

PROJET  
**MiMETIC**

# SYNTHESE SCIENTIFIQUE

**LOGICIEL POUR L'ENTRAINEMENT  
COMBINE A L'INTERACTION SOCIALE  
COLLABORATIVE ET A L'APPRENTISSAGE  
MOTEUR DANS LE TROUBLE  
DU SPECTRE DE L'AUTISME**

**Centre TEDyBEAR pour  
enfants avec TSA :**

Jacqueline NADEL

**LIMSI-CNRS :**

Jean-Claude MARTIN

Travail réalisé par :

Un projet lauréat de l'Appel à projets  
« Autisme et Nouvelles Technologies »,  
coordonné par la FIRAH et soutenu par  
La Fondation UEFA pour l'enfance et la Fondation Orange



## Introduction

L'étude de la collaboration motrice a ceci d'intéressant qu'elle permet de relier deux domaines scientifiques qui sont généralement traités séparément: la motricité et l'interaction sociale. Cette coupure est particulièrement effective dans le domaine du trouble neurodéveloppemental de type trouble du spectre de l'autisme (TSA). Pendant longtemps, le dysfonctionnement des interactions sociales et de la communication, considéré trouble cardinal (APA, 2013), a été la cible quasi exclusive des recherches développementales et neurodéveloppementales dans le TSA. On a démontré le déficit en attention conjointe (Baird et al., 2000 ; Mundy, Sigman & Kasari, 1990) et utilisé cet indice dans le dépistage précoce (Baron-Cohen et al., 1992). On a mis en évidence les retards et particularités du langage, les anomalies du regard (Han, Tijus & Nadel, 2014; Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006) et le dysfonctionnement des interactions sociales, en particulier émotionnelles (Dawson, Webb, & McPartland, 2005) .Les déficits dans le domaine de l'imitation ont été et restent plus discutés, au plan comportemental (Smith & Bryson, 1994 ; Nadel, 2016) comme à celui des activations cérébrales (Dumas, Soussignan, Hugueville, Martinerie & Nadel, 2014; Hamilton, Bradley, & Frith, 2007) .

Les nouvelles technologies n'ont pas échappé à cette prédominance d'intérêt pour les aspects sociaux du TSA, orientant leurs créations vers des logiciels destinés à proposer des supports aux difficultés sociales. Ainsi est née la robotique sociale (Billard, Robins, Nadel & Dautenhahn, 2006 ; Dautenhahn et al., 2009 ; Joubert, 2014) et l'informatique affective (Picard, 1997). L'utilisation des agents virtuels comme partenaires d'interaction a connu un rapide essor à partir de 2014 (Bernardini, Porayska-Pomsta, & Smith, 2014 ; Grynszpan & Nadel, 2015 ; Lorenzo, Ledo, Pomares & Roig, 2016 ; Martin, 2018 ; Tartaro, Cassell, Ratz, Lira, & Nanclares-Nogués, 2014). Les agents virtuels ont été également développés pour entraîner la communication affective (Serret et al., 2014 ), et l'attention conjointe (Courgeon, Rautureau, Martin & Grynszpan, 2014). Dans leurs revues de 40 applications destinées à entraîner socialement des enfants avec TSA, DiGennaro Reed, Hyman et Hirst notent en ordre décroissant d'utilisation : l'initiation d'une conversation, le jeu, les conventions sociales, la réponse aux autres, les comportements non-verbaux, la résolution de problème, la régulation émotionnelle et les relations amicales (DiGennaro Reed, Hyman, & Hirst, 2011).

Depuis quelques années, les recherches prospectives ont montré la précocité et le caractère basique des déficits moteurs dans le TSA. Ces recherches comparent le développement, entre 6 mois et 3 ans, de petits frères et sœurs d'enfants avec TSA et d'enfants sans trouble observé, sachant le caractère génétique du TSA qui rend plus probable que soient affectés des frères et sœurs. Ainsi peut-on suivre les caractéristiques du développement d'enfants dont certains seront plus tard diagnostiqués avec TSA (Bryson et al., 2007 ; Ozonoff et al., 2008 ; Rogers, 2009; Zweigenbaum et al., 2005). Ces études montrent des anomalies du développement moteur dès les premiers mois. Une méta-analyse de 51 études vient corroborer ces résultats (Fournier, Hass, Naik, Lodha et Cauraugh, 2010). La motricité devient un centre d'intérêt actif. D'autant plus si l'on considère la motricité comme la base de la socialisation (McDonald, Lord & Ulrich., 2013). De ce fait, les profonds handicaps moteurs décrits par les auteurs de la méta-analyse devraient engendrer des dysfonctionnements sociaux.

Les nouvelles technologies n'ont pas manqué de développer cet axe également, en exploitant les moyens qu'offrent les caméras de profondeur de type Kinect pour l'entraînement aux compétences motrices (Bartoli, Garzotto, Gelsomini, Oliveto, & Valoriani, 2014 ; Herera et al., 2012 ; Kourakli, Altanis, Retalis, Boloudakis, Zbainos, & Antonopoulou, 2017). Une autre opportunité exploitée réside dans l'utilisation de l'interaction tangible (parfois appelée «interface attrapable») qui consiste à équiper d'informatique un objet réel afin qu'il puisse être utilisé en interagissant avec un ordinateur via cet objet (Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995). La physicalité de ce type d'interface en fait un outil particulièrement pertinent pour les contextes sociaux et collaboratifs, permettant notamment l'engagement du corps et le partage des contrôleurs (Hornecker & Buur, 2006).

Il restait à réunir les deux domaines en proposant l'entraînement combiné de ces deux aspects majeurs du développement que sont l'interaction sociale et la motricité, via la collaboration motrice.

### **La collaboration motrice, une coordination motrice à deux**

Plusieurs termes peuvent être utilisés pour décrire les situations d'action motrice à deux : coordination motrice, interaction motrice, coopération motrice ou collaboration motrice. Collaboration motrice et coordination motrice sont souvent considérés comme synonymes et

si nous avons choisi le terme de collaboration motrice, nous n'excluons pas pour autant de nous référer aux études de coopération. Lorsqu'il s'agit de désigner la situation ou le type de tâche, le terme le plus utilisé en anglais est celui de *joint action*, que nous traduirons en français par action conjointe ou action à deux. Lorsqu'il s'agit de décrire les capacités impliquées, le terme de coordination motrice est le plus général, les autres termes servant dans les meilleurs cas à spécifier le type de coordination dont il s'agit.

Remarquons tout d'abord que le terme de coordination motrice concerne aussi bien une activité solitaire qu'une activité à deux. On peut lacer ses chaussures à deux ou les lacer tout seul. Les deux cas impliquent une coordination motrice, mais de niveau différent. Lorsque l'on pratique le laçage tout seul, ce sont nos deux mains qui se coordonnent en interne, tandis que si l'on lace à deux, il faut coordonner notre main avec la main de l'autre. Ce n'est pas sans poser des problèmes : le partenaire peut avoir des mouvements plus rapides ou plus lents que les nôtres, il peut vouloir croiser le lacet tandis que nous voulons un laçage droit, il peut commencer à faire une boucle simple alors que nous cherchons à réaliser une boucle double. Décidément pour lacer ses chaussures à deux il faut se mettre d'accord avec le partenaire, synchroniser nos rythmes, avoir un plan d'action. Ces compétences sont des variables dyadiques c'est-à-dire qu'elles s'expriment dans le cadre d'un système dynamique constitué par deux personnes. Ainsi la coordination motrice à deux est toujours sociale. Cela ne signifie pas pour autant que la performance motrice est de même nature dans tous les types de coordination. Il faut préciser.

Une recherche de Colombi et collègues (Colombi et al., 2009) incluant quatre tâches dites de coopération va nous aider en ce sens. Dans les deux premières tâches, un enfant pousse un cylindre tandis que l'autre retire l'objet qui sort du cylindre, ou l'un envoie un objet dans un tube et l'autre le récupère dans le second tube. Il y a deux rôles différents et successifs pour un objectif commun : retirer l'objet. Ici le but final se confond avec le sous-but du second enfant et les mouvements de chacun n'ont pas à être ajustés à ceux de l'autre. Si coordination il y a, elle est surtout temporelle et pas vraiment motrice. Dans la tâche 3, il faut tirer en même temps de chaque côté d'un tube pour l'ouvrir et dans la tâche 4 les deux enfants forment un trampoline en soulevant simultanément les deux bouts d'un tissu. Dans ces deux derniers cas, les mouvements des deux enfants doivent être similaires et simultanés, les sous-buts sont les mêmes pour réaliser le but final dont chacun est responsable au même titre : sans

coordination des mouvements des deux partenaires, le but ne peut être atteint. Les mouvements en sont-ils facilités ? Un cadre théorique issu de la théorie des systèmes dynamiques et appelé 'coopération incarnée' (embodied cooperation) a rassemblé des données susceptibles d'éclairer ce point.

Dans la perspective dynamique où l'on étudie les éléments physiques du mouvement et pas seulement les aspects cognitifs, les contraintes motrices seul ou à deux sont les mêmes, puisque ce sont les contraintes anatomiques. Pourtant les performances diffèrent, car à deux de nouvelles possibilités émergent (Schmidt & Richardson, 2008). Le paradigme de la 'coopération incarnée' s'est créé sur la base de l'idée que les mouvements de l'autre étendent les possibilités d'action d'un individu, de même qu'un outil offre plus de possibilités d'actions que nos mains nues : on peut parler d'affordance (Gibson, 1977). La coopération dans une action à deux est vue comme un système moteur unique avec de nouvelles capacités de synergie sociale (Marsh, Richardson, Baron, & Schmidt, 2006; Richardson, & Schmidt, 2009; Richardson, Marsh, & Baron, 2007). Par exemple le paradigme de Richardson et collègues (Richardson, Marsh, & Baron, 2007) inclut des duos qui doivent porter des planches légères mais trop longues pour être portées seules. Richardson et ses co-auteurs (Richardson et al., 2015) voient la synchronie corporelle et l'action coopérative comme une réalité sociale dyadique basée sur des patterns moteurs similaires ou complémentaires.

L'utilisation de mouvements rythmiques simples permet d'examiner la dynamique de la coordination interpersonnelle, en phase ou en antiphase (Kelso, 1995). Il y a des patterns dynamiques inclus dans l'action conjointe qui sont compétitifs, c'est-à-dire en antiphase. Dans ce cas l'objectif est individuel. C'est la différence avec les actions conjointes qui ont un objectif commun. Une étude en hyperscanning illustre bien l'effet cérébral d'une communauté d'objectif. Les mêmes duos sont soumis à deux types de procédure soit coopérative, soit compétitive. Dans la situation coopérative, ils doivent presser chacun une clé à un signal visuel. Si leurs réponses sont simultanées, ils reçoivent un point, si elles sont décalées, ils perdent un point : l'objectif commun est de gagner des points. Dans la situation compétitive, il s'agit de répondre plus vite que son partenaire pour gagner un point alors que l'autre perd un point: l'objectif est clairement individuel. L'intéressant résultat est que seule la situation de coopération induit une cohérence entre les cortex frontaux supérieurs des deux personnes

engagées dans l'action : c'est donc l'objectif commun qui rassemble les partenaires au niveau de l'organisation cérébrale (Cui, Bryant & Reiss, 2012).

L'idée que les effecteurs du corps s'autoorganisent selon la dynamique du mouvement et sont contraints à la fois par les données anatomiques et ce qu'offre l'environnement, mène à l'hypothèse d'une similitude comportementale spontanée entre participants lors d'une action motrice à deux. Ceci conduit à analyser en particulier les situations de synchronie et de similitude. Le neuro-mimétisme théorisé via les neurones miroir (Rizzolatti & Craighero, 2004) a fait progresser l'intérêt pour les bases sociales de la motricité en montrant la relation cérébrale entre observer quelqu'un faire une action et réaliser soi-même cette action. Cependant la référence à l'autre induite par l'observation de l'action reste interne à l'individu. Il faut que chacun se voie faire les mêmes actions que l'autre pour qu'il y ait effet social direct du système miroir : c'est le rôle de l'imitation synchrone (Nadel, 2016). L'imitation synchrone offre les conditions sous lesquelles un individu est au mieux capable de coordonner ses mouvements avec ceux d'un autre. Richardson et ses co-auteurs la décrivent comme partie intégrante de la coopération incarnée, dans une définition assez globale de la coopération : une coopération incarnée, disent-ils, implique que 'deux personnes parviennent à une unité d'action qui intègre les participants et l'objet commun' (Richardson et al. ,2015). Cette définition convient aussi bien pour la coopération que pour la collaboration motrice. L'unité d'action est d'autant plus simple à réaliser que l'on fait la même chose en même temps, c'est-à-dire que l'on s'imité en synchronie. Une connexion minimale se concrétise par la synchronie corporelle.

De pair avec l'imitation s'organise spontanément la synchronie : elle s'exprime au niveau cérébral par des synchronisations du rythme alpha mu dans la zone Centro pariétale du système miroir des deux partenaires durant une situation d'imitation (Dumas, Nadel, Soussignan, Martinerie & Garnero, 2010). La littérature montre que la synchronie interpersonnelle procure une base essentielle pour l'interaction sociale. Elle augmente l'affiliation sociale (Chartrand & Bargh, 1999 ; Hove & Risert, 2009). D'ailleurs elle a un effet cérébral similaire à une bouffée d'oxytocine, l'hormone de l'attachement, dans le cas de TSA (Delaveau, Arzounian, Rotgé, Nadel, & Fossati, 2015). Ainsi peut-on envisager les liens entre la réalisation d'une action motrice et le développement de l'interaction sociale positive.

## **Créer un dispositif d'entraînement de la collaboration motrice dans le TSA**

Compte-tenu de ces éléments, l'étude de la collaboration motrice dans le trouble du spectre de l'autisme, réclame une attention particulière. Tout d'abord, pour réaliser une coordination motrice à deux, encore faut-il déjà être capable de coordination motrice individuelle. Comme indiqué brièvement plus haut, une méta-analyse de 51 études nous présente un état des lieux (Fournier, Hass, Naik, Lodha et Cauraugh, 2010). Elle prend en compte pour 1238 personnes avec autisme appariées sur l'âge chronologique à 3017 personnes typiques, le temps de réaction motrice, la précision du mouvement, le taux d'adaptation, la vélocité de la locomotion, la force de pression, la stabilité de l'équilibre et les échelles motrices standard. Les résultats sont très clairs : les déficits de coordination motrice sont une caractéristique majeure sous-tendant le trouble du spectre de l'autisme, quels que soient l'âge et le niveau des personnes considérées. De ce fait, toute action de coordination motrice à deux, qu'elle soit collaborative ou coopérative, représente une difficulté particulière dans le TSA. Notre objectif étant d'ouvrir les possibilités d'entraînement à la collaboration motrice au plus grand nombre d'enfants de niveau cognitif modeste ou/et non- verbaux, le choix de la procédure s'est porté sur une tâche simple d'imitation synchrone où la planification est similaire pour les deux partenaires : déplacer ensemble un objet, en le poussant. Ce choix rencontre ce que Battocchi et collègues (Battocchi et al., 2010) appellent « le paradigme de la collaboration forcée ». Ces auteurs proposent une tâche de puzzle collaboratif au cours desquels les dyades d'enfants avec TSA doivent réaliser un puzzle de 16 pièces via une série de gestes à deux : toucher ensemble, déplacer ensemble, lâcher ensemble. Un feedback sonore indique si l'action conjointe est correcte ou non. Notre collaboration n'est pas forcée mais l'échec comme la réussite seront manifestes pour l'enfant. Notre option est de préférer un partenaire virtuel réalisant un protocole de façon à garder le caractère plaisant qui ne sanctionne pas l'erreur et nous permettre de quantifier et comparer les comportements puisque le partenaire virtuel se comporte toujours de la même façon.

Poser un tel cadre était nécessaire pour que la création du dispositif puisse se mettre en place. La tâche étant la plus simple possible puisqu'il s'agit d'imitation synchrone, il reste pour les enfants à prendre en compte et respecter la cible du déplacement choisie par l'autre (c'est-à-

dire le trajet), la précision du déplacement (c'est-à-dire l'écart physique par rapport au partenaire), la nature de ce que l'on déplace (c'est à dire l'objet), et la vitesse de déplacement (menant ou non à la synchronie).

## **Création du dispositif**

### Premier sous-but : construire un dispositif interactif reproductible

La méthode a consisté à partir des existants susceptibles de répondre aux objectifs d'interactivité humain-machine et de reproductibilité du dispositif. De ce fait, les existants retenus doivent être gratuits ou d'utilisation libre, de façon à être aisément reproductibles. La phase technique a pris en compte les réalisations existantes en intégrant des logiciels déjà disponibles, libres et/ou gratuits (Unity, Blender, Pictogram Room) donc facilement réutilisables, et les a adaptés à l'objectif. Le dispositif se compose d'une structure en aluminium supportant la fenêtre interactive (1,5m \* 1m), d'une structure en bois conçue comme une façade de mobilier et un cadre pour la fenêtre, d'un vidéoprojecteur, et d'une face arrière (0,6m de profondeur) fermée par une porte avec tout le matériel nécessaire à l'intérieur. L'appareil est stable et résiste aux coups sans aucun risque. Comme l'appareil est imposant, la façade en bois apporte une certaine familiarité et la couleur blanche de la partie supérieure de l'appareil limite sa saillance dans le champ perceptif. Une vidéo-projection à très courte portée a été choisie pour limiter les ombres pendant l'interaction. Cette phase a demandé de réaliser de la menuiserie autour de la conception informatique.

### Deuxième sous-but : adapter le système interactif aux spécificités de l'autisme

Une fois cette phase achevée, une sélection guidée par l'équipe spécialisée dans l'autisme a été réalisée pour prendre en compte les spécificités autistiques. Satisfaire aux besoins de réalisme des enfants avec TSA a impliqué d'opter pour une mixité des objets qui devaient être mi-tangibles (attrapables) et mi-virtuels.

Les objets tangibles ont été fabriqués sur mesure en EVA, une mousse de haute densité utilisée pour les jeux d'enfants et les tapis. Dans ce projet, le choix a été fait de concevoir trois objets représentant une table (en violet), un tabouret (en rouge) et une boîte (en bleu).



Chaque objet tangible tient sur la cloison car il est magnétisé à un objet jumeau situé derrière. Pour permettre aux parties avant et arrière des objets de glisser facilement tout en étant fermement attirées l'une vers l'autre, la cloison est constituée d'un matériau composite mince (4 mm d'Alu Dibond©) recouvert d'un revêtement glissant sur les deux faces (Velleda©). Des aimants de différentes puissances ont été testés pour trouver le meilleur compromis entre une forte attraction et un bon glissement.

Le choix des matériaux a été soigneux pour éviter de rencontrer des hypersensibilités perceptives ou encourager des stéréotypes, et pour assurer la sécurité des jeunes utilisateurs.

Un autre impératif de l'équipe clinique était que le système interactif soit d'utilisation intuitive pour les enfants avec TSA même non verbaux. En outre, le dispositif devait être dépouillé d'enrichissements susceptible de représenter des distracteurs d'attention. Ainsi, les personnages virtuels anthropomorphes ont été conçus sans caractéristiques et expressions faciales pour limiter la complexité sociale de la scène virtuelle. Comme l'entraînement implique d'interagir dans deux modes (un mode suiveur et un mode leader), deux personnages virtuels différents ont été conçus, différenciés l'un de l'autre par une couleur et un chapeau différent (cf. figure1). Ces différences permettent d'attribuer un rôle spécifique à un personnage identifiable. Des noms ont été donnés à chaque personnage pour les personnifier et faciliter les instructions orales pour les praticiens ("Michou" pour le personnage imitateur, "Lola" pour le personnage autonome qu'il faut imiter).



Figure 1 : a. Les deux agents virtuels. b. Séquence de mouvements en mode suiveur. c. Séquence de mouvements en mode meneur.

Les comportements non-verbaux de l'agent ont été conçus de manière à être aussi simples que possible. Lors des phases inactives, le personnage est animé d'une posture d'attente de type oscillation droite-gauche. Le personnage virtuel peut saisir un objet virtuel. Cette animation de saisie a été réalisée à l'aide d'un algorithme de cinématique inverse humanoïde. Deux modes d'interaction ont été conçus :

- Mode imitateur : L'enfant doit effectuer un scénario indiqué verbalement ou modélisé pour les enfants non-verbaux. Il doit veiller à ce que Michou le suive. La figure 1.b donne l'exemple d'un scénario : il faut déplacer avec Michou la boîte bleue de la table violette vers le tabouret rouge.
- Mode autonome à imiter : le personnage initie un mouvement avec la partie virtuelle de l'objet qui se détache visuellement de la partie tangible de l'objet. L'enfant doit suivre le mouvement du personnage vers une cible spécifique qui lui est inconnue. Si l'enfant ne suit pas l'objet virtuel d'assez près, le personnage principal libère l'objet et une animation de fumée s'affiche autour de la partie virtuelle de l'objet. Dans la figure 1.c, il faut déplacer avec Lola la boîte bleue en suivant Lola qui décide de la vitesse et du parcours.

La méthode 1 a fait l'objet d'un article accepté pour un symposium international (Giraud et al. 2021).

## **Méthode 2 : réaliser une étude d'usage auprès d'enfants témoins**

Une fois le dispositif construit, il restait à en tester l'usage non plus entre nous, adultes, mais auprès d'une population de même âge chronologique que celle de la future population avec TSA du Centre TEDyBEAR.

### **1.1 Participants**

Dix enfants- contrôle (6 garçons et 4 filles), âgés entre 4 et 10 ans ont été recrutés sur la base de leurs âges chronologiques pour réaliser des tâches de collaboration motrice avec un agent virtuel. Les âges chronologiques devaient correspondre à ceux de la population -cible avec TSA (utilisateurs finaux) car l'objectif de l'étude était d'ajuster la plate-forme à la taille et à la stature de jeunes participants. Ayant des tailles et des poids similaires à ceux des enfants

avec TSA sélectionnés, et capable d'exprimer verbalement leurs impressions, cette population-contrôle devait nous permettre de recueillir des informations essentielles à la configuration finale du dispositif, d'un point de vue physique et sensoriel. Leurs consentements ainsi que celui de leurs parents ont été recueillis comme requis par la déclaration d'Helsinki et le comité éthique de l'Université Paris Saclay.

## **1.2 Procédure**

Dès leur arrivée, les parents prenaient connaissances et signaient (s'ils le souhaitaient) un formulaire de consentement. Le formulaire, validé par le comité d'éthique d'Orsay, comportait une description de nos objectifs de recherche ainsi que des tâches demandées à leur enfant. Une attention particulière a été portée à la compréhension par les parents et les enfants que ce n'était pas l'enfant qui était testé mais le dispositif. Les enfants étaient encouragés à exprimer leurs impressions, bonnes et/ou mauvaises, à tout moment. L'enfant réalisait les tâches, guidé par un expérimentateur, pendant que deux autres expérimentateurs restaient en tant qu'observateurs, les parents restant présent dans la pièce. La tâche durait environ 15 minutes. L'enfant devait réaliser une série de déplacements d'objets mixtes dans 3 conditions différentes : sans agent, avec l'agent suiveur et avec l'agent meneur. Ces mouvements étaient :

- Déplacer la boîte bleue depuis le sol vers le dessus du tabouret rouge
- Déplacer la boîte bleue depuis le dessus du tabouret rouge vers le dessus de la table violette
- Déplacer la boîte bleue depuis le dessus de la table violette vers le dessus du tabouret rouge
- Déplacer la boîte bleue depuis le dessus du tabouret rouge vers le sol

La réalisation de la tâche était suivie d'une interview semi-structurée d'une durée de 20 minutes. L'interview portait sur l'appréciation du dispositif, la compréhension de la fenêtre réelle-virtuelle, l'interaction avec les objets et la cloison et enfin sur la collaboration motrice avec les agents virtuels. Les parents pouvaient intervenir pour reformuler et clarifier les questions, si besoin.

Nos propres observations durant cette étude ont conduit à plusieurs adaptations du système. Tout d'abord il fallait concevoir 3 tailles différentes d'agents, de façon à les rendre adaptables à la taille de chaque participant/e (dorénavant, avant le début de la tâche, on indique la taille de l'enfant, ce qui se traduit par le choix automatique d'une taille d'agent). Ensuite, il fallait adapter la hauteur minimale de l'étagère du bas : les enfants les plus grands ont eu des difficultés à déplacer l'objet lorsqu'il était bas. Nous avons donc conçu une étagère ajustable permettant de régler la hauteur minimale de la zone d'interaction.

Autre observation qui nous a conduit à révision, tous les enfants ont spontanément détaché l'objet de la paroi la première fois. Il est apparu que faire glisser l'objet le long de la paroi au lieu de le prendre, n'est pas intuitif. Les enfants ont ainsi dû s'adapter et cette adaptation a pris plus ou moins de temps (certains l'ont assimilé immédiatement lors du 2ème essai, d'autres ont eu besoin de 5 minutes). Toutefois, lorsque les enfants détachaient de façon accidentelle l'objet réel de la partie virtuelle, ils comprenaient comment le remettre.

Nous avons revu la force des aimants de façon à rendre le glissement plus facile, mais pas trop afin de conserver l'impression d'objet lourd liée à la résistance. Nous avons ainsi compris qu'une phase d'exercice préalable était nécessaire pour apprendre à faire glisser l'objet.

Les autres ajustements sont venus des interviews. L'ensemble des enfants ont perçu que l'espace virtuel se trouvait "en face d'eux". Aucune remarque négative n'est apparue sur la qualité de l'affichage ou sur d'éventuelles difficultés à percevoir le monde virtuel.

Au regard des réponses, il est apparu clairement que déplacer un objet selon un plan en deux dimensions n'est pas naturel pour un enfant et qu'il est plus pertinent de faire référence au mouvement comme à un glissement plutôt que comme à un déplacement ou un mouvement. Lorsque nous leur avons demandé de décrire l'interaction, les enfants ont répondu qu'ils avaient déplacé l'objet avec Lola ou Michou, leur prêtant ainsi une personnalité. Le mouvement de saisie de l'objet virtuel par l'agent a déclenché à plusieurs reprises un mouvement de saisie de l'objet réel chez certains enfants. Cependant deux enfants ont décrit la tâche à réaliser avec Lola (l'agent meneur) comme un déplacement 'en même temps', c'est-à-dire plutôt comme une action en parallèle que comme une collaboration motrice. Nous retiendrons de ces cas que la tâche peut être comprise comme une tâche motrice et non comme une tâche de collaboration motrice.

Dans un article soumis, la méthode 2 a été insérée dans la présentation de la méthode 1.

### **Méthode 3 : tester l'efficacité du dispositif pour exercer la collaboration motrice d'enfants avec TSA**

La troisième méthode comporte deux axes. Le premier axe est normatif et fournit des résultats globaux dont on verra les limites. Le deuxième axe correspond à une étude de type *evidence-based* où chaque sujet est son propre contrôle et les différents scénarios qu'il a réalisés sont la population d'étude. Ce cadre méthodologique de suivi individuel nous permet de ne pas rechercher l'homogénéité de la population étudiée sur une ou plusieurs variables comme l'âge développemental ou l'accès au langage. Tout au contraire, nous avons visé l'inclusion d'une diversité d'enfants avec TSA modéré à sévère dont certains ont un petit langage conversationnel tandis que d'autres sont totalement non verbaux. La raison en est que notre objectif est d'ouvrir l'accès aux nouvelles technologies à des enfants qui en sont jusque-là exclus en raison de leur faible efficacité dans la compréhension des symboles, que ceux-ci soient langagiers ou de type pictogrammes. Il aurait été simple et sans doute plus satisfaisant au niveau des résultats quantitatifs, de sélectionner la population d'étude. ***Mais pour nous, dans notre démarche citoyenne, tester le dispositif, c'est aussi et surtout tester s'il est ouvert à des enfants sévèrement handicapés, et notamment à des enfants non verbaux.***

#### **Population d'étude**

Douze enfants de 4a11m à 9a4m (Moy d'âge chronologique : 7a0m ; médiane 6a6m) ont été inclus sur la base de l'accord parental et de leur propre disponibilité pour nous suivre dans la salle expérimentale. Parmi ces 12 enfants, 7 ont un petit langage conversationnel mais ne peuvent pas être considérés comme verbaux et 3 d'entre eux sont de bon niveau cognitif. Tous sauf le plus jeune sont capables de reconnaître être imité, ce qui correspond à une reconnaissance de soi utile pour discriminer le mode où Michou imite, du mode où il faut imiter Lola. Les caractéristiques des participants sont présentées ci-dessous dans le tableau 1.

Tableau 1- Caractéristiques des participants

<b>Enfants</b>	<b>AC</b>	<b>AD</b>	<b>L</b>	<b>REI</b>
<b>204</b>	<b>96</b>	<b>83</b>	<b>V</b>	<b>3</b>
<b>111</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>V</b>	<b>3</b>
<b>105</b>	<b>83</b>	<b>73</b>	<b>V</b>	<b>3</b>
<b>106</b>	<b>77</b>	<b>64</b>	<b>V</b>	<b>2</b>
<b>108</b>	<b>89</b>	<b>80</b>	<b>V</b>	<b>2</b>
<b>112</b>	<b>76</b>	<b>70</b>	<b>V</b>	<b>2</b>
<b>201</b>	<b>78</b>	<b>56</b>	<b>V</b>	<b>3</b>
<b>109</b>	<b>78</b>	<b>58</b>	<b>NV</b>	<b>3</b>
<b>103</b>	<b>112</b>	<b>60</b>	<b>NV</b>	<b>2</b>
<b>102</b>	<b>90</b>	<b>48</b>	<b>NV</b>	<b>1</b>
<b>110</b>	<b>77</b>	<b>58</b>	<b>NV</b>	<b>1</b>
<b>113</b>	<b>59</b>	<b>36</b>	<b>NV</b>	<b>0</b>

*Age Chronologique (AC), Age Développemental (AD),  
Langage (LégerVerbal/Non Verbal), Reconnaissance d'être imité (REI)*

### **Procédure**

L'enfant est conduit dans la salle Kinect où a été implantée la plate-forme. On lui propose de se placer devant la plate-forme, debout face à l'écran. Il est invité à déplacer la boîte sur la base d'une démonstration ou d'une proposition verbalisée.

L'entraînement comprend 3 étapes : une étape de familiarisation avec le dispositif, une étape d'entraînement à faire en sorte que Michou suive le trajet initié par l'enfant, c'est-à-dire à respecter l'adhérence entre l'objet tangible et l'objet réel, et une étape d'entraînement à imiter l'avatar autonome Lola. Lola utilise 3 vitesses et varie l'orientation de ses déplacements en fonction de 4 scénarios.

Un scénario est défini comme la tâche consistant à déplacer un objet spécifique vers une cible spécifique en même temps que le personnage virtuel. Les 4 scénarios sont : Hisser la boîte depuis le tabouret jusqu'à la table ; pousser le tabouret jusqu'à la table ; descendre la boîte posée sur la table jusqu'au tabouret ; descendre la boîte depuis le tabouret jusqu'au sol.

## Recueil des données

Les données recueillies durant l'étape préalable de familiarisation avec les lieux et le dispositif sont issues des observations comportementales filmées en continu. Pour les étapes suivantes d'entraînement avec Michou et Lola, la démarche normative dispose de deux types de recueil de données descriptives : les comportements filmés en continu et les données informatiques.

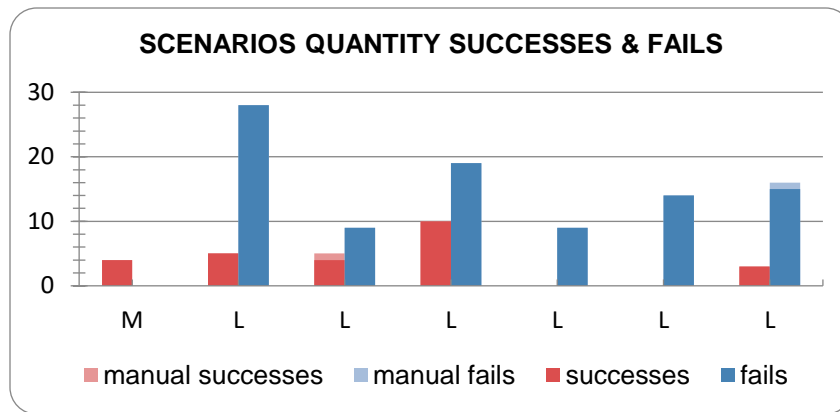
Chaque séance se composant de plusieurs essais, le nombre de scénarios atteint le total de 573 pour 50 séances et devrait permettre de faire ressortir des généralités.

Les tableaux de données informatiques pour les 50 séances informent sur les éléments généraux suivants : la date de la séance, sa durée, la vitesse de déplacement, l'avatar impliqué, le nombre de scénarios réussis, échoués et avortés. On en voit un exemple dans le tableau 2 ci-dessous. Une visualisation des scénarios est également disponible (cf. figure 3)

*Tableau 2- Extrait d'un relevé automatique de données globales*

Séance	Agent	Vitesse	Scenario
27/11/2019 15:29:19	1,3 Michou	0,1 0,15 0,441008	1 SUCCESS BOX
27/11/2019 15:32:26	1,3 Michou	0,1 0,15 0,441008	0
27/11/2019 15:33:14	1,3 Michou	0,1 0,15 0,441008	2 SUCCESS BOX SUCCESS BOX
27/11/2019 15:36:05	0 Lola	0,1 0,15 0,441008	0
27/11/2019 15:36:57	1,3 Lola	0,1 0,15 0,441008	10 FAILED BOX FAILED BOX

*Figure 3- Exemple de visualisation des scénarios d'un enfant*



M : Michou L : Lola

Dans un premier temps, les données automatiques ont été confrontées aux données filmées. Cela a permis de constater une petite imprécision du système qui a pour conséquence que certaines erreurs ne sont pas enregistrées alors qu'il y a un léger défaut d'adhérence entre l'objet réel et sa partie virtuelle. Inversement certaines réussites peuvent ne pas être comptabilisées à quelques millimètres d'adhérence près. L'observation des deux expérimentateurs présents a permis de constater la (rare) présence ou absence erronée d'étoiles de réussite ou de fumée d'échec. Il a de ce fait été ajouté un enregistrement manuel permettant de corriger ces erreurs d'affichage.

### Traitement des données

- Approche globale normative

Les données observationnelles comportementales filmées sont surtout importantes pour rendre compte de la phase de familiarisation, très révélatrice de spécificités individuelles. Mais dans toutes les phases, leur pouvoir descriptif offre un contexte permettant de comprendre le pourquoi du comportement des enfants et quelles leçons en tirer.

En complémentarité de ce cadre contextualisé, les données informatiques\_sont traitées afin d'en extraire des informations quantifiées sur les séances, les scénarios et leur performance, selon le type d'entraînement (Michou ou Lola). Outre ces informations globales, ces données permettent une analyse individuelle des paramètres de la collaboration motrice.



- Approche individuelle evidence-based

Une collaboration motrice, ou action conjointe, nécessite que soient satisfaits trois paramètres essentiels : une direction commune vers la cible, une coordination motrice, une synchronisation temporelle. Les quantifications sont fournies par des logs qui concernent la comparaison des déplacements de l'objet virtuel et de l'objet tangible. Ces logs permettent de mesurer les trois paramètres en jeu dans la collaboration motrice : 1) la synchronisation entre le partenaire virtuel et l'enfant, par la similitude temporelle des déplacements qui doivent être quasi-superposables ; 2) la précision de l'ajustement entre l'objet tangible et l'objet virtuel, par l'écart spatial entre les déplacements ; 3) l'exactitude de la direction du déplacement, qui mesure le contrôle par l'enfant de la trajectoire de l'avatar.

Les logs nous offrent la quantification et l'illustration de ces 3 paramètres. La synchronie se réfère à la coordination temporelle des individus lors des interactions sociales. Bien que la principale méthode d'évaluation reste le codage manuel (Kaur et al 2018; Zampella et coll. 2020; Scharoun et coll. 2020), diverses méthodes de calcul automatiques basées sur les données de mouvement ont été proposées (Delaerche et al 2012). Le fait que notre tâche soit une tâche « simple » (Lola ne s'adapte pas au participant, l'influence est unidirectionnelle) nous oriente vers l'utilisation de méthodes de corrélation.

Des corrélations ont été utilisées pour caractériser la synchronie dans diverses tâches effectuées par des personnes atteintes de TSA. Compte tenu de la nature linéaire de notre tâche et de l'hypothèse valable selon laquelle l'interdépendance des deux partenaires en interaction est stable (c.-à-d. que la personne A influence toujours la personne B), une mesure de synchronisation de l'interaction totale (c.-à-d. le scénario) semble adéquate. La corrélation croisée est une corrélation globale avec un décalage déterminé (pour maximiser la corrélation) pour tenir compte d'un délai possible entre la personne A et B. Le log '*average std best lag correlation on speed*' rend compte du délai temporel moyen du mouvement de l'objet tangible par rapport à l'objet virtuel.

La coordination motrice peut être caractérisée par des mesures spécifiquement liées à la tâche (Scharoun et al., 2020). Dans notre procédure, la distance spatiale entre l'objet virtuel et l'objet tangible nous fournit des informations directes sur la coordination motrice. Cette distance et sa variabilité peuvent nous éclairer sur la qualité de la coordination (*log average std distance between agents*).

En résumé, les informations concernent en premier lieu les paramètres de synchronie, mesurée par l'écart temporel entre le trajet de l'enfant et celui de l'agent virtuel, et de coordination motrice, mesurée par l'écart spatial entre le trajet de l'enfant et le trajet de l'agent virtuel. Les figures 4 et 5 donnent un exemple des informations rassemblées.

Figure 4- Exemple d'un moyennage du paramètre de synchronie sur tous les évènements de chaque séance avec Lola (L)

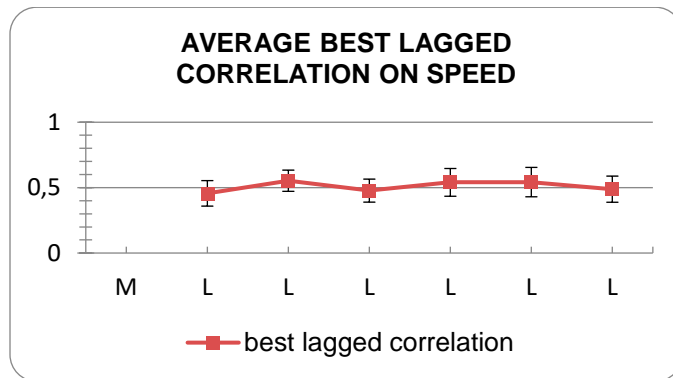
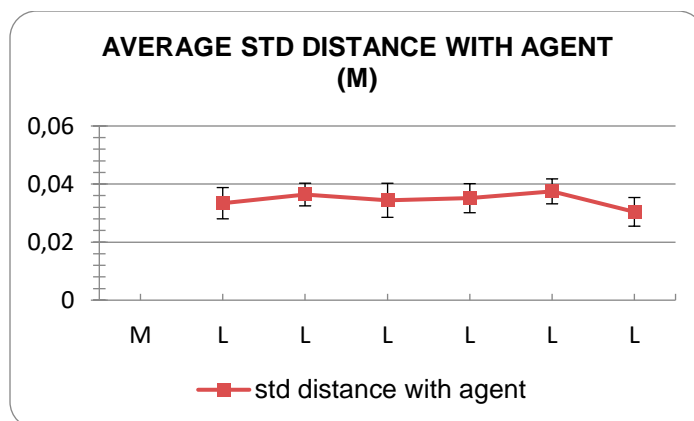


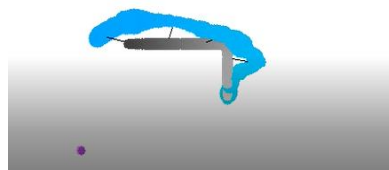
Figure 5- Exemple d'un moyennage du paramètre de coordination motrice montrant l'écart spatial entre la trajectoire de l'objet virtuel et de l'objet tangible pour tous les évènements dans chaque séance avec Lola



Les mêmes paramètres sont utilisables événement par événement et non plus en moyennage d'évènements par séance. Des vidéos permettent de visualiser le déplacement de l'objet tangible (en bleu) par rapport au déplacement de l'objet virtuel (en noir). La trajectoire de l'agent est représentée sous la forme d'un trait noir et la trajectoire de l'enfant est représentée sous la forme d'un trait de la couleur de l'objet qu'il déplace (le trait est plus clair au début du mouvement, plus foncé à la fin). L'épaisseur du trait dépend de la vitesse de l'enfant. De fines lignes noires entre la trajectoire de l'enfant et celle de l'agent indique le lien temporel entre les trajectoires, permettant de visualiser si l'enfant anticipait ou était en retard sur le mouvement de l'agent. Cette visualisation graphique permet ainsi une analyse personnalisée des synchronies des mouvements de chaque enfant en relation avec les mouvements de l'objet.

L'exemple ci-dessous montre une relative réussite dans le respect de la direction, mais une imprécision de la coordination motrice (écart spatial important avec le trajet de Lola, et une synchronie imparfaite (l'objet tangible de l'enfant devance l'objet virtuel de Lola).

session 8 / 1 / 2020 - 15h3m49s15  
task 16 - Result : SUCCESS



## Résultats

### *Démarche normative*

Les résultats sont présentés étape par étape

#### *1) L'étape de familiarisation*

L'étape de familiarisation comprend deux aspects : la familiarisation avec les lieux et le dispositif, et la familiarisation avec la procédure. La familiarisation avec les lieux et le dispositif ne se réalise pas pour le plus jeune de nos sujets (113) qui se couche d'abord au sol, ne s'intéresse pas au dispositif, puis danse en chantant : zi... di... di. La familiarisation avec la procédure se fait donc avec 11 enfants.

#### *Familiarisation avec la procédure*

Une fois le lieu et le dispositif acceptés, la familiarisation avec la procédure peut débuter. Cette familiarisation se passe avec Michou mais sans enregistrement de la performance, le seul but étant de faire comprendre les deux contraintes de la situation : faire glisser l'objet et non le prendre, et faire adhérer l'objet réel sur sa partie virtuelle. Spontanément les enfants prennent l'objet réel en mains. Il s'agit d'abord de leur faire comprendre qu'ils ne doivent pas prendre l'objet car celui-ci doit adhérer à l'objet virtuel. Il faut ensuite qu'ils apprennent à déplacer l'objet en le faisant glisser l'objet le long de la paroi en relation avec l'objet virtuel tenu par l'avatar. Cette première étape est plus ou moins longue selon les enfants.

Au total, 126 essais concernent globalement cette phase de familiarisation. Dans le tableau 3 ci-dessous, nous présentons la répartition globale des séances par sujet selon les étapes de l'entraînement.

Sur les 11 enfants sollicités, 2 enfants avec TSA sévère ne souhaitent pas continuer après avoir essayé la procédure, l'un excédé de ne pas réussir l'adhérence lors de la deuxième séance de familiarisation, l'autre contrariée dès la première séance de familiarisation, dans ses principes rigides d'organisation spatiale (le tabouret doit toucher la table, la boîte ne peut pas tenir en l'air sur la cloison). C'est donc la procédure qui contrevient aux motivations de ces enfants. On retiendra que les intérêts restreints, la rigidité et les stéréotypies peuvent écarter certains enfants du dispositif. Toutefois dans un cadre d'entraînement moins contraint qu'une étude expérimentale, on pourrait sans doute adapter le dispositif à certaines dispositions de l'enfant. Il en est de même pour un enfant dyspraxique qui tourne l'objet physiquement au lieu de virer à droite ou à gauche sur la cloison. Il ne comprend pas le pattern moteur de 'glisser' ou sa pertinence dans la situation. Pourtant il salue l'avatar et l'agentivise d'emblée. Malgré de nombreux essais et en dépit de son bon niveau cognitif, il ne parvient pas à se familiariser avec le dispositif. Il s'agit d'un enfant qui a de grosses difficultés de

discrimination spatiale : au-dessus, au-dessous, à droite, à gauche. Le travail à réaliser pour l'amener à faire glisser un objet selon une orientation donnée pourra durer des semaines et le résultat n'est pas garanti. Notre plate-forme ne convient pas pour l'instant à ce type d'enfants, ou, encore une fois, il faudra éviter pour lui, dans un cadre positif, d'éviter les trajets impliquant un changement de direction. L'information donnée par ce type de problème est en tout cas d'un grand intérêt pour un travail de psychomotricité précis et ciblé.

Enfant	Familiarisation	Michou	Lola	Généralisation	
109 NV	1	1	4	1	
204 V	1	1	8		
111 V	1	1	11		
105 V	1	3	3		
106 V	4	7	-		
110 NV	4	4	-		
102 NV	4	1	-		
112 V	1	3	-		
108 V	1	1	-		
103 NV	2	-	-		
201 V	1	-	-		
113 NV	0	-	-		
Total	23	22	26	1	= 73

*Tableau 3- Nombre de séances par enfant pour les différentes étapes d'entraînement*

Deux groupes se dessinent : ceux qui comprennent les deux contraintes et s'exercent à les prendre en compte, et ceux qui exercent leurs objectifs propres. On verra avec Michou que ce groupe est aussi bien composé d'enfants non verbaux que d'enfants un peu langagiers.

Le langage a un effet sur la compréhension des contraintes de la tâche puisque 6 des 7 enfants avec un petit langage passent à l'entraînement avec Michou après une unique séance de familiarisation, tandis qu'un seul enfant non verbal atteint ce critère. Le septième enfant un peu langagier n'a pas compris d'emblée l'objectif. Il faudra 4 séances de familiarisation pour que ce comportement laisse place à la familiarisation attendue. Son comportement est intéressant à décrire car dès sa première confrontation avec la plate-forme, il s'intéresse à l'agent virtuel et chante : « Tête, épaule, mains, pieds », en touchant Michou sur ces différents segments anatomiques. Il le touche et le caresse à maintes reprises. Donc il s'agit bien d'un interlocuteur pour lui, mais en revanche la tâche est subalterne, et plus encore la tâche de collaboration. Avec cette remarque, on touche à la question de l'agentivité de l'agent, problème crucial en méthodologie virtuelle. On verra qu'au fur et à mesure de l'entraînement tous les enfants un peu langagiers et deux enfants non verbaux, soit 9 enfants sur 11 cherchent l'agent virtuel en essayant de passer derrière l'écran, ou en s'aplatissant au sol, ou en essayant d'ouvrir la porte de la cabine : il y a anthropomorphisation de l'agent et c'est un point crucial en faveur du dispositif pour simuler une collaboration motrice.

Un dernier point qui est une autre bonne surprise : les 11 enfants ayant réalisé une familiarisation, qu'elle soit réussie ou échouée, ont choisi l'objet à déplacer en fonction de l'objet virtuel tenu par l'agent virtuel. Ceci aussi est très encourageant car il s'agit de la base à partir de laquelle un apprentissage peut prendre place : l'objectif commun de la collaboration est compris.

### *3) Entraînement avec Lola*

Comme déjà indiqué ci-dessus, le véritable test des capacités de synchronisation sur le mouvement de l'autre est le port d'objet avec l'avatar Lola. Lola est autonome. C'est elle qui choisit quel objet déplacer, la cible du déplacement (c'est à dire où le poser), et à quelle vitesse. Pour suivre l'avatar, il faut donc analyser :

- 1) la position de départ, qui informe sur l'objet d'intérêt (le tabouret, la table ou la boîte)
- 2) la posture, qui informe sur la cible et indique la trajectoire du déplacement (à droite, à gauche, en haut, en bas)

- 3) la vitesse pour rester synchrone. Trois niveaux de synchronie sont proposés : Lola en vitesse optimale, Lola rapide, Lola lente. Ces trois protocoles de synchronie ont été conçus pour être de niveau de difficulté croissante et se sont avérés tels.

Nous avons analysé le rapport entre le nombre de scénarios réussis sur le nombre total de scénarios pour les 4 enfants qui coopèrent avec Lola. Ce rapport s'exprime par un indice compris entre 1 pour une réussite totale et 0 pour un échec total. On peut le comparer avec le même indice concernant Michou. Le tableau 4 montre une baisse générale de l'indice pour Lola comparé à Michou, mais la baisse est très spectaculaire pour l'enfant 204, très investie, s'adressant à Lola pour l'inciter à agir ('Allez Lola, !'), mais en grande difficulté quand il s'agit de se synchroniser avec la vitesse rapide et plus encore avec la vitesse lente.

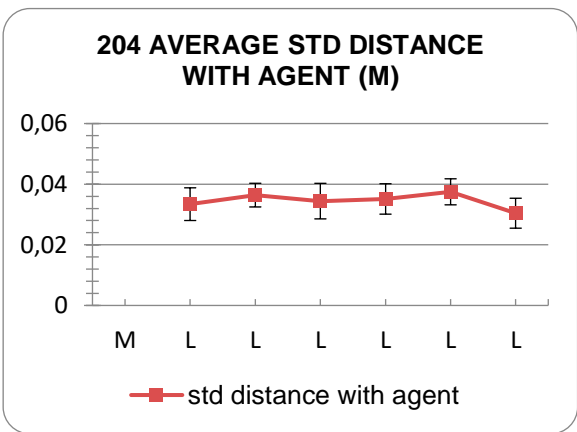
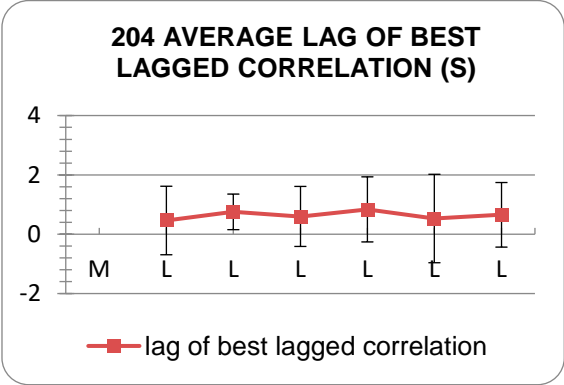
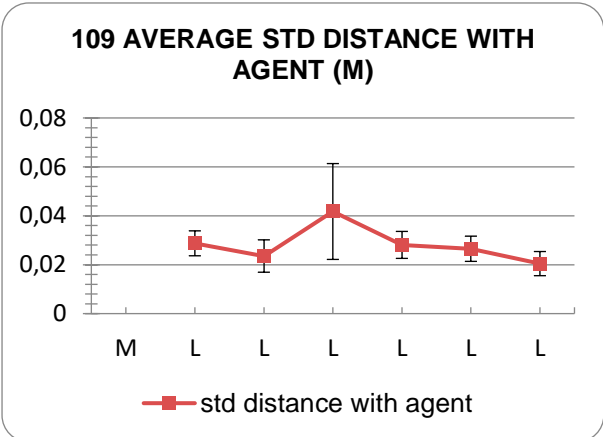
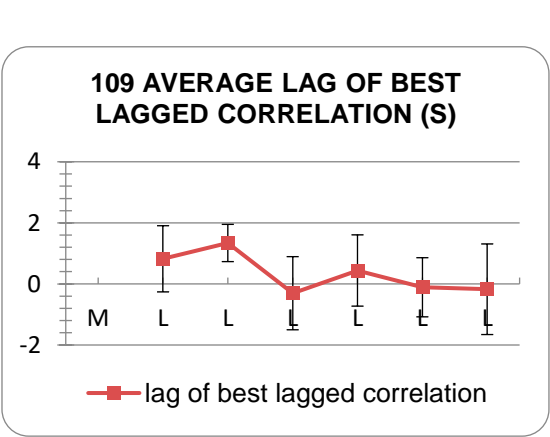
Tableau 4- Indice de réussite global par enfant pour les séances Michou et Lola

<u>Enfant</u>	<u>Michou</u>		<u>Indice</u>	<u>Lola</u>		<u>Indice</u>
	<u>SR</u>	<u>NS</u>				
<u>109</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>0,91</u>	<u>46</u>	<u>121</u>	<u>0,38</u>
<u>111</u>	<u>14</u>	<u>22</u>	<u>0,63</u>	<u>41</u>	<u>194</u>	<u>0,21</u>
<u>204</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>23</u>	<u>118</u>	<u>0,19</u>
<u>105</u>	<u>8</u>	<u>28</u>	<u>0,28</u>	<u>4</u>	<u>40</u>	<u>0,10</u>

S R : Scénarios réussis NS : Nombre de scénarios

L'analyse des paramètres de la collaboration avec Lola peut nous en apprendre davantage sur la cause du décalage dans l'indice de réussite selon les enfants. Le log 'average std best lag correlation on speed' rend compte du délai temporel moyen du mouvement de l'objet tangible par rapport à l'objet virtuel. Il nous informe sur la synchronie. Le log doit être égal à 0 pour une synchronie parfaite. L'enfant 204 a cumulé les échecs avec Lola et son indice global de synchronie à chaque séance est toujours supérieur à 0 : 204 devance Lola au lieu de se synchroniser. Ceci est vrai pour toutes les séances (0,4 0,8 0,5 1 0,4 0,6). Si l'on

compare la performance de synchronie de l'enfant 204 avec celle de l'enfant 109, on remarque que celui-ci rectifie à partir de la troisième séance et trouve une stratégie lui permettant d'être bien synchronisé pour la suite des séances (1, 1,8 0 0,1 0 0). Dans notre procédure, la distance spatiale entre l'objet virtuel et l'objet tangible nous fournit des informations directes sur la coordination motrice. Cette distance et sa variabilité peuvent nous éclairer sur la qualité de la coordination (*log average std distance between agents*). L'enfant 204 reste distante de l'agent virtuel tandis que l'enfant 109 qui marque une contre-performance à la troisième séance, avec le début de la vitesse rapide promue par Lola, opère une réorganisation qui le mène à un faible écart de trajet par rapport à Lola.





### Limite des résultats moyennés

Les informations sur les échecs et réussites nous donnent un ordre de grandeur sur les progrès des enfants : ceux-ci devraient se manifester par une progression des réussites à chaque séance. Cependant les séances ne sont pas équivalentes si l'on se souvient que la collaboration avec Lola est plus ou moins facile selon la vitesse qu'elle adopte pour déplacer l'objet virtuel : la vitesse peut être optimale (c'est-à-dire la vitesse de l'enfant, déduite de son rythme spontané pendant les interactions avec Michou), ou bien elle peut être plus rapide, ou bien elle peut être plus lente. Les difficultés diffèrent et par exemple le sujet 204 qui avait réussi avec la vitesse rapide n'a pas pu, dans le nombre de séances imparties, apprendre à contrôler ses mouvements pour s'adapter à la lenteur de Lola. L'inhibition motrice demandée pour s'adapter à un rythme lent tout en conservant la direction du déplacement et l'adhérence à l'objet virtuel représente une réelle difficulté dans le cas d'autisme où le déficit de contrôle moteur est un symptôme cardinal (Fournier et al., 2010).

En outre, les scénarios ne présentent pas tous le même degré de difficulté. Le scénario le plus facile est de déplacer le tabouret vers la table car le tabouret n'a pas à être soulevé. Le scénario le plus difficile est celui où l'on doit faire glisser la boîte en hauteur sur la paroi et poser la boîte sur la table ; dans ce cas le travail musculaire contre la pesanteur est à son maximum. On ne peut donc pas être renseigné précisément sur les qualités de la collaboration de l'enfant avec l'agent Lola en sommant les scénarios d'une séance. Il faut analyser scénario par scénario et sujet par sujet.

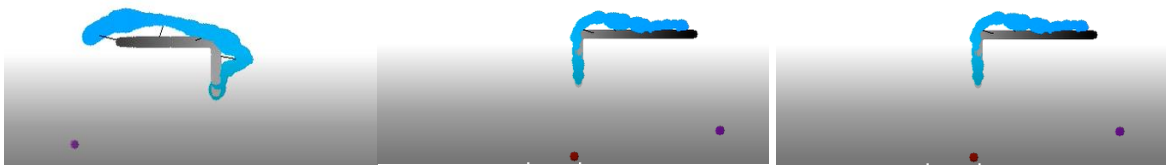
Si l'on suit le traitement d'un scénario selon la séance, et mieux le même type de scénario séance après séance, il est possible de capter les progrès de synchronie et de précision motrice réalisés grâce à l'entraînement, comme le montrent ces exemples issus du protocole de l'enfant 111.

Figure 8 - progression de l'enfant 111 au cours de son entraînement

session 8 / 1 / 2020 - 15h3m49s15  
task 16 - Result : SUCCESS

ID 111  
session 17 / 1 / 2020 - 16h38m44s518  
task 3 - Result : SUCCESS

ID 111  
session 17 / 1 / 2020 - 16h38m44s518  
task 3 - Result : SUCCESS



A

B

C

- A - La direction est respectée mais l'enfant L111 précède Lola et n'est pas précis*  
*B - L'enfant parvient à suivre le rythme de Lola sur un parcours court mais reste imprécis*  
*C - L'enfant suit Lola en adoptant son rythme, sans la devancer et avec beaucoup de précision*

Nous avons le projet de réaliser cette approche micro-analytique dans un cadre evidence-based ciblé sur la recherche d'une signature motrice référée à la synchronie et la coordination motrice pour les 4 enfants qui ont collaboré avec Lola. Rechercher une signature motrice sur la base de ces deux paramètres nous paraît une piste intéressante. Mais ce travail est de longue haleine et dépasse le temps imparti pour réaliser le projet dont il représentera la suite à terme.

### **Discussion**

Les résultats et leurs limites nous suggèrent des questions auxquelles nous répondons sous la forme de plusieurs recommandations

- 1) Que faire pour faciliter la familiarisation avec la plate-forme ?

L'échec de la familiarisation avec la plate-forme ou de l'entraînement avec Michou pour 5 /12 de nos enfants nous mène à plusieurs propositions. Tout d'abord on peut essayer de proposer sur tablette une simulation filmée de la procédure. La procédure serait découpée en étapes séparées par une période blanche de 10 secondes. Nous avons envisagé ce dispositif mais l'avons écarté du fait de la difficulté pour certains enfants à repérer la similitude entre le dispositif visualisé en 2 dimensions et le dispositif réel. Une autre

proposition consiste à faire tout d'abord porter les objets tangibles pour familiariser l'enfant avec le déplacement de l'objet. Toutefois, comme nous avons pu le constater, ce préalable peut tourner à l'inconvénient car l'enfant n'apprend pas la nécessité de faire adhérer l'objet tangible sur la paroi et de le faire correspondre à l'objet virtuel. Au contraire, il est confirmé dans le geste intuitif de prendre l'objet.

Les contraintes spécifiques de la plate-forme virtuelle sont de faire glisser l'objet le long de la paroi pour le transporter avec l'avatar, et non de le prendre : c'est en quelque sorte contre-intuitif et représente la difficulté majeure de la familiarisation. A cette difficulté s'ajoute la nécessité de lutter contre la pesanteur liée à l'aimantation de l'objet dont le caractère tangible se manifeste par la résistance à la poussée. Lorsqu'il faut déplacer l'objet en l'élevant, le travail contre la pesanteur est à son summum et explique des échecs et des découragements. Une amélioration a été réalisée pour rendre le glissement plus aisé. Mais même dans ce cas, il peut rester une incompréhension de la situation : *pourquoi faire glisser ce que l'on peut porter d'un point à un autre ?*

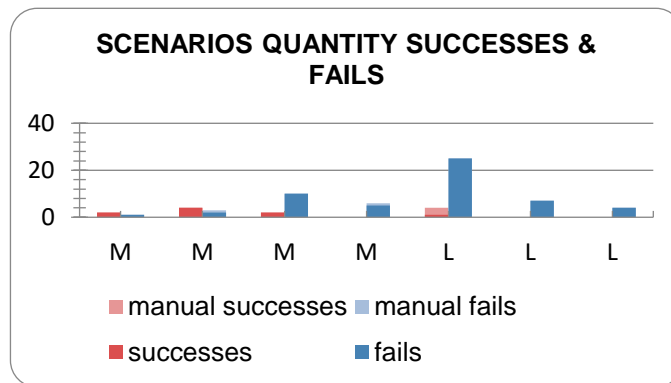
Devant l'échec de la situation mimée pour les enfants de très faibles capacités de fonctionnement, il nous semble important de traiter l'étape de la familiarisation de façon complètement individuelle. Ainsi une enfant verbale de notre population a fait une crise violente en constatant que l'objet réel peut rester suspendu à la paroi par adhérence : la causalité physique qui fait comprendre que les objets chutent s'ils ne sont pas tenus était mise en question et provoquait une réaction de peur panique que nous n'avions pas anticipée.

## 2) Comment gérer les intérêts interférents ?

D'autres aspects du dispositif peuvent perturber des enfants de plus haut niveau et leur faire perdre l'objectif initial, en déviant vers des intérêts interférents. Grandin a bien identifié comment une sensation pendant une action peut faire changer l'objectif en cours (Grandin, 1995). Ainsi trois de nos enfants avec langage se sont focalisés sur l'indication des réussites et des échecs, comptant les scores. L'enfant 108 ne regardait que ce tableau, négligeant l'avatar et les objets à changer de place, tandis que l'enfant 112 provoquait des scores en essayant divers comportements inadaptés à la tâche mais adaptés à anticiper un changement de scores. Quant à l'enfant 105, ses performances

n'ont fait que décroître car il recherchait les étoiles-récompenses, le nez en l'air (Figure 9).

Figure 9- Exemple d'une performance qui décroît en raison d'un objectif détourné (M : Michou, L : Lola)



Rien ne pouvait les ramener à la tâche et d'une séance sur l'autre ils se confirmaient dans leurs objectifs détournés. Cela nous permet de constater que, malgré les précautions prises et le caractère épuré du dispositif, l'environnement était encore trop riche de possibles distracteurs de l'attention. Cet élément de connaissance des résultats perturbait d'une autre façon l'enfant 111, bien concentré sur l'objectif et qui réagissait par le désappointement à chaque fois qu'un score négatif s'ajoutait (*j'ai mal au cœur*), malgré nos efforts pour dédramatiser la situation et valoriser tout essai, qu'il soit ou non un succès. Il est souhaitable que ce tableau n'apparaisse plus sur la plate-forme, et l'équipe d'informaticiens a pris note de cette nécessité pour la réalisation finale du logiciel.

3) Le dispositif nous a ménagé de bonnes surprises avec nos enfants non verbaux et de niveau cognitif modeste : quelles sont-elles et comment les mettre à profit dans un entraînement ou une thérapie ?

Tout d'abord, la meilleure performance est le fait d'un enfant non verbal. Le langage n'est donc pas une compétence-clé dans notre dispositif. Avec nos paramètres de synchronie et de coordination motrice mesurés par des écarts temporels et spatiaux entre la performance de l'agent virtuel et la performance de l'enfant, nous décrivons l'essentiel de ce qui est nécessaire pour une collaboration motrice, et cet enfant en est capable, de

même que trois autres, dotés de quelques moyens langagiers limités. La synchronie motrice apparaît comme au cœur d'un entraînement à la collaboration.

Ensuite il apparaît que les indices corporels tels que la direction de la tête et du buste de l'agent virtuel permettent la localisation d'une cible. Il y a beaucoup à faire en prenant en compte ce constat. En utilisant de tels indices corporels on peut apprendre à ces enfants comment prendre en compte l'autre pour explorer des lieux, des cibles, des buts, et parvenir progressivement à l'attention conjointe, de façon efficace car liée à des bénéfices fonctionnels immédiats.

#### 4) Quelles leçons tirer des échecs des enfants ?

Les échecs même sont informatifs. L'enfant qui ne regardait que le compteur renseignant sur les scores, et oubliait que ces scores sont un effet du contrôle moteur, nous rappelait l'importance d'un milieu dépouillé de tout ce qui ne concerne pas l'objectif à poursuivre. L'enfant qui tournait l'objet au lieu de le faire changer de trajectoire nous incitait à comprendre que l'organisation spatiale est d'abord celle du corps en interaction avec le milieu physique. L'enfant qui ne tolérait pas que le tabouret ne soit pas en contact étroit avec la table nous faisait comprendre que l'installation la plus simple est déjà une organisation qui peut choquer certaines structures mentales. De la diversité de notre population émergent les limites mais aussi la flexibilité de notre dispositif. Cette flexibilité peut être dirigée par le professionnel pour réaliser des entraînements *à la carte*, totalement pensés pour l'enfant auquel on veut faire acquérir la précision de la coordination motrice sachant qu'il maîtrise la synchronie, ou inversement, ou bien pour l'enfant qu'il faut conduire vers la compréhension de la posture de l'autre comme désignant un but.

#### 5) Quelles insuffisances assumer ?

Malgré ces aspects positifs, des insuffisances sont à signaler. Tout d'abord, la référence à l'interaction tangible n'est pas totalement satisfaisante ici. Alors que des objets réels équipés d'informatique peuvent être utilisés directement via un ordinateur (Farr et al., 2010), la contrainte d'une situation mi-tangible mi-virtuelle pour agir à deux oblige de passer par l'artifice d'un glissement sur une paroi, et prendre l'objet en mains provoque l'échec de l'essai. La situation est contre-intuitive : pourquoi faire glisser un objet pour le

déplacer au lieu de le prendre ? Clairement cette situation ne répond pas aux situations de la vie quotidienne et sera difficilement l'objet d'une généralisation à d'autres types de collaboration motrice. Nous devons chercher d'autres solutions à la simulation de la collaboration motrice

Un autre point à améliorer concerne l'enregistrement des données comportementales. Jusqu'ici les informations sont seulement disponibles par un filmage externe. Ce qui manque actuellement au système, c'est un moyen d'enregistrer les comportements des enfants effectuant les scénarios. Un tel enregistrement permettrait d'analyser automatiquement les adaptations posturales et les indices d'engagement social. Pour cette première version, nous avons essayé d'intégrer diverses solutions (c'est-à-dire plusieurs versions et emplacements Kinect, ainsi que plusieurs versions et emplacements webcam ainsi que des solutions logicielles comme OpenPose (Z, C., G, H.M, T. S, Se, W, & Ya,S. 2019) ou OpenFace 2.0 (Baltrusaitis, Zadeh, Lim, & Morency, 2018). Mais tous sont conçus pour l'interaction avant, alors que dans notre configuration l'enfant se tient face à la cloison à une distance de 30 cm. Une solution peut venir d'une version récemment disponible en Europe : nos tests préliminaires avec le Kinect Azure ont révélé que le suivi d'en haut (c'est-à-dire sur le dessus de la cloison, face vers le bas) fonctionnait et était robuste, ouvrant la porte à de futures analyses comportementales plus détaillées.

## **Conclusion**

Dans une perspective citoyenne d'inclusion maximale, nous avons cherché à réaliser un dispositif d'entraînement à la collaboration motrice qui soit accessible au plus grand nombre d'enfants avec TSA même sévère, et incluant les cas d'enfants non verbaux. Cette population en effet est totalement négligée par les systèmes interactifs en raison de ses limitations à comprendre les symboles. Les nouvelles technologies s'adressent prioritairement aux personnes avec TSA de haut niveau cognitif. La conception d'un système interactif tangible et virtuel accessible à des enfants non verbaux, est le fruit d'un travail interdisciplinaire faisant converger des compétences en mécanique, informatique, ingénierie du virtuel, psychopathologie développementale et clinique de l'autisme. Le système proposé est composé d'un personnage virtuel projeté sur une surface sur laquelle un objet tangible est

magnétisé : l'utilisateur et le personnage virtuel déplacent ensemble l'objet mi-tangible et mi-virtuel, simulant ainsi une action commune. Notre dispositif, qui n'a pas d'équivalent à notre connaissance pour promouvoir concrètement la collaboration motrice, s'est révélé accessible à des enfants non verbaux et ceci est notre meilleure réussite. Un tiers de la population a été en mesure d'aller au bout de l'entraînement, et un autre tiers pourrait le faire avec des révisions minimales du dispositif. Le fait que tous les enfants sauf un aient compris quel objet réel choisir en référence à l'objet virtuel tenu par l'avatar, et que la plupart d'entre eux aient interprété la posture de l'agent virtuel comme désignant la cible du déplacement, ouvre aux cliniciens un champ d'exploration de la posture comme mode d'accès à l'attention conjointe. L'anthropomorphisation des deux avatars, recherchés dans la salle, et auxquels les enfants attribuaient une intention motrice, souligne une autre réussite de ce dispositif virtuel qui a pu susciter un effet de présence malgré le caractère relativement abstrait de la simulation de collaboration motrice. Des améliorations sont possibles et envisagées pour répondre aux limitations actuelles du dispositif concernant l'enregistrement des comportements posturaux des enfants, et l'interaction tangible. Mais par-dessus tout, l'accessibilité du dispositif à des enfants non verbaux est réalisée, et nous espérons que cette réussite suscitera de nombreux émules.

## Références

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (5th ed.). Washington, DC: Author.
- Baird, G., Charman, T., Baron-Cohen, S., Cox, A., Swettenham, J., Wheelwright, S., & Drew, A. (2000). A screening instrument for autism at 18 month of age. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 39, 694-702.
- Baltrusaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C., & Morency, L.-P. (2018). « OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit », in 2018 13th IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition (FG 2018), ,p. 59-66, doi: 10.1109/FG.2018.00019.
- Baron-Cohen, S., Allen, J., & Gillberg, C. (1992). Can Autism be Detected at 18 Months? The Needle, the Haystack, and the CHAT. *British Journal of Psychiatry*, 161, 6, 839-843.
- Bartoli, L., Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L., & Valoriani, M. (2014). Designing and Evaluating Touchless Playful Interaction for ASD Children. In *Proceedings of the 2014 Conference on Interaction Design and Children* (p. 17–26). New York, NY, USA: ACM.
- Battocchi, A., Ben-Sasson, A., Esposito, G., Gal, E., Pianesi, F., Tomasini, D., ... Zancanaro, M. (2010). Collaborative puzzle game: a tabletop interface for fostering collaborative skills in children with autism spectrum disorders. *Journal of Assistive Technologies*, 4(1), 4-13.

- Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K., & Smith, T.J. (2014). ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism. *Information Sciences*, vol. 264, 41-60. doi: 10.1016/j.ins.2013.10.027.
- Billard, A., Robins, B., Nadel, J., & Dautenhahn, K. (2007). Building Robota, a Mini-Humanoid Robot for the Rehabilitation of Children with Autism. *Assistive Technology*, 19, 1, 37-49.
- Bryson, S.E., Zwaigenbaum, L., Brian, J., Roberts, W., Szatmari, P., Rombough, V., & McDermott, C. (2007). A prospective case series of high risk infants who developed autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37, 1, 12-24.
- Chartrand, T. L., & Bargh, J. A. (1999). The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 893-910.
- Colombi, C., Liebal, K., Tomasello, m., Young, G., Warneken, F., & Rogers, S. (2009). Examining correlates of cooperation in autism. *Autism*, 13, 2, 143-163.
- Courseon, M., Rautureau, G., Martin, J-C, & Grynszpan, O. (2014). Joint Attention Simulation Using Eye-Tracking and Virtual Humans, *IEEE Transactions on Affective Computing*, 5, 3, 238-250, doi: 10.1109/TAFFC.2014.2335740.
- C. Z, H. M. G, S. T, W. Se, et S. Ya,(2019). OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* doi: 10.1109/tpami.2019.2929257.
- Cui, X, Bryant, D.M., & Reiss, A.L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *Neuroimage*. 59: 2430-2437.
- Dawson, G., Webb, S., & McPartland, J. (2005). Understanding the nature of face processing impairment in autism. *Developmental Neuropsychology*, 27, 3, 403-424.  
[http://doi.org/10.1207/s15326942dn2703\\_6](http://doi.org/10.1207/s15326942dn2703_6)
- Delaveau, P., Arzounian, D., Rotgé, J.-Y., Nadel, J., & Fossati, P. (2015). Does imitation act as an oxytocin nebulizer in autism spectrum disorder? *Brain*, 138, 7, 1-4.
- DiGennaro Reed, F.D., Hyman, S.R., Hirst, J.M. (2011). Applications of technology to teach social skills to children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 5(3), 1003-1010
- Dautenhahn, K., Nehaniv, C. L., Walters, M. L., Robins, B., Kose-Bagci, H., Mirza, N. A., & Blow, M. (2009). KASPAR – A minimally expressive humanoid robot for human-robot interaction research. *Special Issue on "Humanoid Robots", Applied Bionics and Biomechanics*, 6, 3, 369-397.
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). Interbrain synchronization during social interaction. *PlosOne*, 5, 8.
- Dumas, G., Soussignan, R., Hugueville L, Martinerie J, & Nadel J. (2014). Revisiting mu suppression in autism spectrum disorder. *Brain Res.* 1585:108-119.
- Fernaues, Y., Tholander, J., & Jonsson, M. (2008). Towards a New Set of Ideals: Consequences of the Practice Turn in Tangible Interaction. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (p. 223-230). New York, NY: ACM.
- Farr, W., Yuill, N., & Raffle, H. (2010). Social benefits of a tangible user interface for children with Autistic Spectrum Conditions. *Autism*, 14, 3, 237-252, , doi: 10.1177/1362361310363280



- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. S. (1995). Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 442–449). New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- 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.
- Gibson, J. J. (1977). The Theory of Affordances. In R. Shaw & J. Bransford (eds), *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an Ecological Psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hamilton A.-F., Bradley R.-M. et Frith U. (2007). « Imitation and action understanding in autistic spectrum disorders : How valid is the hypothesis of a deficit in the mirror neuron system ? » *Neuropsychologia*, 45 (8), 1859-1868.
- Han, B., Tijus, C., Le Barillier, F., & Nadel, J. (2015). Morphing technique reveals intact perception of object motion and disturbed perception of emotional expressions in low-functioning adolescents with ASD. *Research in developmental disabilities*, 47, 393-403.
- Herrera, G., Casas, X., Sevilla, J., Rosa, L., Pardo, C., Plaza, J., Le Groux, S. (2012). Pictogram room: Natural interaction technologies to aid in the development of children with autism. *Annuary of Clinical and Health Psychology*, 8, 39-44.
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a Grip on Tangible Interaction: A Framework on Physical Space and Social Interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 437–446). New York, NY, USA: ACM.
- Grynszpan, O., & Nadel, J. (2015). An eye-tracking method to reveal the link between gazing patterns and pragmatic abilities in high functioning autism spectrum disorders. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1067. doi: 10.3389/fnhum.2014.01067
- Hove, M., & Risert, J. (2009). It's all in the timing : interpersonal synchrony increases affiliation. *Social cognition*, 27, 6, 949-960.
- Joubert, O., R. (2015). L'enfant autiste, le robot, et l'enseignant : une rencontre sociétale. *Enfance*, 67, 1, 127-140.
- Kelso, J. (1995). *Dynamic patterns*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kourakli, M., Altanis, I., Retalis, S., Boloudakis, M., Zbainos, D., & Antonopoulou, K. (2017). Towards the improvement of the cognitive, motoric and academic skills of students with special educational needs using Kinect learning games. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11, 28-39.
- Lorenzo, G., Ledo, A., Pomares, J., Roig, R. (2016). Design and application of an immersive virtual reality system to enhance emotional skills for children with autism spectrum disorders. *Computers and Education*, 98, 192-205.
- McDonald, M.M., Lord, C., & Ulrich, D. (2013). The relationships of motor skills and social communicative skills in school-aged children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 30, 3, 271-282.
- Marsh, K., Richardson, M., & Schmidt, R. (2009). Social connection through joint action and interpersonal coordination, *Topics in Cognitive Science*, 1, 2, 320-339.
- Martin, j-C (2018). Agents virtuels pour l'apprentissage de compétences sociales dans l'autisme: une revue. *Enfance*, 70, 1, 13-30.

- Mundy, P., Sigman, M., & Kasari, C. (1990). A longitudinal study of joint attention and language development in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 20, 1, 115-128.
- Nadel, J. (2016). *Imiter pour grandir : Développement du bébé et de l'enfant avec autisme* (2<sup>nd</sup> ed.). Paris : Dunod.
- Nadel, J., & Baudonnière, P-M. (1982). The social function of reciprocal imitation in 2-year-old peers. *International Journal of Behavioral Development*, 5, 95-109.
- Nadel, J., & Poli, G. (2018). Evaluer et entraîner la connaissance du corps dans l'autisme via kinect et pictogram room. *Enfance*, 1, 51-64.
- Ozonoff, S., Young, G. S., Goldring, S., Greiss-Hess, L., Herrera, A. M., Steele, J., Macari, S., Hepburn, S., & Rogers, S. J. (2008). Gross motor development, movement anomalies and early identification of autism. *Journal of autism and Developmental Disorders*, 38, 4, 644-656. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0430-0>
- Picard, R. W. (1997). *Affective Computing*. Minneapolis, MI: MIT PRESS
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., & Baron, R. M. (2007). Judging and Actualizing Intrapersonal and Interpersonal Affordances. *Journal of Experimental Psychology*, 33, 4, 845-859.
- Richardson, M. J., Harrison, S. J., Kallen, R. W., Walton, A., Eiler, B. A., Saltzman, E. & Schmidt, R. C. (2015). Self-Organized Complementary Joint Action: Behavioral Dynamics of an Interpersonal Collision-Avoidance Task. *Journal of Experimental Psychology*, 41, 3, 665-679
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.
- Rogers, S. (2009). Que nous apprennent les petits frères et soeurs sur les signes précoces d'autisme? *Enfance*, 61, 1, 43-54.
- Rosenbaum, D. A., & Jorgensen M. J. (1992). Planning macroscopic aspects of manual control. *Human Movement Science*, 11, 1-2, 61-69.
- Schmidt, R.C., & Richardson, M.J. (2008). Dynamics of Interpersonal Coordination. In A. Fuchs & V.K. Jirsa (eds), *Coordination: Neural, Behavioral and Social Dynamics* (pp 281-308). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74479-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74479-5_14)
- Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006). Joint action : bodies and minds moving together. *Trends in Cognitive Science*, 10, 2, 70-76.
- Serret, S. et al. (2014). Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new Serious game: a pilot study », *Molecular Autism*, vol. 5, n° 1, p. 37, juill. 2014, doi: 10.1186/2040-2392-5-37.
- Smith, T., & Bryson, S. (1994). Imitation and action in autism : a critical review. *Psychological Bulletin*, 16, 2, 259-273.
- Tartaro, A., Cassell, J., Ratz, C., Lira, J., & Nanclares-Nogués, V. (2014). Accessing peer social interaction: using authorable virtual peer technology as a component of a group social skills Intervention program. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 6, 1, Article 2.
- Zwaigenbaum, L., Bryson, S., Rogers, T., Roberts, W., Brian, J., Szatmari, P. (2005). Behavioral manifestations of autism in the first year of life. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 23, 2-3, 143-152.