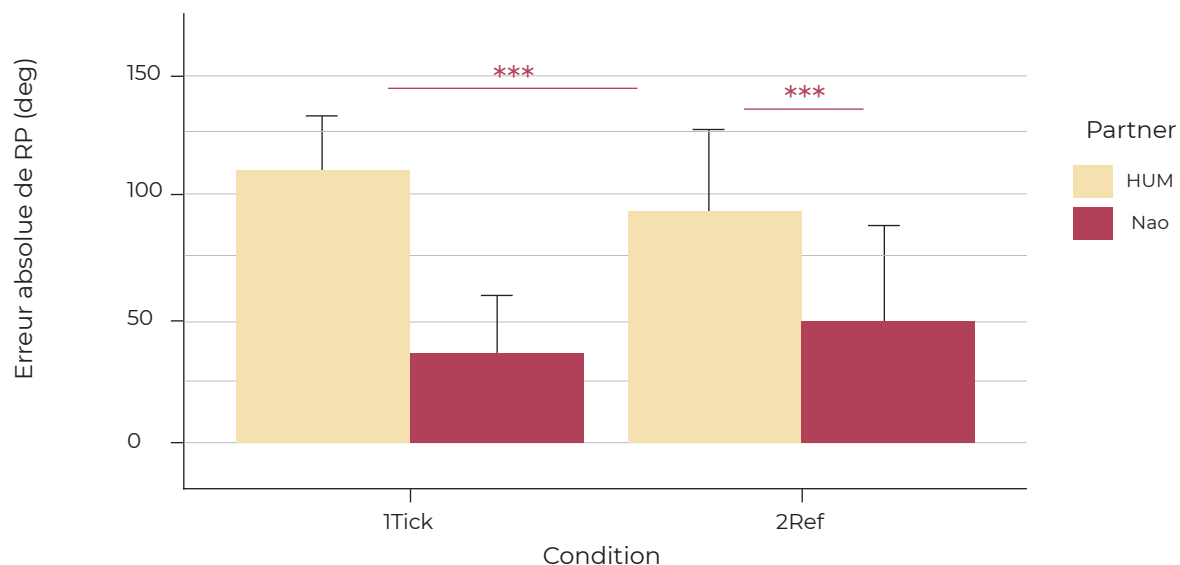


Figure 4. Niveau d'imprécision de la coordination en fonction du partenaire, estimé par l'erreur absolue de la phase relative (PR).

Instabilité de la coordination. L'ANOVA2(Partner) × 2(Condition) × 2(Group) (Figure 3) portant sur la variance des phases relatives montre une interaction entre Condition et Partner, $F(1, 37) = 9.422$, $p = 0.004$. Comme illustré par la **Figure 5**, lorsque l'enfant interagit avec l'humain, la coordination est plus variable dans la condition Refrain que Tick ($t = 3.385$, $p = 0.01$) que dans la condition Refrain, ($t = 5.756$, $p = 0.001$).

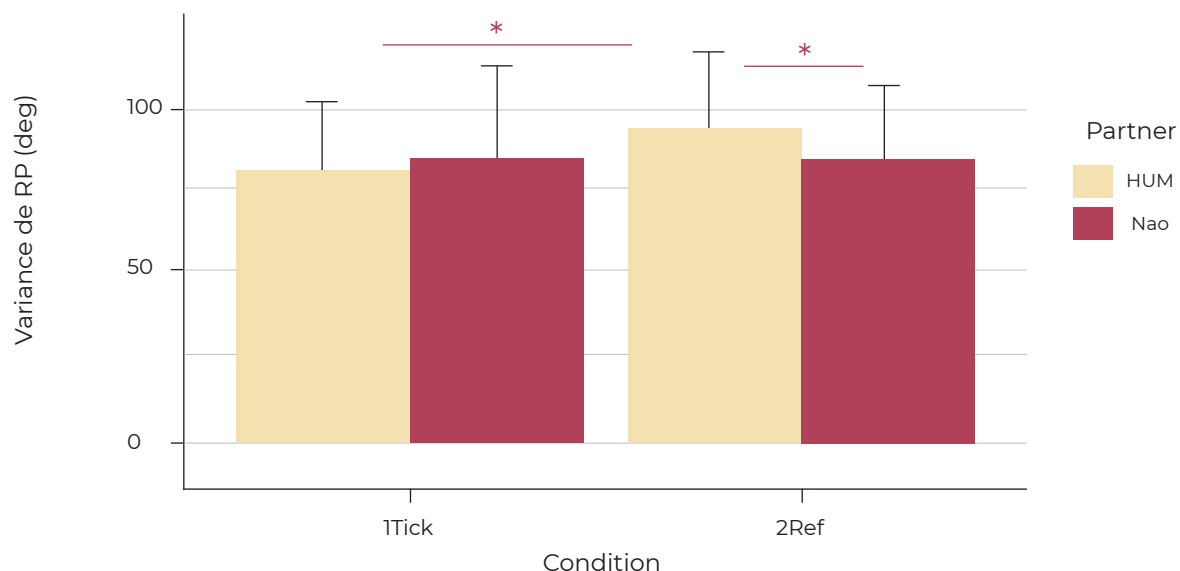


Figure 5. Niveau d'instabilité de la coordination en fonction du partenaire, estimé par la variance des phases relatives (PR).

4. Corrélations inter-variables chez des enfants TSA

De même une corrélation significative est retrouvée entre le niveau de coordination, estimé par le test Q.TAC, est la progression au test des intentions sociales ($r = -0,44$, $p < 0,04$) chez des enfants TSA : Plus les habilités motrices sont importantes, plus les enfants progressent dans la compréhension des intentions sociales (**Figure 6**).

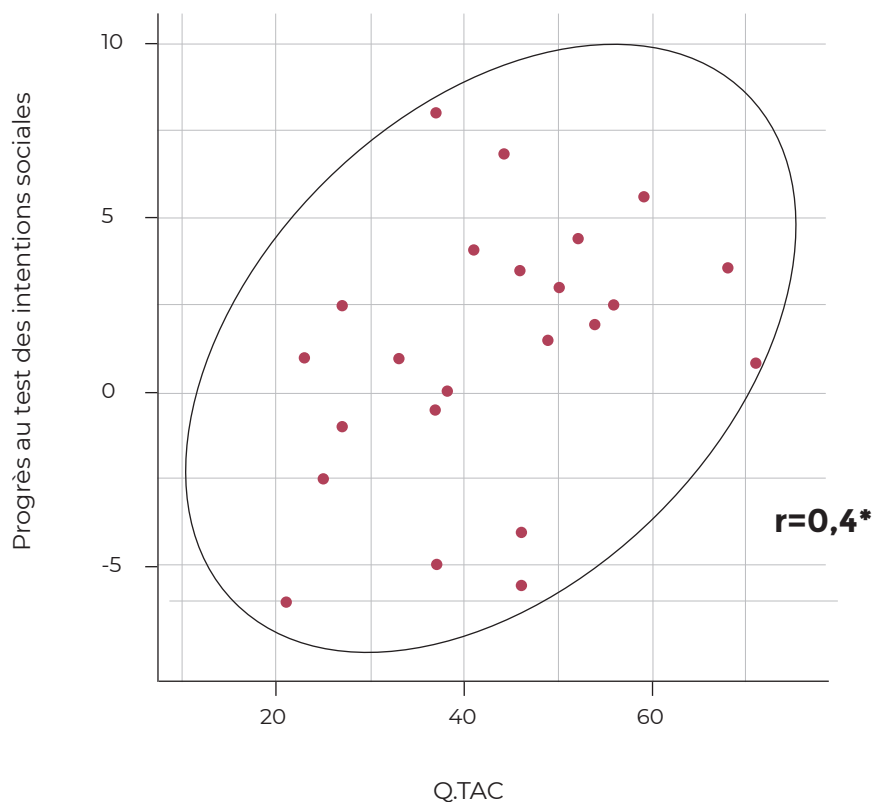


Figure 6. Nuage de points illustrant la corrélation entre le progrès au test des intentions sociales et le test psychométrique de coordination Q.TAC.

Nous avons finalement étudié dans le groupe des enfants avec TSA le réseau de corrélations (**Figure 7**) entre le nombre des patrons de coordination produits par l'enfant (NPR), illustrant l'implication de l'enfant dans la tâche motrice, l'entropie des phases relatives (en condition Tick : ET, en condition Refrain : ER) le score obtenu dans la tâche de coopération (Cop) et dans des tests des intentions sociales (TIS), ainsi que les tests psychométriques évaluant le niveau social (SCQ, V : Vineland II, ADO : ADOS) et le niveau de l'attention (C : Connors). Les cercles dans le réseau ci-dessous correspondent à des variables, les liens à des corrélations significatives entre eux, dont les seuils de significativité ont été ajustés par l'ajustement BH en raison des comparaisons multiples.

Les résultats montrent que le nombre de patrons de coordination produits dans la condition Tick (NT) est positivement corrélé avec la performance obtenue dans la tâche de coopération (NT-Cop), au post-test des intentions sociales (NT-TIS2) et au progrès dans le test des intentions sociales (NT-TISP). Le nombre total des patrons de coordination produits étaient également corrélé le post-test des intentions sociales (NRP-TIS2). Le progrès dans le test des intentions sociales était négativement associé à l'impulsivité (C4) et l'hyperactivité (C6).

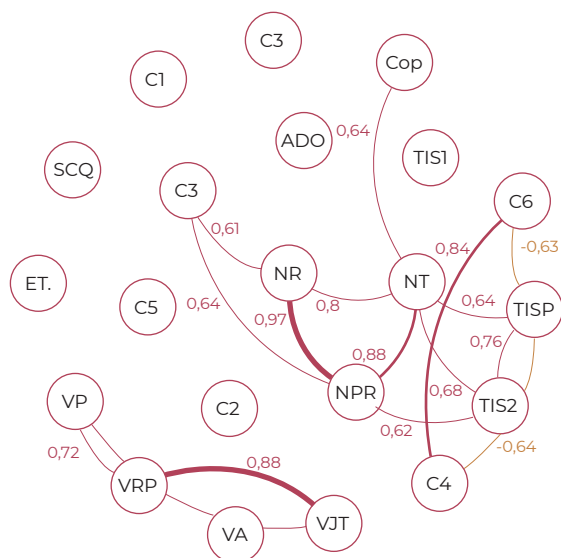


Figure 7. Réseau des corrélations entre les variables motrices, sociales et attentionnelles chez des enfants avec TSA. TIS1, TIS2, TISP : score au pré-test et au post-test test des intentions sociales ainsi que le progrès entre les deux ; ET ER : entropie des PR en condition Tick et Refrain, NPR, NT et NR : nombre de PR produits en tout, dans la condition Tick et dans la condition refrain. Tous les autres sigles figurent dans le Tableau 2.

5. Suivi à domicile

Suivi à domicile des TSA. Les tests de Kolmogorov-Smirnoff avec ajustement Benjamini-Hochberg ont montré que la fréquence de la coopération spontanée augmentait ($p = 0,04$), tandis que la fréquence de la coopération guidée et aucune coopération diminuait ($p = 0,04$ pour les deux) en fonction des semaines (*voir Figure.8*).

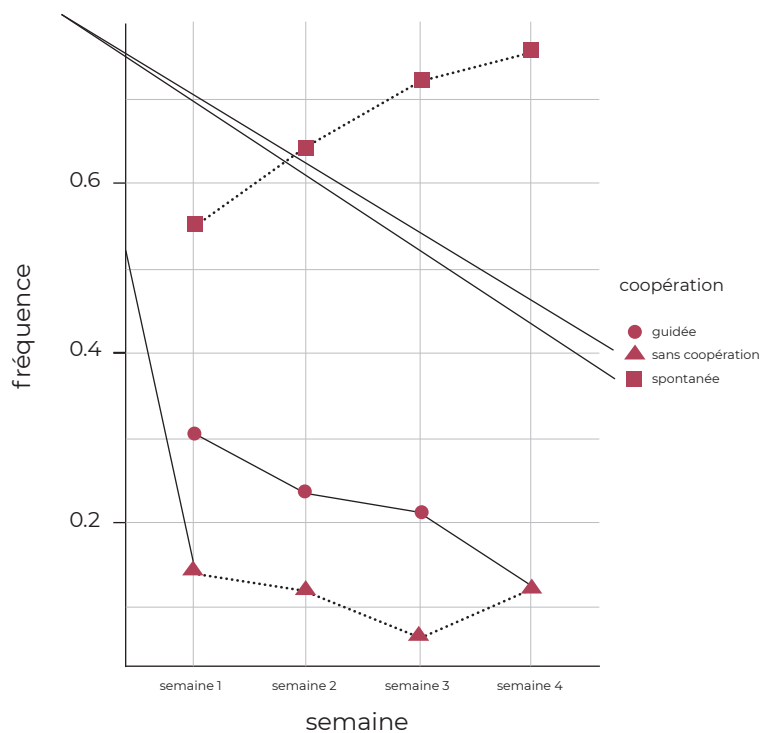


Figure 8. Fréquence des comportements suscités dans la tâche de suivi : spontanée, guidée et sans coopération.

6. Que retenir de résultats ?

- *Le progrès dans l'inférence des intentions sociales était le plus marqué chez les enfants TSA qui, initialement, présentent les meilleures compétences motrices. Il existe donc bien un impact des habilités motrices sur les habilités sociales.*
- *Bien que la stabilité et la précision de la coordination sont meilleures avec un partenaire robot, l'apprentissage de la compréhension des intentions sociales s'améliorent plus lorsque l'enfant interagit avec un partenaire humain.*
- *Les enfants TSA qui étaient les plus impliqués dans la tâche de coordination, en appuyant bien sur le bouton, et qui présentaient le moins de signes de l'impulsivité et de l'hyperactivité, progressaient plus dans leur habilité à inférer les intentions sociales de leur partenaire au post-test.*
- *A domicile, lorsque les parents appliquaient la tâche, les enfants ont de plus en plus souvent coopéré de façon spontané.*
- *Il y a donc un intérêt à réhabiliter les coordinations interpersonnelles en vue d'augmenter la participation sociale de l'enfant avec TSA. Cependant, le robot n'apporte pas de plus-value qui aurait pu motiver son usage.*



7. Evaluation de l'intervention par les parents

1. Résultats au questionnaire

Pour évaluer les résultats du questionnaire de satisfaction, nous avons étudié si le nombre de choix positifs sur l'échelle de Lickert (plutôt d'accord et tout à fait d'accord) est plus grand que le nombre de choix neutres et négatifs (je ne sais pas, plutôt pas d'accord et pas du tout d'accord).

L'évaluation par les parents des avantages de la routine figure dans le **Tableau 4**. Alors que tous les parents considèrent la routine comme facile, utile, ludique, compatible avec les activités quotidiennes, elle n'est pas jugée comme étant fiable. Les parents des enfants avec TSA estiment également que la routine est adaptée aux spécificités de l'enfant et augmente leur sentiment d'auto-efficacité.

	Qs: Quels sont les avantages (ou non) de la routine proposée	Utile	Facile	Adaptée à l'âge	Adaptée aux spécificités de l'enfant	Fiable	Applicable à une diversité de tâches
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,17	0,04	0,00	0,15	0,22	0,00
	Je ne sais pas	0,04	0,00	0,13	0,30	0,22	0,00
	Plutôt d'accord	0,57	0,48	0,30	0,40	0,57	0,35
	Tout à fait d'accord	0,22	0,48	0,57	0,15	0,00	0,65
p	0.010	< .001	< .001	0.067	0.094	< .001	
	***	***	***	ns	ns	***	
TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,14	0,00	0,14	0,14	0,36	0,08
	Je ne sais pas	0,07	0,00	0,07	0,07	0,21	0,08
	Plutôt d'accord	0,64	0,36	0,36	0,43	0,36	0,54
	Tout à fait d'accord	0,14	0,64	0,43	0,36	0,07	0,31
p	0.021	< .001	0.030	0.036	0.537	0.003	
	*	***	*	*	ns	**	

Tableau 4 (partie 1).

	Qs: Quels sont les avantages (ou non) de la routine proposée	Compatible avec habitudes quotidiennes	Ludique	Apportant une plus-value	Augmente mon sentiment d'auto-efficacité
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,05	0,00	0,05	0,22
	Je ne sais pas	0,14	0,00	0,11	0,35
	Plutôt d'accord	0,36	0,41	0,63	0,26
	Tout à fait d'accord	0,45	0,59	0,21	0,17
p	< .001 ***	< .001 ***	0.001 ***	0.126 ns	
TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,00	0,07	0,14	0,14
	Je ne sais pas	0,07	0,14	0,07	0,29
	Plutôt d'accord	0,43	0,50	0,36	0,29
	Tout à fait d'accord	0,50	0,29	0,43	0,29
p	< .001 ***	0.003 **	0.012 *	0.047 *	

Tableau 4 (partie 2)

Tableau 4. L'évaluation par les parents des avantages de la routine (ST = parents des enfants typiques, TSA : parents des enfants avec TSA, les résultats au test de Wilcoxon évaluent si la médiane des résultats est significativement supérieure à 3, correspondant à la réponse « je ne sais pas ». La valeur de p est jugée significative si elle est inférieure à 0.005. Les astérisques indiquent le résultat significatif : * à 0,05, ** à 0,01, *** à 0,001).

L'analyse par les parents des désavantages de la routine figure dans le **Tableau 5**. Il est notable que les parents estiment que la routine a bien de l'intérêt, qu'ils l'appliquaient avec plaisir, qu'ils n'ont pas eu l'impression de perdre leurs temps et qu'ils n'ont pas eu de difficultés à trouver de moment adéquat pour l'appliquer. Les parents des enfants sans TSA notent qu'ils n'ont pas eu de difficultés à trouver le texte de la chanson, contrairement aux parents avec TSA.

	Qs: Quels sont les avantages (ou non) de la routine proposée	L'impression de perdre mon temps et énergie	Trop difficile pour mon enfant	Des difficultés à trouver un texte pour la chanson	Des difficultés à trouver un moment adéquat	Aucun plaisir à appliquer	Routine sans intérêt
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,83	0,91	0,74	0,61	0,96	0,83
	Je ne sais pas	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,04
	Plutôt d'accord	0,09	0,04	0,22	0,30	0,04	0,09
	Tout à fait d'accord	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04
p	< .001 ***	< .001 ***	< .001 ***	0.025 *	< .001 ***	< .001 ***	

	Qs: Quels sont les avantages (ou non) de la routine proposée	L'impression de perdre mon temps et énergie	Trop difficile pour mon enfant	Des difficultés à trouver un texte pour la chanson	Des difficultés à trouver un moment adéquat	Aucun plaisir à appliquer	Routine sans intérêt
TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,79	0,93	0,64	0,86	0,93	0,93
	Je ne sais pas	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,07
	Plutôt d'accord	0,07	0,07	0,29	0,14	0,07	0,00
	Tout à fait d'accord	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
p	0.010	< .001	0.088	0.002	< .001	< .001	< .001
	**	***	ns	**	***	***	***

Tableau 5. L'évaluation par les parents des désavantages de la routine (ST = parents des enfants typiques, TSA : parents des enfants avec TSA, les résultats au test de Wilcoxon évaluent si la médiane des résultats est significativement inférieure à 3, correspondant à la réponse « je ne sais pas ». La valeur de p est jugée significative si elle est inférieure à 0.005. Les astérisques indiquent le résultat significatif : * à 0.05, ** à 0.01, *** à 0.001).

L'évaluation par les parents réactions des enfants par rapport à la routine figure dans le **Tableau 6**. Il apparaît que les enfants neurotypiques ont positivement réagit à la routine : ils y participaient volontiers, étaient jugés comme attentifs et coopératifs. Les parents des enfants avec TSA n'ont pas noté de réponses positives.

	Qs: Quelles étaient les réactions de votre enfant lors des routines ?	Il participait volontiers à la routine	Il voulait continuer la routine	Il était attentif pendant la routine	Il était coopératif pendant la routine	Il réussissait de mieux en mieux	Il était anxieux	Il était agacé ou opposant
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,22	0,27	0,18	0,23	0,27	0,95	0,74
	Je ne sais pas	0,00	0,05	0,00	0,05	0,27	0,05	0,09
	Plutôt d'accord	0,48	0,36	0,59	0,32	0,36	0,00	0,13
	Tout à fait d'accord	0,30	0,32	0,23	0,41	0,09	0,00	0,04
p	0.005	0.064	0.002	0.005	0.119	1.000	0.999	
	**	ns	**	**	ns	ns	ns	ns

TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,21	0,43	0,29	0,29	0,21	0,86	0,71
	Je ne sais pas	0,07	0,14	0,07	0,14	0,21	0,07	0,07
	Plutôt d'accord	0,50	0,29	0,43	0,21	0,29	0,00	0,14
	Tout à fait d'accord	0,21	0,14	0,21	0,36	0,29	0,07	0,07
p	0.091	0.611	0.156	0.121	0.127	0.998	0.970	
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tableau 6. L'évaluation par les parents réactions des enfants par rapport à la routine (ST = parents des enfants typiques, TSA : parents des enfants avec TSA, les résultats au test de Wilcoxon évaluent si la médiane des résultats est significativement supérieure à 3, correspondant à la réponse « je ne sais pas ». La valeur de p est jugée significative si elle est inférieure à 0.005. Les astérisques indiquent le résultat significatif : * à 0.05, ** à 0.01, *** à 0.001).

L'évaluation par les parents de la généralisation des bénéfices de la routine figure dans le **Tableau 7**. La routine ne procure pas de bénéfices généralisables à d'autres activités que la tâche à laquelle elle est appliquée.

	Qs: Est-ce que la routine a eu un impact bénéfique sur des situations se présentant en dehors de la routine ?	Diminution des comportements non désirables	Augmentation des comportements désirables	L'enfant est devenu plus coopératif	L'enfant est devenu plus complice	L'enfant est devenu plus autonome	L'enfant est devenu plus attentif	L'enfant apprend plus facilement
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,52	0,30	0,26	0,35	0,30	0,39	0,35
	Je ne sais pas	0,22	0,22	0,13	0,26	0,17	0,30	0,30
	Plutôt d'accord	0,17	0,35	0,48	0,30	0,39	0,22	0,26
	Tout à fait d'accord	0,09	0,13	0,13	0,09	0,13	0,09	0,09
p		0.881	0.205	0.075	0.440	0.165	0.649	0.511
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,36	0,29	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	Je ne sais pas	0,43	0,29	0,29	0,36	0,36	0,43	0,50
	Plutôt d'accord	0,07	0,36	0,50	0,43	0,36	0,36	0,36
	Tout à fait d'accord	0,14	0,07	0,07	0,07	0,14	0,07	0,00
p		0.586	0.458	0.080	0.118	0.099	0.170	0.294
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tableau 7. L'évaluation par les parents de la généralisation des bénéfices de la routine (ST = parents des enfants typiques, TSA : parents des enfants avec TSA, les résultats au test de Wilcoxon évaluent si la médiane des résultats est significativement supérieure à 3, correspondant à la réponse « je ne sais pas ». La valeur de p est jugée significative si elle est inférieure à 0.005. Les astérisques indiquent le résultat significatif : * à 0.05, ** à 0.01, *** à 0.001).

L'évaluation par les parents de la généralisation des espoirs placés dans la routine figure dans le **Tableau 8**. Alors que tous les parents estiment qu'ils vont recommander la routine à leur entourage, seuls les parents des enfants neurotypiques sont majoritaires à penser qu'ils vont continuer à appliquer la routine dans le futur. Ce sont également les parents des enfants neurotypiques qui ont changé leur regard sur la routine : alors qu'ils n'y plaçaient pas d'espoirs avant l'application, pendant l'application ils la jugeaient comme efficace.

	Qs: Est-ce que la routine a eu un impact bénéfique sur des situations se présentant en dehors de la routine ?	Avant toute explication, j'espérais qu'on me propose une routine efficace	Pendant la période de l'application de la routine, j'estimais qu'elle était efficace	Je pense continuer à utiliser la routine après cette expérience	Je pense recommander la routine à mon entourage
ST	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,26	0,09	0,17	0,13
	Je ne sais pas	0,26	0,13	0,04	0,13
	Plutôt d'accord	0,30	0,48	0,35	0,39
	Tout à fait d'accord	0,17	0,30	0,43	0,35
p		0.103	0.001	0.002	0.003
		ns	***	**	**

TSA	Pas du tout d'accord	0,00	0,00	0,00	0,00
	Plutôt pas d'accord	0,38	0,21	0,21	0,07
	Je ne sais pas	0,15	0,07	0,07	0,29
	Plutôt d'accord	0,23	0,43	0,36	0,29
	Tout à fait d'accord	0,23	0,29	0,36	0,36
p		0.357	0.075	0.061	0.006
		ns	ns	ns	**

Tableau 8. L'évaluation par les parents des espoirs placés dans la routine (ST = parents des enfants typiques, TSA : parents des enfants avec TSA, les résultats au test de Wilcoxon évaluent si la médiane des résultats est significativement supérieure à 3, correspondant à la réponse « je ne sais pas ». La valeur de p est jugée significative si elle est inférieure à 0.005. Les astérisques indiquent le résultat significatif : * à 0.05, ** à 0.01, *** à 0.001).

Finalement, nous avons analysé les corrélations entre les réponses des parents aux questions et le niveau intellectuel, attentionnel et social de leur enfant : aucun lien n'a été mis en évidence (**Figure 9**). Le jugement de la procédure de coordination-coopération n'est pas lié aux habilités des enfants.

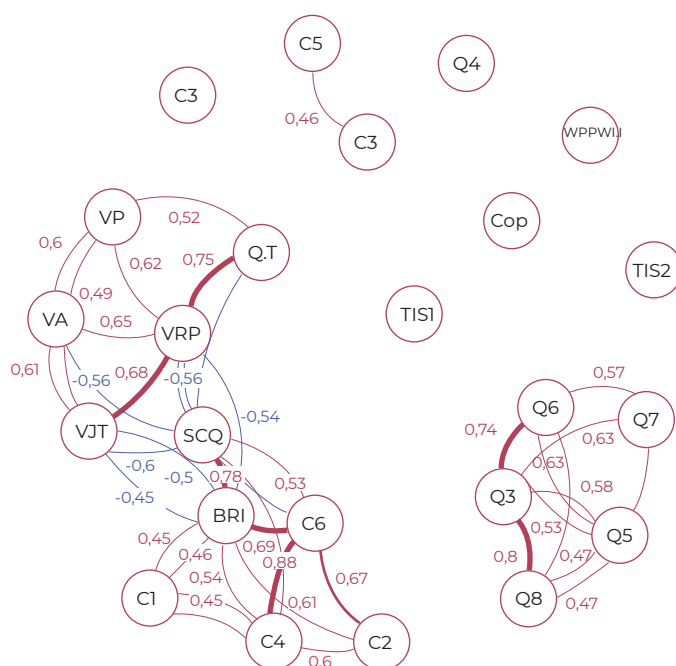


Figure 9. Réseau de corrélations entre les variables intellectuelles, attentionnelles et sociales et les réponses au questionnaire de satisfaction (Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8), ainsi qu'au pré-test et post-test des intentions sociales (TIS1 et TIS2) et la tâche de coopération (Cop). Tous les autres sigles, illustrant les tests psychométriques, sont inclus dans la figure 7. Les corrélations positives sont en rouge, négatives en bleu.

2. Que retenir des résultats du questionnaire

- *La routine est majoritairement jugée comme facile, utile, efficace, ludique, compatible avec les activités quotidiennes, les parents qui l'appliquaient n'avaient pas l'impression de perdre leurs temps et leur énergie.*
- *Cependant, la routine n'est pas jugée comme étant fiable. De plus, des réactions positives à la routine, telles que l'augmentation de la coopérativité ou de l'attention, ont été noté uniquement par les parents des enfants neurotypiques. Ce sont seulement des parents des enfants sans TSA qui pensent l'utiliser dans le futur.*
- *La routine n'a pas d'effets généralisables à d'autres activités que la tâche à laquelle elle est appliquée.*

VIII. Recommandations au regard des résultats

Il est possible d'utiliser la procédure de coordination-coopération comme une technique de rééducation car elle est efficace mais à condition qu'elle soit menée par un co-acteur humain et non par un robot. Ceci implique que la procédure peut être applicable par tous les thérapeutes sans nécessité la présence du robot. De plus le lien entre les habilités sociales et les habilités motrices des enfants et leur progression au test des intentions sociales montre l'intérêt à réhabiliter les coordinations interpersonnelles en vue d'augmenter les habiletés sociales c'est-à-dire d'agir sur la motricité de l'enfant à travers des exercices de coordination afin d'agir sur la coopération sociale.

Les acteurs de terrain pourraient donc s'appuyer sur la théorie motrice de l'apprentissage (brochure 1) et sur la méthode d'intervention proposée (brochure 2) pour intégrer cette procédure à leurs séances. Les parents n'ont pas le rôle d'éducateur de leur enfant mais il participe avec leur enfant à une activité ludique ce qui est moins vécu comme une charge (livret).

IX. Supports d'application

Support d'application 1 prévu :

Contenu :	Dispositif d'e-learning : Vidéo décrivant la méthode d'intervention proposée (avec et sans assistance robotique)
Format du support	Document vidéo
Prestataires de services techniques	DTICE
Langue d'élaboration	Français
Sera traduit-en	
Type de Public cible	Éducateurs, thérapeutes, parents
Canaux de diffusion	Diffusion libre : pages-web du CERPPS, site FIRAH

Réalisation : Une vidéo de 13 minutes «Le robot Nao améliore-t-il les habiletés sociales des enfants autistes ?» a été réalisée reprenant quelques concepts théoriques et la méthode d'intervention telle qu'elle a été proposée avec le robot Nao. Les résultats de l'étude montrent que les progressions des enfants avec TSA sont plus importantes lorsque l'intervention est proposée avec un partenaire humain qu'avec le robot Nao comme partenaire. Ce résultat est encourageant car il permet de voir qu'une tâche réalisée de manière synchrone avec un partenaire humain permet de mobiliser l'attention de l'enfant, d'avoir une plus grande motivation et une meilleure participation sociale. En revanche les résultats ne montrent pas d'intérêt d'utiliser le robot à des fins rééducatives. La vidéo est en libre accès sur le site web sur laboratoire CERPPS. Elle sera également disponible sur le site Firah.

Support d'application 2 prévu :

Ce support a été modifié avec accord avec Firah suite aux contraintes relatives au Covid-19

Contenu:	Dispositif vidéo : Témoignage des familles sur le vécu de la technique synchronisation-coordination
Format du support	Vidéos
Prestataires de services techniques	DTICE
Langue d'élaboration	Français
Sera traduit-en	
Type de Public cible	Large public
Canaux de diffusion	Diffusion libre : YouTube, pages-web du CERPPS

Réalisation : Un livret à destination des professionnels et des familles a été réalisé. Ce dernier intitulé « Comment se synchroniser pour mieux participer aux activités quotidiennes » reprend des notions théoriques, une procédure d'application d'exercices dans le quotidien et des témoignages de familles et professionnels qui ont participé. Ce livret sera diffusé auprès des familles qui ont participé mais également des professionnels et associations de la région. De plus il sera mis en libre accès sur le site du laboratoire CERPPS.

Support d'application 3 prévu :

Contenu:	Brochures et posters : Méthode d'intervention évaluée dans cette étude, les résultats qui la corroborent (ou pas), avec introduction théorique portant sur la théorie Motrice de TSA et l'efficacité (ou non) de l'assistance par la robotique.
Format du support	Papier
Prestataires de services techniques	Imprimeur
Langue d'élaboration	Français
Sera traduit-en	Anglais
Type de Public cible	Associations nationales (ARAPI, Autisme France, ...)et régionales (Autisme Midi-Pyrénées, Sésame Autisme, CAPTED), CRA, cabinets des thérapeutes
Canaux de diffusion	Diffusion libre : envoi aux participants et aux thérapeutes

Réalisation : 3 brochures et 3 posters ont été réalisés en langue française car il ne nous a pas semblé pertinent de le fournir en langue anglaise vu que sa diffusion est prévue après des parents, associations et thérapeutes en France.

- Brochure et poster 1 : « L'assistance par la robotique : La robotique au service des personnes avec TSA ».
- Brochure et poster 2 : « Méthode d'intervention assistée par la robotique auprès d'enfants avec TSA ».
- Brochure et poster 3 : « La Théorie Motrice de l'Autisme »

Ces brochures et posters seront disponibles en ligne sur le site CERPPS et FIRAH.

Support d'application 4 prévu :

Contenu:	Conférences et formations : Théorie Motrice de TSA, modes d'intervention qui s'en inspirent, efficacité (ou non) de l'assistance par la robotique, résultats expérimentaux associés, présentation de notre intervention (si efficace)
Format du support	Présentation power-point, présentation orale, brochure récapitulative
Prestataires de services techniques	Imprimeur
Langue d'élaboration	Français
Sera traduit-en	Aucun
Type de Public cible	Centres de formation reconnus (Format différence, CERESA, EDI Formation) et des associations des parents (ex : ARAPI, Sésame Autisme, Autisme France)
Canaux de diffusion	Enseignement en présentiel

Réalisation : Nos résultats ont déjà été diffusé à travers deux conférences :

- La coordination motrice avec le robot NAO favorise-t-elle la compréhension des intentions sociales des enfants autistes. Société de PsychoPhysiologie et Neurosciences cognitives, 12 et 13 décembre 2019, Hôpital Purpan, TOULOUSE.
- Coordination motrice et compréhension des intentions sociales des enfants autistes. Séminaire du laboratoire CERPPS septembre 2019.

D'autres intervention sont prévues comme une soumission pour une communication à AFTCC en décembre 2020. Des articles sont en cours de rédactions et nécessitent une publication avant diffusion des résultats.

Support d'application 5 prévu :

Contenu :	Cours magistraux : Théorie Motrice de TSA, modes d'intervention qui s'en inspirent, efficacité (ou non) de l'assistance par la robotique, résultats expérimentaux associés, présentation de notre intervention (si efficace)
Format du support	Présentation power-point, présentation orale,
Prestataires de services techniques	Aucun
Langue d'élaboration	Français
Sera traduit-en	Aucun
Type de Public cible	Etudiants en psychologie (Université de Toulouse)
Canaux de diffusion	Enseignement en présentiel

Réalisation : Une introduction aux théories motrices de TSA a été présentée en CM dans le cadre de l'enseignement en de Master 2 Professionnel Autisme et autres troubles neuro-développementaux en décembre 2018 et novembre 2019. Cet enseignement sera reconduit en 2020 et les résultats finaux de l'étude y seront ajoutés.

X. Evaluation résultats - objectifs

L'objectif initial du projet consistait à rééduquer les spécificités sociales des enfants TSA en se servant des coordinations motrices comme facilitateurs et de l'assistance par la robotique. Il s'agissait, plus spécifiquement, (1) tester si la tâche de coordination-coopération améliore la compréhension des intentions sociales et (2) de tester l'efficacité de la rééducation assistée par le robot Nao. De surcroit, (3) nous espérons que la tâche de coordination-coopération, appliquée à domicile par les parents, produit un impact positif sur les enfants.

- La comparaison des scores obtenus au test des intentions sociales appliqués avant et après la tâche de coordination a mise en évidence que cette dernière produit un effet bénéfique : les scores ont augmenté entre le pré-test et le post test. Nous avons également démontré l'association positive entre l'implication de l'enfant avec TSA dans la tâche de coordination et le progrès au test des intentions sociales. Notre premier objectif a été bien atteint.
- La comparaison du groupe assisté par l'humain et par le robot pendant la tâche de coordination-coopération a montré que le groupe ayant interagit avec l'humain a fait plus de progrès au test de la compréhension des intentions sociales. Ce résultat, qui va à l'encontre de nos hypothèses, n'est pas en lui-même négatif : il implique que les éducatrices n'ont pas à investir dans la robotique afin de faire progresser les enfants au niveau de la compréhension des intentions sociales. Nous estimons que notre objectif a été atteint, avec un résultat différent que celui que nous avons envisagé.
- Selon l'évaluation par la majorité des parents, la tâche de coordination-coopération appliquée à domicile présente des nombreux avantages, ne présente pas de désavantages, mais les bénéfices ne se généralisent pas hors la situation de l'application de la routine. Bien que tous les parents pensent en parler à leur entourage, seuls les parents des enfants typiques pensent continuer à l'appliquer. Pour les parents des enfants TSA, la tâche de coordination-coopération n'a pas d'effets suffisamment massifs pour continuer à l'appliquer à domicile. Notre troisième objectif n'a pas été atteint.

Nos résultats ne se limitent pas à des constatations mais sont susceptibles d'apporter aussi des recommandations, des solutions et des outils concrets et opérationnels pour impulser du changement.

- Dans l'état actuel des connaissances présents, nous pouvons donc recommander aux parents et aux éducateurs d'éviter d'investir dans des robots sociaux. La robotique sociale doit encore évoluer et faire preuve de son utilité clinique. Ceci n'exclut pas la participation à des recherches qui testent les interventions assistées par la robotique : sans cette participation aucune avancée n'est possible.
- Nous pouvons conseiller aux acteurs de terrain de tenter d'utiliser notre routine dans le but de favoriser la coopération de l'enfant dans la tâche en cours. Nous invitons néanmoins les intervenants d'être vigilant dans l'observation de résultats qu'elle apporte : jugée ludique et utile, elle n'a pas encore fait preuve de fiabilité pour tous. Nous soulignons également que les parents ne doivent pas hésiter à modifier cette routine en fonction des spécificités de leurs enfant.

XI. Conclusion

Dans le présent projet, nous avons testé l'effet d'une intervention assistée par la robotique et dédiée à l'apprentissage de la compréhension des intentions sociales chez l'enfant avec TSA. Les enfants étaient soumis à une tâche de coordination-coopération, où ils devaient d'abord coordonner leurs mouvements avec le partenaire social (humain ou robot) puis réponse à une sollicitation implicite formulée par celui-ci. L'effet de cette intervention a été testé au moyen d'un test de la compréhension des intentions sociales, appliqué avant et après l'intervention. Les résultats ont montré que l'intervention fait progresser les enfants lorsqu'elle est appliquée par le partenaire humain et non pas par le partenaire robot. Cette intervention, appliquée par les parents à domicile pendant quatre semaines, a été jugée comme facile, ludique et utile, les parents n'avaient pas l'impression de perdre leurs temps en l'appliquant. Cependant elle n'a pas été jugée comme fiable et seuls les parents des enfants typiques pensent continuer à l'appliquer.

XII. Bibliographie

Baghdadli, A., & Brisot-Dubois, J. (2011). *Entrainement Aux Habiletés Sociales Appliqué à L'autisme*. Elsevier Health Sciences France.

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). *Does the autistic child have a «theory of mind»?* Cognition, 21(1), 37–46.

Baron-Cohen, Simon. (1997). *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*. MIT.

Begum, M., Serna, R. W., & Yanco, H. A. (2016). *Are Robots Ready to Deliver Autism Interventions? A Comprehensive Review*. International Journal of Social Robotics, 8(2), 157–181. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0346-y>

Bellagamba, F., & Tomasello, M. (1999). *Re-enacting intended acts: Comparing 12-and 18-month-olds*. Infant behavior and development, 22(2), 277-282.

Cabibihan, J.-J., Javed, H., Ang, M., & Aljunied, S. M. (2013). *Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism*. International Journal of Social Robotics, 5(4), 593–618. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0202-2>

Carpenter, M., Akhtar, N., & Tomasello, M. (1998). *Fourteen-through 18-month-old infants differentially imitate intentional and accidental actions*. Infant behavior and development, 21(2), 315-330.

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>

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.

Cook, J. (2016). *From movement kinematics to social cognition: The case of autism*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371(1693), 20150372. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0372>

Dautenhahn, K. (1999). *Robots as Social Actors: AURORA and The Case of Autism*.

Diehl, J. J., Schmitt, L. M., Villano, M., & Crowell, C. R. (2012). *The clinical use of robots for individuals with Autism Spectrum Disorders: A critical review*. Research in Autism Spectrum Disorders, 6(1), 249–262. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.05.006>

Donnellan, A. M., Hill, D. A., & Leary, M. R. (2013). *Rethinking autism: Implications of sensory and movement differences for understanding and support*. Frontiers in Integrative Neuroscience, 6. <https://doi.org/10.3389/fnint.2012.00124>

Dziuk, M. A., Gidley Larson, J. C., Apostu, A., Mahone, E. M., Denckla, M. B., & Mostofsky, S. H. (2007). *Dyspraxia in autism: Association with motor, social, and communicative deficits*. Developmental Medicine and Child Neurology, 49(10), 734–739. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00734.x>

Emanuel, R., & Weir, S. (1976). *Using LOGO to catalyse communication in an autistic child*. AISB'76 Proceedings of the 2nd Summer Conference on Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour, 118–129.

Feil-Seifer, D., & Matarić, M. J. (2009). *Toward Socially Assistive Robotics for Augmenting Interventions for Children with Autism Spectrum Disorders*. In O. Khatib, V. Kumar, & G. J. Pappas (Ac. Di), Experimental

Robotics (Vol. 54, pagg. 201–210). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00196-3_24

Fong, T., Nourbakhsh, I., & Dautenhahn, K. (2002). *A Survey of Socially Interactive Robots: Concepts, Design, and Applications*. Technical Report CMU-RI-TR-02-29.

Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). *Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-0981-3>

Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach To Visual Perception*. Routledge. <http://www.tandfebooks.com/isbn/9780203767764>

Glazebrook, C. M., Elliott, D., & Lyons, J. (2006). *A kinematic analysis of how young adults with and without autism plan and control goal-directed movements*. *Motor Control*, 10(3), 244–264.

Hilton, C. L., Zhang, Y., Whilte, M. R., Klohr, C. L., & Constantino, J. (2012). *Motor impairment in sibling pairs concordant and discordant for autism spectrum disorders*. *Autism*, 16(4), 430–441. <https://doi.org/10.1177/1362361311423018>

Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). *The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning*. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(05), 849–878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>

Huijnen, C. A. G. J., Lexis, M. A. S., Jansens, R., & de Witte, L. P. (2016). *Mapping Robots to Therapy and Educational Objectives for Children with Autism Spectrum Disorder*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(6), 2100–2114. <https://doi.org/10.1007/s10803-016-2740-6>

Iacoboni, M., Koski, L. M., Brass, M., Bekkering, H., Woods, R. P., Dubeau, M. C., ... & Rizzolatti, G. (2001). *Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(24), 13995–13999.

Iarocci, G., & McDonald, J. (2006). *Sensory Integration and the Perceptual Experience of Persons with Autism*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 77–90. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0044-3>

Kanner, L. (1943). *Autistic disturbances of affective contact*. *Acta Paedopsychiatrica*, 35(4), 100–136.

Kaur, M., M. Srinivasan, S., & N. Bhat, A. (2018). *Comparing motor performance, praxis, coordination, and interpersonal synchrony between children with and without Autism Spectrum Disorder (ASD)*. *Research in Developmental Disabilities*, 72, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.10.025>

Kedar, I. (2012). *Ido in Autismland: Climbing out of Autism's silent prison*.

Iacoboni, M., Koski, L. M., Brass, M., Bekkering, H., Woods, R. P., Dubeau, M. C., ... & Rizzolatti, G. (2001). *Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(24), 13995–13999.

Leary, M. R., & Hill, D. A. (1996). *Moving on: Autism and movement disturbance*. *Mental Retardation*, 34(1), 39–53.

Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). *The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1430), 393–403. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1205>

- Meltzoff, A. N. (1995). *Understanding the intentions of others: Re-enactment of intended acts by 18-month-old children*. *Developmental Psychology*, 31(5), 838–850. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.31.5.838>
- Milton, D. E. M., Heasman, B., & Sheppard, E. (2018). *Double Empathy*. In F. R. Volkmar (A. c. Di), *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders* (pagg. 1–8). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6435-8_102273-1
- Miyahara, M., Tsujii, M., Hori, M., Nakanishi, K., Kageyama, H., & Sugiyama, T. (1997). *Brief report: Motor incoordination in children with Asperger syndrome and learning disabilities*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 27(5), 595–603.
- Mottron, L. (2004). *L'autisme, une autre intelligence: Diagnostic, cognition et support des personnes autistes sans déficience intellectuelle*. Mardaga.
- Pennisi, P., Tonacci, A., Tartarisco, G., Billeci, L., Ruta, L., Gangemi, S., & Pioggia, G. (2016). *Autism and social robotics: A systematic review: Autism and social robotics*. *Autism Research*, 9(2), 165–183. <https://doi.org/10.1002/aur.1527>
- Peters-Scheffer, N., Didden, R., Korzilius, H., & Verhoeven, L. (2018). *Understanding of intentions in children with autism spectrum disorder and intellectual disability*. *Advances in Neurodevelopmental Disorders*, 2(1), 3-15.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). *Does the chimpanzee have a theory of mind?* *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 515–526. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512>
- Prescott, T. J., Diamond, M. E., & Wing, A. M. (2011). *Active touch sensing*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1581), 2989–2995. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0167>
- Ricks, D. J., & Colton, M. B. (2010). *Trends and considerations in robot-assisted autism therapy*. 4354–4359. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509327>
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). *THE MIRROR-NEURON SYSTEM*. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>
- Schmitz, C., Martineau, J., Barthélémy, C., & Assaiante, C. (2003). *Motor control and children with autism: Deficit of anticipatory function?* *Neuroscience Letters*, 348(1), 17–20.
- Simut, R. E., Vanderfaeillie, J., Peca, A., Van de Perre, G., & Vanderborght, B. (2016). *Children with Autism Spectrum Disorders Make a Fruit Salad with Probo, the Social Robot: An Interaction Study*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(1), 113–126. <https://doi.org/10.1007/s10803-015-2556-9>
- So, W.-C., Wong, M. K.-Y., Lam, W.-Y., Cheng, C.-H., Ku, S.-Y., Lam, K.-Y., Huang, Y., & Wong, W.-L. (2019). *Who is a better teacher for children with autism? Comparison of learning outcomes between robot-based and human-based interventions in gestural production and recognition*. *Research in Developmental Disabilities*, 86, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2019.01.002>
- Sutera, S., Pandey, J., Esser, E. L., Rosenthal, M. A., Wilson, L. B., Barton, M., Green, J., Hodgson, S., Robins, D. L., Dumont-Mathieu, T., & Fein, D. (2007). *Predictors of Optimal Outcome in Toddlers Diagnosed with Autism Spectrum Disorders*. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(1), 98–107. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0340-6>
- Vanvuchelen, M., Roeyers, H., & De Weerd, W. (2007). *Nature of motor imitation problems in school-aged boys with autism: A motor or a cognitive problem?* *Autism*, 11(3), 225–240. <https://doi.org/10.1177/1362361307076846>

Warneken, F., & Tomasello, M. (2006). *Altruistic Helping in Human Infants and Young Chimpanzees*. *Science*, 311(5765), 1301–1303. <https://doi.org/10.1126/science.1121448>

Williams, C., Prud'Homme, M. H., & Wright, J. B. D. (2010). *Vivre avec le trouble du spectre de l'autisme: stratégies pour les parents et les professionnels*. Chenelière Éducation.

Zalla, T., Bouchilloux, N., Labruyere, N., Georgieff, N., Bougerol, T., & Franck, N. (2006). *Impairment in event sequencing in disorganised and non-disorganised patients with schizophrenia*. *Brain research bulletin*, 68(4), 195-202.

ANNEXE I

La liste de l'ensemble des supports d'application (avec une description de chacun d'eux et en précisant comment y accéder sur internet).

- **Une vidéo de 13 minutes** : « Le robot Nao améliore-t-il les habiletés sociales des enfants autistes ? ». Présentation de concepts théoriques et de la méthode d'intervention coopération/coordination proposée avec le robot Nao.
- **Livret** : « Comment se synchroniser pour mieux participer aux activités quotidiennes ». Présentation des notions théoriques, procédure d'application d'exercices au quotidien et des témoignages de familles et professionnels.
- **Brochure et poster 1** : « L'assistance par la robotique : La robotique au service des personnes avec TSA ».
- **Brochure et poster 2** : « Méthode d'intervention assistée par la robotique auprès d'enfants avec TSA ».
- **Brochure et poster 3** : « La Théorie Motrice de l'Autisme ».

La vidéo, le livret, les brochures et les posters sont disponibles en ligne sur les sites :

<https://cerpps.univ-tlse2.fr/resultats/>

<https://www.firah.org/fr/coordination-et-habilites-sociales-chez-l-enfant-porteur-du-trouble-du-spectre-de-l-autisme.html>

Pour en savoir plus :

<https://cerpps.univ-tlse2.fr/resultats/>

<https://www.firah.org/fr/coordination-et-habilites-sociales-chez-l-enfant-porteur-du-trouble-du-spectre-de-l-autisme.html>