

Collaboration motrice et troubles du spectre de l'autisme

Prospection et analyse documentaire autour de travaux de recherche sur les concepts de coordination motrice et d'activités conjointes en prenant en compte les capacités sociales

Auteurs :

TEDyBEAR : Jacqueline NADEL, Gaël POLI

LISI-CNRS : Tom GIRAUD, Jean-Claude MARTIN, Elise PRIGENT





La FIRAH est une Fondation reconnue d'utilité publique, qui souhaite mettre la recherche au service des acteurs de terrain¹. Elle a été créée par Axel Kahn (Président), APF France handicap, la Fédération des APAJH et Nexem. C'est pour répondre aux besoins et attentes des personnes handicapées que la FIRAH a été fondée et qu'elle se développe aujourd'hui autour de ces activités :

- Soutenir des projets de recherche appliquée sur le handicap,
- Dynamiser la valorisation des résultats de ces recherches en particulier auprès des acteurs de terrain,
- Animer la diffusion des connaissances sur le handicap produites à travers le monde



La Fondation UEFA pour l'enfance a pour but de venir en aide aux enfants et de défendre leurs droits, par exemple par le biais du sport et du football en particulier, en apportant son soutien notamment dans les domaines de la santé de l'enfant, l'éducation des enfants, l'accès au sport, le développement personnel de l'enfant, l'intégration des minorités ainsi que la défense des droits de l'enfant. La Fondation, organe d'utilité publique régi par le droit suisse, a été officiellement constituée et a commencé ses activités le 24 Avril 2015.

¹ Acteurs de terrain

Les personnes handicapées, leurs familles et les organisations qui les représentent. Les organisations de défense des personnes. Les prestataires de services et autres organisations travaillant dans le domaine du handicap. Services et autres organisations intervenant en milieu ordinaire et devant prendre en compte dans leurs activités les personnes handicapées comme les enseignants, architectes, entreprises, industries, etc. Les décideurs politiques aux niveaux local, national et international.

La Fondation Orange est engagée dans trois domaines de mécénat : éducation, santé et culture.

Elle souhaite, dans ces trois domaines, agir contre toute forme d'exclusion des jeunes en difficulté scolaire ou sans qualification, des femmes en situation précaire et des personnes avec autisme.

En lien avec le cœur de métier d'Orange, la Fondation Orange agit pour que le numérique, devenu essentiel, soit une chance pour tous. Fondation du numérique solidaire, elle intervient aujourd'hui dans 30 pays avec 8000 salariés engagés.

En savoir plus : www.fondationorange.com



Tedybear est un ensemble de centres médico-sociaux à caractère expérimental dédiés à l'éducation de jeunes enfants avec trouble du spectre de l'autisme (TSA) âgés de 3 à 11 ans, dont la plupart sont non verbaux. Ces centres sont agréés par l'ARS d'Ile de France. L'un est implanté à Saint-Cloud, l'autre plus récent est situé à Paris.

TEDyBEAR a développé un concept pédagogique innovant fondé sur l'inclusion scolaire et la coordination avec la famille et les aidants

Dans l'objectif d'inclusion scolaire:

- Partage du temps entre l'école et le centre
- Coordination avec l'école : participation à l'ESS, au GEVASCO, mise en place de cahiers de liaison, de visites du centre par les enseignants et AVS, et par les thérapeutes libéraux (orthophoniste, psychomotricien, ergothérapeute).

Dans l'objectif de coordination avec la famille

- Cahier pédagogique remis chaque fin de semaine avec fiche hebdomadaire du/de la psychologue référent/e, courbes mensuelles des comportements positifs et négatifs,
- Fiche hebdomadaire des éducateurs renseignant sur l'autonomie et l'adaptation sociale aux pairs ; tablette-relais journalier vers les familles montrant des clips de la journée.

- En retour, fiche hebdomadaire remplie par les parents et renseignant sur le comportement à la maison durant la semaine

Tedybear fonctionne en 1/2/3 : un enfant pour un psychologue durant les thérapies, 2 enfants pour un psychologue pour les activités pédagogiques, 3 enfants pour un éducateurs pour les activités faisant relais avec l'école dans le domaine de la socialisation.

Le travail pédagogique est de type neuro-éducation avec pour base l'exercice du cerveau social. Un focus particulier est placé sur l'imitation qui est centrale pour le développement en ce qu'elle entretient des rapports étroits avec les grandes fonctions, perception, action, langage, et constitue le support initial de la communication et de l'apprentissage.

Les thérapies sont de deux types : imitation pour développer la communication non verbale et l'apprentissage par observation, et kinect pour développer la connaissance du corps et le calibrage de l'organisation spatiale.



Le Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI) est un laboratoire de recherche pluridisciplinaire qui rassemble des chercheurs et enseignants-chercheurs relevant de différentes disciplines des Sciences de l'Ingénieur et des Sciences de l'Information ainsi que des Sciences du Vivant et des Sciences Humaines et Sociales.

Administrativement, le LIMSI (UPR3251) est une unité propre du CNRS, rattachée à titre principal à l'Institut des Sciences de l'Information et de leurs Interactions du CNRS (INS2I). Le LIMSI est également associé par convention avec l'Université Paris-Sud, avec laquelle l'Unité entretient des liens anciens et étroits. Le LIMSI développe de nombreuses collaborations avec des laboratoires universitaires ainsi qu'avec des unités de recherche associées à des écoles d'ingénieurs au sein des départements des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) de l'IDEX Paris-Saclay. Le département Communication Homme-Machine mène des recherches consistant à analyser, comprendre et modéliser les interactions entre humains et systèmes artificiels dans des contextes et selon des modalités les plus variées comme les interactions haptiques, tangibles, gestuelles, et ambiantes. Le groupe CPU qui participe à ce projet se concentre sur la psychologie des interactions affectives non-verbales et collectives chez l'humain ainsi que sur la conception d'interfaces homme-machine les faisant intervenir.

Cette revue de littérature a été mise en œuvre dans le cadre de la recherche « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme » menée par le Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et Sciences de l'Ingénieur (LMI-CNRS) en partenariat avec TEDyBEAR. Cette recherche a été soutenue dans le cadre de l'Axe 3 du Programme Autisme et Nouvelles Technologies, soutenu par la Fondation UEFA pour l'enfance et la Fondation Orange. La revue de littérature a été rédigée par Jacqueline Nadel, Gael Poli, Tom Giraud, Jean-Claude Martin et Elise Prigent.

Cette revue de littérature a pour objectif de dresser l'état des lieux des connaissances en matière de recherche appliquée sur les capacités de collaboration motrice dans le trouble du spectre de l'autisme et les méthodes innovantes susceptibles d'aider à entraîner ces capacités.

Ce que la FIRAH entend par les termes de recherche appliquée sur le handicap :

- C'est d'abord un travail de recherche proprement dit, obéissant à ses règles de méthode et de rigueur, permettant la mise en œuvre d'une démarche scientifique, et impliquant des équipes d'un ou plusieurs chercheurs ou enseignants-chercheurs dont la recherche est l'une des missions statutaires.
- La recherche appliquée est différente de la recherche fondamentale. Son objectif est d'accroître la participation sociale et l'autonomie des personnes handicapées. Elle ne vise pas seulement la production de savoirs théoriques, mais également la résolution de problèmes pratiques en lien avec les besoins et les préoccupations des personnes handicapées et de leurs familles. La collaboration entre ces personnes, les professionnels et les chercheurs est donc une donnée fondamentale dans la réalisation de ce type de recherche.
- En ce sens, ce type de recherche est destiné à produire des résultats directement applicables. En plus des publications classiques (articles, rapports de recherches), les recherches appliquées sont destinées à produire d'autres publications, appelées « supports d'applications », qui peuvent prendre différentes formes : développement de bonnes pratiques, guides méthodologiques, supports de formation etc., et sont destinées à différents acteurs (personnes handicapées, professionnels, institutions).

Ce travail ne vise pas l'exhaustivité mais l'identification de résultats et de connaissances produits par des travaux de recherche pouvant être utiles aux acteurs de terrain pour améliorer la qualité de vie et la participation sociale des personnes handicapées.



FIRAH | 2019

[Ce document peut être diffusé librement en indiquant sa source, et en mentionnant l'auteur et les organisations impliquées.](#)

Sommaire

| | |
|---|----|
| Sommaire | 5 |
| Edito | 6 |
| Introduction..... | 7 |
| Synthèse générale | 9 |
| I. Autisme et action motrice à deux : concepts, capacités impliquées, dispositifs et résultats | 9 |
| II. Autisme et technologies interactives : des éléments pour une action motrice en interaction humain-machine (IHM) | 17 |
| III. Autisme et entraînement de l’action motrice individuelle et à deux par des technologies interactives | 24 |
| Note de synthèse..... | 28 |
| Fiches de lecture..... | 32 |
| I. AUTISME ET ACTION MOTRICE À DEUX | 33 |
| II. Les technologies pour l’action motrice à deux..... | 48 |
| Bibliographie générale commentée | 60 |
| I. Autisme et action motrice à deux | 60 |
| II. Les technologies pour l’action motrice à deux..... | 68 |

Ce document constitue la revue de littérature de la recherche « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme ». Une revue de littérature est un élément préalable indispensable à tout travail de recherche. En effet, le but est de collecter, organiser et valoriser les recherches réalisées dans ce domaine. Cette revue de littérature fait donc un tour d'horizon des connaissances issues de la littérature existante sur les capacités de collaboration motrice dans le trouble du spectre de l'autisme et les méthodes innovantes susceptibles d'aider à entraîner ces capacités. Son objectif est de mettre à disposition des acteurs de terrain des connaissances qui leur permettront de mieux comprendre les enjeux relatifs à l'importance de la motricité comme base de la socialisation.

Le projet de recherche « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme »

Le projet de recherche fait coopérer des chercheurs en informatique, en psychologie cognitive et en psychopathologie développementale avec des professionnels de terrain spécialistes de l'autisme, psychologues et éducateurs.

J-C Martin et son équipe de chercheurs en Interaction Homme-Machine du LIMSI-CNRS pilote le projet en étroite interaction avec J. Nadel et son équipe de professionnels de l'autisme, de parents et d'enfants diagnostiqués. Les associations concernées, les professionnels et les parents participent à la mise au point de l'outil.

Dans le cadre de la recherche, les capacités en jeu pour réaliser une collaboration motrice entre deux personnes sont analysées : de quelles capacités a-t-on besoin pour porter à deux un objet trop lourd ou trop encombrant pour le porter seul ? ou pour lever pendant que l'autre pousse ? en quoi ces capacités jouent-elles un rôle dans l'intérêt que les enfants autistes peuvent porter à autrui ? Comment peut-on les aider, grâce aux nouvelles technologies, à acquérir ces capacités ? Telles sont les questions que notre revue de la littérature abordera. La promotion de l'égalité des chances est visée par le développement de capacités motrices collaboratives pouvant faciliter l'accès à des tâches professionnelles, à des activités sportives et à des interactions sociales à conséquences concrètes. Le logiciel sera applicable à différentes formes d'autisme : avec ou sans langage communicatif, avec ou sans déficit moteur, et à différents âges : enfants, adolescents et adultes. Les supports d'application fournis par le projet seront mis au service des acteurs de terrain qui pourront les utiliser gratuitement pour participer ainsi au développement des compétences motrices et sociales des personnes avec autisme.

Introduction

Etant donné la symptomatologie de ce trouble neurodéveloppemental caractérisé par des déficits sévères des interactions sociales et de la communication (APA, 2013), les recherches se sont d'abord focalisées sur le développement social. On a démontré le déficit en attention conjointe (Baird et al., 2000 ; Mundy, Sigman & Kasari, 1990) et son rôle dans le dépistage précoce (Baron-Cohen et al., 1992). Cette compétence sociale entre en jeu dans les tâches collaboratives en tant qu'elle concerne la convergence visuelle sur une cible mais les études en font rarement une composante de l'action motrice. Récemment les recherches sur les signes précoces ont montré que les spécificités motrices sont parmi les indices les plus précoces de risque d'autisme (Bryson et al., 2007 ; Ozonoff et al., 2008 ; Zwaigenbaum et al., 2005). Cela a motivé des études ciblées sur les compétences posturales et motrices basiques telles que résister à la pesanteur (Bullinger, 2015), ou être capable d'anticipation posturale (Schmitz, Martin & Assaiante, 2002). Les séquences motrices ont fait l'objet d'études montrant que l'atteinte se situe au niveau de leur organisation au service d'une action finalisée (Rinehart, Bradshaw, Brereton & Tone, 2001). Ces éléments sont très utiles à prendre en compte dans l'élaboration de tâches collaboratives, mais ils concernent la motricité individuelle appliquée à l'environnement physique, non à un partenaire social. Pourtant la motricité est considérée comme la base du développement de la socialisation (McDonald, Lord & Ulrich., 2013).

Beaucoup de situations d'interaction avec des objets physiques sollicitent la collaboration avec quelqu'un d'autre: un objet trop lourd pour le porter seul, un objet trop grand pour le tenir des deux mains, un objet trop glissant pour le retenir des deux bras, un matériel compliqué pour être manipulé seul... Comme ces situations impliquent l'autre, on peut se demander de quoi les enfants avec Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) sont capables dans ce domaine, eux qui ont de telles difficultés d'interaction sociale. On peut aussi faire l'hypothèse que développer cette forme concrète de collaboration peut améliorer les relations sociales en même temps que les capacités motrices. Cette question est d'autant plus intéressante qu'aider l'autre physiquement ne nécessite pas de se parler, et donc qu'une situation de collaboration motrice peut inclure des personnes non verbales. Que nous apprend la littérature sur ce point ?

Nous allons tenter de répondre à cette question en analysant les articles qui étudient les capacités et difficultés des personnes avec autisme dans les situations de tâches motrices à deux. Nous verrons que des termes différents sont utilisés par les auteurs pour décrire les relations développées. Nous décrirons les tâches utilisées. Ceci constituera la première partie de notre article de revue de la

littérature. Lorsque nous aurons exploré ces éléments et synthétisé les résultats concernant les populations avec TSA, nous laisserons la parole à nos collègues informaticiens qui exploreront dans une deuxième partie la littérature renseignant sur l'utilisation des nouvelles technologies dans les dispositifs permettant d'entraîner les personnes avec TSA aux actions motrices à deux.

Enfin dans une troisième partie, nous examinerons les dispositifs d'entraînement moteur existants qui font appel aux nouvelles technologies.

Synthèse générale

I. Autisme et action motrice à deux : concepts, capacités impliquées, dispositifs et résultats

Les concepts ou mots clé

Plusieurs termes peuvent être utilisés pour décrire les situations d'action motrice à deux. Ces termes sont les suivants : coordination motrice, activité conjointe, interaction motrice, coopération motrice et collaboration motrice. 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. Parfois pourtant les différents termes peuvent être employés dans un même article, indiquant par là qu'ils sont considérés comme synonymes. On verra dans notre revue qu'il y a matière à se poser la question suivante : Y-a-t-il une différence dans les capacités motrices et sociales à développer selon que l'on parle de collaboration ou de coopération motrice par exemple ? Les dispositifs créés par les chercheurs peuvent nous aider à comprendre pourquoi ils parlent de coopération plutôt que de collaboration ou d'interaction motrice plutôt que d'action conjointe.

La coordination motrice étant le mot-clé le plus général incluant tous les autres, nous analyserons les capacités impliquées dans ce cadre, en les spécifiant au type d'action à deux s'il y a lieu.

Les capacités impliquées dans la coordination motrice

Remarquons tout d'abord que ce terme 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. Nous sommes dans une situation sociale.

- 1. Coordination motrice intra-individuelle

Pour réaliser une coordination motrice à deux, encore faut-il déjà être capable de coordination motrice individuelle. Une méta-analyse de 51 études nous présente un état des lieux (Fournier, Hass, Naik, Lodha et Cauraugh, 2010). Elle prend en compte 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, en se posant la question de savoir si les déficits de coordination motrice sont une caractéristique majeure sous-tendant le trouble du spectre de l'autisme : la réponse des auteurs est oui, en particulier dans ses aspects posturo-moteurs (cf. fiche documentaire). En prolongement de la méta-analyse, une étude mesure sur une plate-forme la stabilité posturale d'enfants avec TSA de 3 à 16 ans. Les auteurs montrent qu'un système postural immature est un facteur limitant l'émergence des autres capacités motrices surtout lorsqu'il s'agit d'activités dirigées vers un but. Selon les auteurs, l'équilibre postural est d'autant plus nécessaire pour les activités qui impliquent la modulation dynamique des articulations (Radonovich, Fournier & Hass, 2013), y compris la possibilité de réaliser des performances impliquant l'enchaînement de plusieurs séquences. Il faut ajouter que les séquences motrices ont fait l'objet d'études montrant que le déficit se situe aussi au niveau de leur organisation cognitive au service d'une action finalisée (Rinehart, Bradshaw, Brereton & Tone, 2001) : à des compétences physiques s'ajoutent des compétences cognitives de planification de l'action.

L'idée d'un déficit moteur global dans l'autisme n'est pas partagée par tous les spécialistes. Ainsi dans une étude portant sur la préhension et la force de prise des objets, on ne trouve pas de différences entre des enfants avec TSA entre 2 et 6 ans, et des enfants typiques ou des enfants avec retard de développement. Le timing de l'action en revanche différencie les enfants avec TSA des enfants typiques, mais pas des enfants avec retard de développement. La conclusion de l'étude suggère un retard de la coordination motrice plutôt qu'un trouble spécifique (David, Baranek, Wiesen, Miao & Thorpe, 2012). Il faut noter cependant que dans cette étude l'enfant doit soulever un objet en position assise. De ce fait ni la motricité globale ni l'équilibre postural ne sont en jeu. La position assise rend possible une motricité manuelle que peut mettre en question la station debout dans le cas d'équilibre postural difficile.

Curieusement, un élément essentiel d'une motricité dirigée vers un but échappe à la recherche : la connaissance de son corps. Si l'enfant ne fait pas le lien entre ce qu'il se sent faire et ce qu'il voit, quelle coordination motrice à deux peut-on espérer ? Nous dépistons ce type de déficit en utilisant la plate-forme kinect (Nadel & Poli, 2018). Kinect est une caméra capteur de mouvements. L'enfant se voit sur écran sans inversion d'image. Certains enfants non verbaux avec autisme sévère ne sont nullement

intéressés par ce double en deux dimensions qui fait les mêmes mouvements qu'eux en synchronie. Il s'ensuivra toute une thérapie destinée à faire émerger le couplage de la proprioception et de la vision. Cette condition basique de la coordination motrice à deux ne doit pas être oubliée.

- 2. Coordination motrice interindividuelle

Les informations concernant la motricité individuelle dans l'autisme sont très utiles à prendre en compte dans les tâches impliquant la coordination motrice entre deux personnes. Ainsi la fragilité de l'équilibre postural peut affecter l'anticipation posturale nécessaire à la collaboration motrice avec un partenaire (Schmitz, Martin, & Assaiante, 2002). Mais l'addition de deux motricités individuelles ne suffit pas pour réussir une action motrice à deux. Comme pour toute interaction entre deux personnes, il faut prendre en compte le comportement de l'autre. Il s'agit d'un point très important qui justifie de considérer la motricité comme la base du développement de la socialisation (McDonald, Lord & Ulrich., 2013). Plusieurs aptitudes sociales sont impliquées dans une motricité à deux.

2.1. Les composantes sociales de la coordination motrice interindividuelle

2.1.a. *L'aptitude à suivre le regard de l'autre*

L'aptitude à suivre la direction du regard de l'autre permet l'attention conjointe qui joue un rôle important dans l'action conjointe (Sebanz, Bekkering, & Knoblich, 2006). Cette compétence sociale entre en jeu dans les tâches motrices à deux en tant qu'elle concerne la convergence visuelle sur une cible. Dans une situation d'imitation où un robot est l'initiateur de l'imitation, le robot regarde ou non la localisation future de sa main. Les résultats montrent que l'absence de regard à la cible affecte l'action conjointe en réduisant le processus de prédiction et de coordination (Khoramshahi, Shukla, Raffard, Bardy, & Billard, 2016 ; Volcic & Lappe, 2009). Dans la situation d'imitation gestuelle utilisée, suivre le regard du partenaire permet de partager la planification de la tâche et de parvenir à un partage de la tâche. L'idée ici est de mettre l'accent sur la place du regard dans l'action conjointe. La recherche citée concerne les populations typiques. Il faut constater la rareté de recherches étudiant la relation entre attention conjointe et activité conjointe dans l'autisme. Ce n'est pas sans rapport avec la démonstration consensuelle d'un déficit en attention conjointe dans l'autisme (Baird et al., 2000 ; Baron-Cohen, Allen, & Gillberg, 1992 ; Mundy, Sigman, & Kasari, 1990). S'il est difficile de suivre le regard de l'autre et de rencontrer son intérêt pour une cible, l'action motrice à deux est sans doute rendue plus incertaine. Une étude de corrélation entre performance coopérative d'enfants avec TSA et attention conjointe montre une relation significative entre les deux capacités, et met en question

l'idée d'une impossibilité de coopération si l'on ne comprend pas l'intention de l'action (Colombi et al., 2009).

2.1.b. L'aptitude à planifier un mouvement en fonction du mouvement de l'autre

Pour réussir une action motrice à deux, il convient d'intégrer les caractéristiques des mouvements du partenaire dans sa propre planification du mouvement. Plusieurs études ont abordé ce problème. Citons d'abord celle de Rosenbaum et Jorgensen qui prennent pour option le fait que les mouvements sont planifiés de façon à être réalisés avec le maximum d'aisance et de stabilité dans la posture finale (Rosenbaum & Jorgensen, 1992). Pour obtenir une posture finale confortable, la posture initiale doit elle-même être aisée. De ce fait, la prise de posture initiale est un bon indicateur d'une planification efficace. Un mauvais placement initial par rapport à un objet aboutira à une posture finale inconfortable. Un mauvais placement initial d'un des partenaires aboutira à une posture inconfortable de l'autre et à une possible échec de l'action motrice à deux. Cet effet final de la posture de départ a été répliqué par plusieurs chercheurs dans des populations typiques (Haggard, 1998 ; Cohen & Rosenbaum, 2004 ; Weigelt, Kunde, & Prinz, 2006). Gonzalez, Glazebrook, Studenka, & Lyons (2013) utilisent ce paradigme de la position de départ pour étudier les capacités de planification dans l'autisme (cf. fiche documentaire). Les participants doivent d'abord prendre, utiliser ou poser trois objets plus ou moins fixés dans leur fonction (dont un petit marteau). Ensuite ils doivent passer ces objets à un partenaire qui les posera ou les utilisera. On mesure le confort de la posture de départ pour le participant quand il utilise lui-même l'objet ou quand il doit passer l'objet à un partenaire. On mesure aussi le confort postural du partenaire quand on lui passe l'objet (par exemple, est-ce qu'il peut utiliser directement le marteau, ou doit-il changer de posture ou de prise). Les résultats montrent que la planification du mouvement pour passer l'objet n'aboutit pas systématiquement à une posture confortable pour le partenaire, et donc qu'il n'y a pas un planning stable chez les participants autistes.

Les résultats de plusieurs recherches vont dans le sens d'une planification d'autant plus difficile que les tâches motrices sont plus complexes (Dowd, McGinley, Taffe, & Rinehart, 2012 ; Glazebrook, Elliott, & Szatmari, 2008 ; Nazarali, Glazebrook, & Elliott, 2009). Des éléments cognitifs doivent alors être pris en compte comme le montrent les expérimentations de Paulus (2016 ; cf. fiche documentaire) impliquant des enfants typiques de 3, 5 et 7 ans et des adultes. Dans ces recherches qui utilisent une procédure proche de celle de Gonzalez et collègues (2013), il s'agissait de passer un outil à quelqu'un pour qu'il puisse ouvrir un mécanisme placé verticalement ou horizontalement. Cette tâche peut paraître simple et cependant elle implique d'être capable de se décentrer et prendre la perspective de

l'autre, en imaginant être physiquement à sa place. Par ailleurs il faut comprendre que l'autre va devoir réaliser sa part de l'action sur la base et en continuité de celle réalisée par soi. Le but final est la résultante de l'association de deux sous-buts différents : le premier sous-but est de tendre l'outil dans une position adaptée au sous-but de la partenaire qui est d'ouvrir un mécanisme avec l'outil dans la bonne orientation. Il y a deux rôles différents avec des objectifs différents tendant vers un objectif final commun. La coordination motrice est ici réalisée dans une complémentarité de deux actions différentes successives dont il faut imaginer la planification d'ensemble. Une telle situation à deux rôles peut expliquer les difficultés de planification constatées.

2.1.c. l'aptitude à coordonner des rôles

Il en ressort l'idée que la coordination motrice interindividuelle peut exiger une planification plus importante dans le cas où elle concerne 2 actions motrices différentes et successives représentant deux rôles distribués entre les partenaires. Ce type de tâche est souvent considéré comme une tâche coopérative. Malheureusement la définition d'une tâche collaborative n'est pas claire, malgré quelques tentatives comme celle de Liebal et co-auteurs (Liebal, Colombi, Rogers, Warneken & Tomasello, 2008, cf. fiche documentaire) . L'option des auteurs est que l'aide implique la compréhension du but du partenaire, tandis que la coopération exige en plus le partage de l'intention. Ils font l'hypothèse que les jeunes enfants avec TSA devraient pouvoir aider quand la situation est simple (par exemple aider à ramasser quelque chose) mais qu'ils devraient être en difficulté pour coopérer étant donné leur déficit en compréhension des intentions. Ce n'est pas ce que montrent leurs résultats car les enfants avec TSA arrivent bien à coopérer. Les auteurs font remarquer que leurs tâches sont axées sur l'intention par rapport à un objet, ce qui est plus accessible dans l'autisme. Les mêmes auteurs utilisent les mêmes tâches, cette fois pour analyser les corrélats de la coopération dans l'autisme (Colombi et al., 2009). Ils proposent à des enfants avec TSA de 30 à 57 mois d'âge chronologique, et de 16 à 53 mois d'âge développemental, quatre types de tâches qu'ils nomment toutes coopératives mais dont nous allons voir que les caractéristiques sont distinctes. La première tâche, nommée tâche de l'ascenseur consiste pour l'un des enfants à pousser un cylindre tandis que l'autre retire l'objet qui sort du cylindre. Il y a bien deux rôles différents et successifs pour un objectif commun : retirer l'objet, mais 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. La coordination motrice n'est pas au premier plan. Une deuxième tâche est de même nature : à partir d'un système de double tubes montés en parallèle sur une boîte, l'un des enfants doit envoyer un jouet dans le tube et l'autre l'attraper dans le second tube.

Plus intéressant est d'analyser les deux autres tâches, toujours appelées coopératives. Dans la tâche 3, il s'agit de retirer un jouet d'un tube d'1m10 de long et de 10 cm de diamètre qui ne peut s'ouvrir que si l'on tire en même temps de chaque côté, ce qui est impossible tout seul. 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 : la planification est beaucoup plus simple. Les mouvements sont-ils facilités ? Il est dommage que les auteurs n'aient pas cherché à traiter cette question. Mais un cadre théorique issu de la théorie des systèmes dynamiques et appelé 'coopération incarnée' (embodied cooperation) a rassemblé des données susceptibles de nous éclairer.

Dans la perspective dynamique où l'on étudie les éléments physiques du mouvement et pas seulement les aspects cognitifs, les contraintes motrices sont les mêmes, seul ou à deux, car 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 » ("embodied cooperation") s'est créé sur la base de l'idée que les mouvements d'un autre étendent les possibilités d'action d'un individu. Le mouvement de l'autre offre des possibilités nouvelles pour nos propres actions, de même qu'un outil offre plus de possibilités d'actions que nos mains nues : on peut parler d'affordance. L'affordance est un terme désignant ce qui est offert de possibilités par l'interaction entre un individu et son environnement physique (Gibson, 1977). Par l'intermédiaire de la coopération, l'environnement social permet lui aussi des affordances nouvelles pour la motricité de chacun. 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 collaboratives 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, 2011).

L'idée que les effecteurs du corps s'auto-organisent 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.

2.1. d. Similitude et synchronie : l'aptitude à coupler la perception de l'action de l'autre et sa propre action

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 (Decety & Grèzes, 1999). Cependant la référence à l'autre induite par l'observation de l'action reste interne à l'individu. Il faut que le couplage perception-action soit conjoint pour mettre en correspondance ses mouvements dans l'action motrice à deux. Couplage perception-action croisé, c'est-à-dire que chacun se voit faire les mêmes actions que l'autre, pour qu'il y ait effet social direct du système miroir : l'imitation immédiate peut être considérée comme une *motricité partagée* (Nadel, 2016). En effet, la similitude et la synchronisation des actions réalisées supposent l'adaptation de sa motricité à la motricité de l'autre et donnent les moyens de former des représentations motrices communes avec autrui (Jeannerod, 2001).

L'idée que l'imitation synchrone est la plus élémentaire situation de connexion socio-émotionnelle est attestée par des études portant aussi bien sur les adultes typiques (Chartrand & Bargh, 1999), sur des enfants préverbaux typiques (Nadel & Baudonnière, 1982), que sur des enfants avec TSA (Nadel, 2016). Elle 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 unité d'action est d'autant plus simple à réaliser que l'on fait la même chose en même temps. 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 (Hove & Risert, 2009). D'ailleurs elle a un effet cérébral similaire à une bouffée d'ocytocine, l'hormone de l'attachement, dans le cas d'autisme (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.

Plusieurs recherches utilisent l'imitation synchrone comme un paradigme permettant d'évaluer les effets de la similitude et de la synchronisation dans la motricité collaborative. On mesure ainsi avec des populations typiques, le délai temporel entre les trajectoires des mains de deux partenaires qui doivent s'imiter (Noy, Deckel & Alon, 2011).

L'imitation synchrone est utilisée en psychomotricité de groupe pour des enfants avec TSA, dans le cadre de la Thérapie d'Echange et Développement (Barthélémy & Bonnet-Brilhaud, 2012 ; Le Menn-Tripi, 2013) ou de la médiation psychomotrice de groupe (Bruandet, 2013). Chaque partenaire harmonise ses mouvements propres aux mouvements d'ensemble : la synchronie est traitée comme un tempo moteur. Ces entraînements ressemblent à certaines tâches décrites par Colombi et collègues (2009). Il faut remarquer que les mouvements sont libres, pourvu qu'ils respectent un tempo commun. Au contraire, des situations dans lesquelles un dialogue moteur est nécessaire, comme tirer à chaque bout d'un cylindre pour qu'il s'ouvre, ou porter ensemble une bassine, demandent plus d'articulation entre les mouvements des deux partenaires. Nous les avons appelées collaboratives, pour les distinguer des situations où la coordination implique des mouvements différents mais complémentaires, synchrones ou successifs, plus souvent nommées situations coopératives.

II. Autisme et technologies interactives : des éléments pour une action motrice en interaction humain-machine (IHM)

En écho à la partie précédente étudiant l'action motrice à deux d'un point de vue des spécificités de l'autisme, cette partie est décomposée en deux grandes sections : la première concerne les dispositifs humain-machine pour l'action motrice individuelle et la deuxième partie traite des dispositifs pour l'interaction dyadique humain-machine.

Les dispositifs humain-machine pour l'action motrice individuelle

1. Les exergames commerciaux : capteurs bas coût et activité physique ludique

Les applications sportives interactives (et les capteurs associés) se développent dans l'industrie du jeu vidéo depuis maintenant 10 ans. On retrouve une grande variété de système de captation comme la guitare du jeu Guitar Hero, le tapis interactif du jeu Dance Dance Revolution ou encore la plateforme de force Wiibalance de Nintendo. Les deux plus gros succès que sont la Wiimote de Nintendo, qui capture les mouvements de la main tenant une manette Wiimote, et la Kinect de Microsoft, qui capture les mouvements du corps avec une caméra de profondeur, ont très vite intéressé les chercheurs. Ce sont en effet des capteurs peu chers pour leur qualité et vendus avec des contenus ludiques impliquant une activité physique (i.e., les exergames). Dans le contexte actuel où le manque d'activité physique est désormais identifié comme un facteur de risque pour la santé, diverses recherches ont étudié la possibilité d'utiliser ces exergames pour inciter les personnes âgées à augmenter leur activité physique (Brox, Luque, Evertsen, & Hernandez, 2011), ou encore pour combattre l'obésité (Lyons, Tate, Komoski, Carr, & Ward, 2012 ; Staiano, Abraham, & Calvert, 2012 ; Lamboglia et al., 2013). Dans leur revue sur les bénéfices de l'intégration d'exergames au sein de cours d'éducation physique, Staiano & Calvert (2011) relèvent chez les enfants des progrès en termes d'énergie dépensée durant le cours, de fréquence de pratique d'une activité physique au quotidien, d'interaction sociale et de performance cognitive.

2. L'interaction corps entier pour la reconnaissance des émotions et l'expression corporelle

C'est au niveau des thérapies sensorielles que des projets impliquant le corps dans sa dimension expressive ont vu le jour. Le projet MEDiate est un des premiers projets de recherche proposant un

environnement immersif et multisensoriel ayant pour but de développer le sens du contrôle (« agency ») ainsi qu'un sens de l'expression créative chez des enfants avec TSA (Pares, Masri, Wolferen, & Creed, 2005). Basé sur des capteurs de pression au sol sous un tapis et sur la reconnaissance de la parole, ce dispositif qui utilise la plateforme EyesWeb est équipé de deux écrans géants et d'une zone d'impressions tactiles. Le système s'adapte en temps réel aux actions de l'enfant tout en évitant les comportements répétitifs. Pour ce faire, il modifie ses paramètres d'interaction en fonction de ce qu'il détecte de l'activité de l'enfant, comme par exemple attirer vers un stimulus différent si un comportement répétitif est détecté. L'apport principal de ce projet est double. C'est tout d'abord un des premiers projets interactifs destiné aux enfants TSA impliquant l'ensemble du corps, démontrant la faisabilité technologique d'un tel dispositif. Il propose également un système de régulations destinées aux enfants avec TSA, adaptant la complexité de l'interaction (fonction des types d'associations action – stimulus) et la richesse de l'interaction (nombre de modalités sensorielles impliquées). Cette possibilité d'adaptation en fonction des comportements de l'enfant permet de préserver son engagement et favoriser son autonomie dans l'installation. Le projet MEDIANE ne tient pas compte des mouvements du corps en détail, ne permettant pas de travailler finement sur des questions tel que la conscience du corps ou l'expression corporelle. Le projet SensoryPaint (Ringland et al., 2014) propose de combler ce manque en présentant un dispositif interactif pour l'intervention sensorielle multimodale basé sur la captation de la silhouette de l'enfant, notamment grâce à l'utilisation de la caméra de profondeur Kinect. L'enfant voit sur un écran sa silhouette dont la couleur varie en fonction de la distance par rapport à l'écran, et peut se saisir de boules réelles qui, une fois détectées par le système, deviennent des pinceaux virtuels. Dans le contexte des thérapies sensorielles, ce projet explore l'impact d'une telle interaction (via sa propre silhouette sur un écran) ainsi que du mode d'interaction (libre sans modèle ou avec un guide de coloriage sur l'écran) sur la compréhension que l'enfant a de son corps. Les auteurs soulignent l'importance d'alterner les interactions guidées et libres, de permettre la participation dans le jeu du praticien et de ne pas négliger l'aspect amusant de l'interaction. Comme on le verra dans la section III, Nadel et Poli ont de leur côté utilisé Kinect dans 3 modalités pour évaluer et entraîner le calibrage du mouvement et la reconnaissance de soi chez les enfants avec TSA (Nadel et Poli, 2018).

Les dispositifs humain-machine pour l'action motrice à deux

Un certain nombre de courants de l'Interaction Humain-Machine s'intéressent aux interactions sociales, et plus particulièrement aux interactions dyadiques. Les interactions supportées par ces

dispositifs peuvent prendre de multiples formes, synchrones ou asynchrones, chaotiques ou structurées, ponctuelles ou prolongées. Dans ce projet, nous nous intéressons aux interactions synchrones et dynamiques, c'est-à-dire qui impliquent le mouvement des deux personnes de la dyade en même temps. Conçu tantôt pour étudier et comprendre les interactions sociales, tantôt pour entraîner les compétences sociales, le point commun des différents dispositifs décrits dans cette section est qu'ils réduisent la complexité de l'interaction dyadique afin de la rendre appréhendable par des enfants avec TSA.

- 1. L'interaction tangible et tactile pour la collaboration

1.1 Favoriser l'interaction sociale avec les TUI (Tangible User Interface)

L'interaction tangible (parfois appelé « interface attrapable ») consiste à équiper d'informatique un objet réel comme un jouet, afin qu'il puisse être utilisé, par exemple par des personnes avec TSA 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). Pour les enfants, ces interfaces sont particulièrement ludiques et facilitent les interactions en groupe de par les multiples points d'accès qu'elles procurent (aussi bien dans la manière d'interagir avec un objet que dans l'interprétation subjective de cette interaction ; Fernaeus, Tholander, & Jonsson, 2008).

Dans le domaine de l'autisme chez l'enfant, des thérapies basées sur les activités de jeux en groupe se développent comme par exemple avec l'utilisation de LEGOs (Legoff & Sherman, 2006). Ce type d'activité est particulièrement intéressant pour travailler la communication verbale et non verbale, l'attention conjointe, la résolution de problème collaborative et les mécanismes de tour de rôle. Surtout, l'activité est plus acceptée par les enfants car elle se base sur des jeux à manipuler issus de la vie de tous les jours. Un des points clé de ce type de thérapie est de simplifier une dimension de l'interaction sociale, par exemple ici en explicitant les rôles de chaque enfant pour faciliter les interactions : un des enfants est l'ingénieur, l'autre le constructeur, le troisième est le fournisseur de ressources. Partant de cet intérêt pour les systèmes de constructions passifs (i.e., non interactif), Farr, Yuill, & Raffle (2010) étudient les bénéfices d'utiliser dans ce type de thérapie des jeux « augmentés » (aussi appelé des Tangible User Interface, ou TUI). Les mécanismes de feedbacks (visuels, kinesthésiques ou audios) rendent les objets plus intéressants et augmentent la visibilité des actions

et de leurs conséquences pour les enfants avec TSA. Dans une première étude, Farr et al. (2010) évaluent l'utilisation d'une TUI appelée Topobo, un jeu de construction avec mémoire cinétique programmable (Raffle, Parkes, & Ishii, 2004). Le double intérêt de ce jeu est qu'il est programmable, ce qui encourage l'engagement de l'enfant. Les créatures dynamiques construites attirent l'attention et offrent des occasions d'interactions sociales. Dans une deuxième étude, cette même équipe augmente de manière sonore un jeu avec un château et des figurines médiévales (Farr, Yuill, & Hinske, 2012). C'est le positionnement des figurines, grâce à des puces RFID (Radio Frequency IDentification), qui déclenchent des sons pré-enregistrés. Ici aussi, le fait de permettre à l'enfant de configurer soi-même le dispositif (i.e., choisir les contenus sonores) est considéré comme central : les sons augmentent l'affordance et donc la compréhension du système, la personnalisation facilite la prédictibilité. La table interactive « Reactable » a été conçue pour les performances de musique en direct (Jordà, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007). Elle permet de mixer des sons via des contrôleurs tangibles. Une tentative d'application pour l'entraînement aux habilités sociales a été réalisée mais la complexité du système aussi bien pour les enfants que pour les thérapeutes semble avoir limité son intérêt (Villafuerte, Markova, & Jorda, 2012). En résumé, les interfaces tangibles offrent la possibilité de faciliter l'interaction sociale lors de thérapies de groupes mais restent limitées dans les contraintes qu'elles peuvent imposer à la situation, notamment pour réduire la complexité sociale et travailler certaines compétences spécifiques.

1.2 Les tables interactives et les environnements virtuels pour la collaboration

Contrairement aux interfaces tangibles, les dispositifs de collaboration décrits dans cette section sont des applications entièrement digitales accessibles via un écran. Les systèmes d'interaction étant donc en deux dimensions et virtuels, il devient plus aisé pour le chercheur de contraindre les règles du jeu ainsi que d'analyser les patterns de collaboration qui se mettent en place. Pour les tables interactives et les tablettes, l'application digitale est présentée sur un écran tactile partagé (i.e., les participants sont assis autour de la table) offrant des libertés au niveau des interactions sociales. Alors que dans le cas des environnements virtuels pour la collaboration, chaque utilisateur est seul face à un écran et ne peut interagir avec une autre personne qu'au travers de l'interface. Dans ce cas, c'est le contrôle de l'interaction qui est privilégié par le chercheur.

Les tables interactives ont été développées dans l'objectif de faciliter la collaboration dans un contexte professionnel, notamment pour les cas de résolution créative de problèmes (Buisine, Besacier, Aoussat, & Vernier, 2012). Des sujets comme la taille et l'orientation de l'écran, la territorialité ou les techniques d'interaction ont été étudiées dans de nombreuses études. La possibilité pour le dispositif

d'identifier chaque utilisateur indépendamment (i.e., identifier l'utilisateur pour chaque doigt touchant la surface), comme sur la table DiamondTouch (Dietz & Leigh, 2001), est un élément clé de ces dispositifs. Des projets de tables interactives à destination des enfants avec TSA ont vu le jour assez rapidement : elles permettent la manipulation directe d'objets digitaux avec le toucher et évitent la crainte de l'isolement social en proposant des activités collectives. L'intérêt pour les chercheurs est de pouvoir concevoir des applications qui utilisent différents types de contraintes ou stratégies pour motiver ou forcer des activités collaboratives entre les enfants (Battocchi et al., 2010 ; Boyd et al., 2015 ; Gal et al., 2009 ; Giusti, Zancanaro, Gal, & Weiss, 2011 ; Piper, O'Brien, Morris, & Winograd, 2006 ; Silva, Raposo, & Suplino, 2015). Le fait de structurer ainsi l'interaction sociale la rend plus abordable aux enfants avec TSA car plus prédictible. Le projet SIDES utilise la table DiamondTouch pour développer un jeu coopératif pour quatre joueurs où les enfants doivent construire ensemble un chemin pour une grenouille sur des nénuphars (Piper, O'Brien, Morris, & Winograd, 2006). L'activité mobilise les compétences de négociation, de tour de rôle, d'écoute active et de prise de perspective. L'interaction est structurée en tours, chaque enfant ayant son tour et ses boutons que seul lui peut activer (ce qui empêche un autre enfant de finir l'action d'un autre enfant). Il décide par lui-même quand passer son tour via un bouton spécifique. Gal et al. (2009) développent la StoryTable, où des dyades d'enfants avec TSA sont impliquées dans la narration collaborative d'une histoire. Les enfants doivent choisir ensemble les éléments de l'histoire tels que le personnage et le fond d'écran. Certaines actions ne peuvent être faites que par un enfant alors que d'autres doivent être faites de manière conjointe, par exemple pour la sélection du fond d'écran (i.e., le bouton doit être touché à deux). Cette contrainte du « toucher ensemble » est un exemple de ce que Battocchi et al. (2010) appellent le paradigme de la collaboration forcée. Ces derniers proposent une tâche de puzzle collaboratif, tâche plus accessible aux enfants avec TSA car elle s'appuie sur des compétences visuo-spatiales. Une dyade d'enfants avec TSA doit réaliser un puzzle de 16 pièces via une série de gestes coopératifs : toucher ensemble, déplacer ensemble, lâcher ensemble. Un feedback sonore indique si l'action conjointe est correcte ou non. La consigne précise aux enfants que l'objectif n'est pas la rapidité mais qu'il est plus important qu'ils s'aident et s'amusent. Les auteurs indiquent que ces règles de collaboration forcée induisent des comportements de facilitation sociale chez les enfants avec TSA. Dans l'objectif de s'intégrer dans une thérapie cognitive comportementale, Giusti, Zancanaro, Gal, & Weiss (2011) conçoivent une série de mini-jeux pour développer trois dimensions de la collaboration : l'action conjointe, le partage de ressources et la planification mutuelle. Pour l'action conjointe, les deux enfants doivent déplacer ensemble un panier sous des arbres pour réceptionner des pommes qui tombent. La difficulté peut varier fonction du nombre de pommes qui tombent et de leurs distances au sol. Une autre version du jeu implémente des rôles différents pour chaque enfant : un des enfants

touche des étoiles pour les faire tomber tandis que l'autre déplace le panier pour les réceptionner. Enfin, pour le dernier jeu, la dyade doit reconstruire un pont mais chaque enfant n'a accès qu'à une partie des pièces nécessaires. Les auteurs font ressortir l'importance de considérer le rôle du praticien dans l'interaction qui implique deux enfants avec TSA : un système de validation au toucher par le praticien permet de garder le contrôle sur le déroulement de l'activité dyadique (par exemple en tempérant les actions d'un enfant impulsif). Ce découpage en trois dimensions de la collaboration est repris par Boyd et al. (2015) dans le cas d'une étude sur l'utilisation en dyade d'un jeu commercial sur Ipad (i.e., Zody). Pour les auteurs, les choix de conception peuvent encourager trois niveaux de relations sociales : le partage des ressources et des rôles encourage le sentiment d'appartenance à un groupe, les actions coordonnées encouragent la relation de collaboration et le partage d'expérience encourage la relation amicale. Silva, Raposo, & Suplino (2015) proposent une autre taxonomie de schéma de collaboration le long d'un continuum allant du plus simple au plus complexe : partage passif (rôles complémentaires et échanges de ressources) ; partage actif (échange d'information et besoin de communication) ; performance conjointe (actions simultanées et activité collaborative) ; interactions non restreintes (interaction libre). L'idée des auteurs est d'encourager graduellement l'enfant à collaborer en partant d'une interaction très structurée. On notera que bien que les auteurs parlent d'action simultanée, les actions des enfants restent complémentaires préservant ainsi les rôles de chacun.

Certains projets prennent le parti de réduire encore la complexité de l'interaction sociale en proposant des jeux de collaborations à distance : on parle d'environnement virtuel de collaboration. L'autre avantage de ces projets est qu'ils se basent sur les ordinateurs grand public facilitant potentiellement leur implémentation sur le terrain. Wade et al. (2017) présentent un jeu de pong collaboratif pour enfants avec TSA appelé DOSE (Dyad-Operated Social Encouragement). Le jeu présente quatre modes différents : un mode « seul » pour pratiquer, un mode « dyade contre l'intelligence artificielle » où les deux enfants partagent le clavier pour diriger la barre (paradigme de la collaboration forcée), un mode « rally » où les deux enfants ont chacun une barre et doivent se faire le maximum de passes et enfin un mode « compétition ». La difficulté est gérée en changeant la taille de la balle, la taille de la barre et le niveau de l'intelligence artificielle (i.e., en jouant sur probabilité que l'opposant virtuel rate la balle). Les auteurs pointent l'importance d'enregistrer des données quantitatives pendant les phases de jeux afin de proposer différentes métriques pouvant être utilisées par les praticiens. Les données présentées dans ce projet restent cependant limitées : l'application donne accès au score de la dyade, au nombre de mots par minute de la dyade, à la différence de mots entre les enfants de la dyade et la différence de score entre les enfants de la dyade. Avoir une interaction dyadique à distance permet de contrôler ce que perçoit chacun des membres de la dyade, ce qui offre d'autres possibilités

d'interdépendance dans le contexte d'un jeu de collaboration. Dans l'application CoMove (Zhang et al., 2018), la dyade d'enfants avec TSA doit réaliser un tangram (puzzle de sept pièces formant un carré). Trois modes sont implémentés : jeu à tour de rôle où chaque enfant fait une action à tour de rôle, jeu de partage d'informations où un des enfants n'a pas les couleurs des pièces et doit donc échanger avec son partenaire, et le jeu de collaboration où les enfants doivent bouger les pièces simultanément. Un enregistrement de données quantitatives est réalisé : temps de début et de fin du jeu, fréquence des succès, informations de déplacement des pièces et données audio des communications verbales. Les mesures de progression des enfants présentées dans cet article sont essentiellement basées sur une annotation a posteriori de la communication verbale (e.g., nombre de questions, nombre de renforcements positifs).

Au travers de ces projets, il ressort l'importance de bien décomposer ce qui fait la collaboration pour mieux ajuster le niveau de complexité de la tâche. Les modèles derrière ces décompositions restent cependant arbitraires et un meilleur ancrage théorique permettrait une meilleure articulation avec les thérapies existantes. On retrouve aussi le rôle central du praticien qui doit pouvoir réguler l'interaction ainsi que collecter des données en fin d'intervention. Sur ce dernier point, les métriques d'évaluation de la collaboration restent encore très limitées. Enfin, bien qu'assez souvent implémentée, l'action de déplacer à deux un objet virtuel n'a pas été étudiée en détails : les recherches quantifient le nombre de fois que l'action conjointe est menée sans regarder comment celle-ci est réalisée.

2. Les agents anthropomorphes pour l'interaction non verbale

Un agent virtuel est un personnage animé (2D ou 3D) dont les comportements (expressions faciales, mouvement du corps, regard, ...) sont contrôlables. Ils peuvent donc servir à concevoir des vidéos d'animation qui seront ensuite sélectionnées et affichées durant l'interaction, ou même réagir en temps réel aux comportements de l'utilisateur durant l'interaction. Selon les plateformes informatiques et prototypes de recherche utilisés, ces agents virtuels peuvent être plus ou moins expressifs, et plus ou moins interactifs en temps réel. Ils sont particulièrement pertinents pour la simulation et l'entraînement de compétences sociales. Les agents virtuels animés ont en effet de multiples avantages par rapport à des vidéos préenregistrées de personnes. Leurs expressions non-verbales (par exemple expressions faciales, regards, postures) peuvent être contrôlées plus finement. Quand ils sont réellement interactifs (et donc pas seulement des vidéos préenregistrées), ils peuvent servir à entraîner des comportements continus et fins (par exemple suivi du regard comme nous le verrons plus loin). Ils sont ainsi vus comme un bon compromis entre contrôle expérimental et validité écologique pour étudier et simuler des interactions sociales à l'aide de comportements verbaux et

non-verbaux. Certains de ces prototypes ont été conçus pour et évalués par des personnes avec TSA. D'autres prototypes ont été développés pour des utilisateurs neurotypiques, dans le but par exemple d'entraîner des personnes à passer des entretiens d'embauche ou prendre la parole en public. Il nous paraît cependant utile de les considérer ici car ils entraînent à des compétences de base (comme sourire au bon moment, porter son attention sur ses interlocuteurs) qui sont utiles pour des enfants et adolescents avec TSA, que ce soit lors d'interactions sociales dans un milieu scolaire ou pour aider certains adultes avec TSA à passer des entretiens d'embauche, ou encore pour mener des interactions sociales de qualité dans leur vie quotidienne.

L'utilisation d'agents virtuels dans la littérature peut être vue sous deux angles : 1) permettre des études expérimentales pointues visant à mieux comprendre certains déficits spécifiques des personnes avec TSA (souvent sans contexte situationnel très riche), et 2) à un niveau plus macroscopique, concevoir et évaluer des systèmes d'entraînement virtuel à des compétences sociales (souvent dans une ou plusieurs situations d'interaction spécifiques).

De nombreuses études ne permettent pas un apprentissage réel de compétences en interaction sociale dyadique car les comportements de l'utilisateur n'impactent pas les comportements de l'agent virtuel : il s'agit juste de présentation non interactive avec un agent virtuel et un utilisateur (Grynszpan, Martin & Nadel, 2008). Ces compétences en ajustement dynamique en temps réel durant les interactions sociales doivent justement être entraînées chez les personnes avec TSA. Dans la suite de cette section, nous décrivons des prototypes de recherche dans lesquels le comportement de l'utilisateur impacte les comportements sociaux de l'agent virtuel durant une interaction dyadique. Une revue de questions plus large incluant les utilisations d'agents virtuels dans le cas de présentation non interactive avec un agent virtuel et un utilisateur, ou d'utilisation de plusieurs agents virtuels en même temps peut être trouvée dans l'article de Martin (Martin, 2018).

Dans des situations d'apprentissage, l'interaction avec des pairs a montré des résultats positifs (Bowman-Perrott et al., 2013). Un système exploitant cette piste permet à un enfant autiste de jouer avec des objets physiques comme les éléments constitutifs d'une maison pour enfant, tout en interagissant avec un enfant virtuel à propos de ce jouet (Tartaro, Cassell, Ratz, Lira, & Nanclares-Nogués, 2014). Même si les objets physiques ne sont pas interactifs, ils permettent d'ancrer les interactions sociales dans le monde physique et réel.

III. Autisme et entraînement de l'action motrice individuelle et à deux par des technologies interactives

La mobilisation de compétences à la fois motrices et sociales dans les exergames commerciaux a suscité l'intérêt de chercheurs dans le domaine TSA. Par exemple, Guitar Hero est un jeu dans lequel la manette de console est une guitare jouet. L'objectif principal des auteurs est d'entraîner les enfants aux diverses compétences liées aux loisirs afin de faciliter l'intégration sociale (Blum-Dimaya, Reeve, Reeve, & Hoch, 2010). Bien que n'impliquant pas le corps entier, cette étude ouvre la voie à l'utilisation de jeux commerciaux avec activités physiques pour des applications de thérapie dans un cadre ludique. Dans l'objectif de concevoir des logiciels dédiés à l'autisme, l'impact de quatre jeux Kinect Sports sur les compétences attentionnelles a été étudié (Bartoli, Corradi, Garzotto, & Valoriani, 2013). Les auteurs soulignent les questionnements que l'utilisation de ce type de dispositif avec des enfants avec TSA engendre : l'enfant va-t-il comprendre une interaction « intangible » (i.e., un mouvement sans contact ayant un effet) ? En effet, les exergames commerciaux restent encore largement inadaptés pour l'entraînement d'enfants avec TSA. Sur le plan moteur les gestes demandés par le jeu ne sont pas nécessairement pertinents, sur le plan sensoriel ces jeux offrent un nombre important de sources potentielles de distraction, et enfin sur le plan social ces jeux s'appuient sur des codes sociaux n'étant pas acquis par des enfants avec TSA (Edwards, Jeffrey, May, Rinehart, & Barnett, 2017). Des dispositifs mieux adaptés à cette population ont ensuite vu le jour.

La possibilité de capter les mouvements du corps d'une personne via divers capteurs a très tôt été explorée dans l'idée de fournir une aide à l'entraînement moteur. Virtual PAT a été l'un des premiers systèmes qui utilise la captation de mouvement basée sur la vidéo permettant des retours personnalisés sur la performance (Davis & Bobick, 1998). Mais c'est depuis le développement des capteurs de mouvements à moindre coût que des projets de conception de systèmes capables de s'adapter en temps réel ont été mis au point pour le grand public. La majorité de ces projets se base sur des caméras de profondeur de type Kinect, car elles permettent la reconnaissance des différentes parties du corps. YouMove est un système interactif s'inspirant des miroirs de studios de dance (Anderson, Grossman, Matejka, & Fitzmaurice, 2013). L'application de ce système permet à un entraîneur d'enregistrer un mouvement, d'éditer la capture et de définir les paramètres importants pour l'évaluation, puis à un élève de s'entraîner sur ce mouvement. En comparant les différences de positions du corps entre l'entraîneur et l'élève au cours du mouvement, le dispositif peut ainsi fournir des retours précis sur les erreurs de l'élève. Là où YouMove fournit une évaluation a posteriori, MotionMA apporte en plus un retour en temps réel sur le mouvement à réaliser via l'affichage de flèches indiquant le changement de position à opérer (Velloso, Bulling, & Gellersen, 2013). Ces technologies à bas coût ont aussi été utilisées dans des contextes thérapeutiques comme pour le diagnostic précoce d'amyotrophie spinale (Chen et al., 2017), avec comme limite une précision limitée

au centimètre et des contraintes de postures pour permettre la capture (être de face, vêtements près du corps, sans objet occultant). On reste donc sur des technologies intéressantes pour certaines tâches motrices, impliquant la motricité globale plutôt que fine, souvent à utiliser en complément de l'avis d'un expert. Pour les enfants, l'apprentissage de compétences motrices via l'utilisation de ces technologies se fait souvent par le développement d'un jeu. Ainsi un jeu est proposé où l'enfant prend le rôle d'un gardien de foot : grâce à la capture de ses mouvements, le système affiche ses mains dans une cage de football avec comme tâche d'attraper les ballons tirés par un personnage virtuel (Hsiao & Chen, 2016). Un des intérêts de ces approches est de combiner l'apprentissage moteur avec d'autres types d'apprentissages, comme avec la Kinems Suite qui y associe un entraînement cognitif et académique (Kourakli et al., 2017). Dans ce type de contexte d'apprentissage, la précision limitée du capteur est moins impactante. C'est au niveau de la sélection des tâches et des mouvements ainsi que de la conception du mode de jeu et du processus d'apprentissage que se situent les enjeux. Une des conséquences est que très peu de ces jeux utilisent les informations de mouvements quantifiées pour l'analyse des performances de l'enfant, se limitant à un décompte du nombre de gestes par exemple. Dans le cas d'enfants présentant des problèmes de coordinations motrices, on étudie la stabilité de la main lors de tâches pour évaluer le progrès des enfants (Kourakli et al., 2017). Forts de leur expérience de déploiement de jeux commerciaux Kinect dans des lieux pour enfants avec TSA, Bartoli, Garzotto, Gelsomini, Oliveto, & Valoriani (2014) proposent une série de principes de conception qui informent le développement de trois mini-jeux basés sur la Kinect. Parmi les 23 principes énoncés, une partie est spécifique à un type de compétence (motrice, cognitive ou sociale). Douze principes généraux sont communs à tout type d'application et renseignent le processus de conception : un jeu par enfant (personnalisation) ; des tâches évolutives ; un but unique ; des instructions visuelles ; un graphisme minimaliste ; une audio claire ; des stimuli dynamiques ; une utilisation des avatars. Le premier jeu, « Jeu de Bulles », a pour but d'améliorer la précision des mouvements de l'enfant ainsi que la coordination visuomotrice en proposant à l'enfant d'attraper des bulles via son avatar articulé. Le deuxième jeu, « Jeu d'Espace », travaille l'attention sélective et soutenue : l'enfant doit déplacer un « avatar pointeur » (avec sa main, ce n'est pas un avatar articulé) pour éviter des objets qui tombent. Enfin, le troisième jeu, « Jeu de Forme », se concentre sur la conscience que l'enfant a de son corps via un jeu de silhouette : l'enfant doit imiter une silhouette avec son propre corps. Le point fort de ce projet est la possibilité pour le clinicien de personnaliser chaque jeu pour chaque enfant, par exemple en variant le nombre d'objets, les parties du corps actives ou le fond d'écran du jeu.

Dans le même esprit mais avec un développement plus complet, Pictogram Room a été conçu comme un jeu vidéo éducatif où l'enfant avec TSA interagit dans le jeu via son avatar directement relié à ses

propres mouvements (Herrera et al., 2012). Pour faciliter la reconnaissance de son avatar par l'enfant, une représentation minimaliste a été choisie, en « fil de fer » et mono-couleur. Ce logiciel propose comme objectif pédagogique d'entraîner le langage corporel, l'attention et l'imitation. Les 80 jeux sont organisés en 4 catégories : « le corps », « les postures », « signaler » et « imiter ». Cette grande variété de tâches a pour but de cibler des compétences précises à développer chez l'enfant (par exemple l'activité « Montrer par le regard » permet de travailler l'attention conjointe dans la rubrique « signaler »), ainsi que de mettre en place des programmes personnalisés (cf. pour une description détaillée Herrera & Perez-Fuster, 2018, qui fait l'objet d'une fiche documentaire).

Plusieurs thérapies exploitent cette application ou une partie de cette application : ainsi Nadel et Poli ont mis au point une évaluation et un entraînement de la connaissance de soi en exploitant plusieurs ressources de Kinect (corps apparaissant en reflet, en contour ou en avatar). Ils utilisent en outre les objets virtuels de l'application Pictogram Room pour entraîner le calibrage intentionnel du mouvement (Nadel et Poli, 2018).

Note de synthèse

L'objectif de la recherche « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme » est de produire une application abordable et reproductible permettant d'entraîner des enfants avec TSA à collaborer sur des tâches impliquant la coordination motrice entre deux personnes dans l'objectif de réaliser ensemble une action impossible à réaliser seul.

Cette synthèse de la revue de littérature est produite à partir du corpus documentaire sélectionné (bibliographie générale commentée présentée ci-dessous). Elle consiste à mettre en avant des connaissances existantes, au niveau international et d'un point de vue social, sur les thématiques identifiées. La synthèse s'appuie sur des documents en français et en anglais issus d'études menées dans divers pays.

Cette note de synthèse résume ainsi brièvement les principaux travaux portant sur les concepts de coordination motrice et d'activités conjointes en prenant en compte les capacités sociales impliquées en même temps les capacités posturales et motrices. La note résume aussi les dispositifs issus des nouvelles technologies qui permettent d'entraîner en ligne, en créant notamment des avatars partenaires des enfants avec TSA.

La littérature nous apprend que la coordination motrice interindividuelle suppose, pour se réaliser, de bonnes capacités individuelles d'équilibre postural, en ce que cet équilibre de chacun assure la stabilisation des articulations, le calibrage du mouvement et la planification de la posture initiale aboutissant à une posture confortable du partenaire pour réaliser son objectif dans l'action commune. Outre ces capacités motrices individuelles, des capacités sociales et cognitives sont nécessaires : être capable de suivre le regard de l'autre pour anticiper son mouvement vers la cible, être capable de planifier son action en référence au mouvement de l'autre, être capable de prendre la perspective de l'autre, être capable d'assurer un rôle différent de son partenaire, être capable d'imiter de façon synchrone.

En repérant les différents types de procédure utilisés pour les actions motrices à deux, nous avons pu distinguer quatre types de mouvements à deux : des mouvements simultanés mais libres menant vers un but commun, des mouvements simultanés mais complémentaires assurant des rôles moteurs différents pour le même but, des mouvements successifs complémentaires où le sous-but est différent pour chaque partenaire, des mouvements simultanés et similaires où le but est le même pour chacun (l'imitation est ici facilitante).

Les nouvelles technologies contribuent à une analyse des compétences requises dans la collaboration motrice et à leur entraînement. Les principales technologies utilisées dans le but d'améliorer les compétences motrices se basent sur des caméras de profondeur avec capteurs de mouvement de type Kinect car elles permettent de discriminer les parties du corps. On peut ainsi comparer par exemple les mouvements du professeur de danse et ceux de l'élève, avec retour en temps réel sur le mouvement à réaliser. Les applications sportives interactives (et les capteurs associés) à bas coût sont une opportunité pour travailler la collaboration motrice en développant la connaissance du corps via des informations sensorielles multimodales. Les agents virtuels ajoutent l'élément interactif contrôlable qui est nécessaire pour entraîner la collaboration motrice de façon contrôlée avant de la réaliser entre deux humains. Les dispositifs de tables interactives permettent d'étudier les mécanismes de la collaboration entre deux personnes. Toutefois, bien qu'assez souvent implémentée, l'action de déplacer à deux un objet virtuel sur une table n'a pas été étudiée en détail : les recherches quantifient la fréquence de réussite de la tâche sans en analyser les processus. Notre contribution est de ce fait originale et devrait permettre une avancée dans l'analyse des prérequis d'une collaboration motrice et dans leur prise en compte au cours d'un entraînement.

Les thérapies existantes dédiées à l'entraînement de la motricité dans le TSA nous permettent de nous appuyer sur des dispositifs existants comme la plate-forme Kinect, et d'entraîner les enfants à utiliser un avatar, grâce à Pictogram Room (Herrera .et al., 2012 ; Herrera & Perez-Fuster, 2018). En outre, notre équipe de spécialistes de l'autisme a développé un outil d'évaluation et d'entraînement de la reconnaissance de soi et de la calibration des mouvements (Nadel & Poli, 2018). Cet outil sera très utile pour mettre en place la population d'enfants avec TSA testant le logiciel d'entraînement. Mais ces logiciels et outils technologiques concernent l'entraînement de la motricité individuelle. Pour passer à l'entraînement de la motricité à 2, nous bénéficions de l'expertise de notre équipe d'informaticiens concernant les avatars interactifs (Martin, 2018). Deux types d'avatars sont en construction : l'un aidant l'action motrice à deux en s'ajustant aux mouvements de l'enfant, et l'autre non aidant, si bien que c'est l'enfant qui doit s'ajuster aux mouvements de l'avatar. Enfin notre expertise en imitation dans l'autisme (Nadel, 2014) permet d'anticiper la phase finale du travail : une fois entraînés à la collaboration motrice avec l'avatar, les enfants collaboreront entre eux, en ajustant leurs gestes sur le modèle de l'autre.

En conclusion, cette synthèse constitue une revue de littérature pertinente dans le cadre du projet de créer un « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme ».

Ces différentes études montrent clairement :

- La nécessité de prendre en compte deux types d'action motrice à deux : 1) les actions impliquant un rôle différent et complémentaire des deux partenaires, et 2) les actions impliquant le même rôle pour les deux partenaires. Seul ce deuxième type d'actions motrices à deux suppose la simultanéité des mouvements des deux partenaires.
- Le rôle d'une action motrice à deux comme un moyen d'établir une cohésion sociale avec un partenaire.
- L'importance de capacités sociales comme l'imitation, la synchronie, l'attention conjointe, pour développer une action à deux.
- En complément des capacités sociales, l'importance de capacités cognitives comme l'anticipation de l'action de l'autre, la représentation des séquences d'action commune, la planification d'ensemble de l'action.
- A un niveau plus basique, l'importance de reconnaître ses mouvements dans une relation entre la vision et la proprioception ('je me sens faire ce que je vois faire').

Cependant, ces études soulignent également certains aspects pouvant servir d'orientations pour de futures recherches. Ainsi, la question reste de distinguer les actions motrices à deux dans lesquelles les mouvements de chaque partenaire sont libres quoique coordonnés, de celles dans lesquelles un dialogue moteur est nécessaire car l'action ne peut se réaliser que par l'intermédiaire d'une exacte simultanéité du même mouvement par les deux partenaires : ainsi les mouvements sont-ils contraints non seulement par l'action à réaliser mais aussi par le mouvement de l'autre. Cela peut paraître un inconvénient. Pourtant la similitude des anatomies qui répondent de façon similaire aux lois naturelles de l'environnement facilite l'imitation et engendre la synchronie. De ce fait il se pourrait que les collaborations motrices de type simultané et similaire soient les plus simples à réaliser. Il serait intéressant de tester cette hypothèse pour présenter aux enfants avec TSA les situations d'actions à deux les plus faciles à réaliser, c'est-à-dire celles que l'on peut réaliser en imitant l'autre.

L'utilisation des nouvelles technologies pour mettre en œuvre, évaluer et entraîner les capacités motrices individuelles se développe rapidement. La robotique, le matériel numérique (tableau et tablettes), ainsi que la réalité virtuelle offrent des outils de mieux en mieux adaptés aux spécificités de l'autisme. La réalité virtuelle lorsqu'elle utilise des objets tangibles, c'est-à-dire qui ont un poids et produisent de ce fait une sensation d'effort de déplacement, est adaptée par son réalisme à des groupes de personnes non verbales avec TSA. La construction d'avatars interactifs est une spécialité

de notre équipe d'informaticiens. Elle est adaptée ici aux scénarios proposés par notre équipe de spécialistes de l'autisme.

La littérature montre qu'en IHM la collaboration motrice est évaluée surtout en tant que performance collective réalisée par la dyade ou le groupe, plutôt que comme un moyen d'analyse des compétences motrices de chacun et de leur coordination. La mise au point de nos outils technologiques vise ici l'analyse des moyens des enfants pour réaliser une tâche collaborative nécessitant de tenir compte de l'autre. Elle constitue la base de la réalisation du logiciel d'entraînement.

Les technologies interactives existantes sous-tendues par la plate-forme Kinect nous permettent de placer notre objectif de création d'un logiciel d'entraînement dans un cadre déjà formaté, comme par exemple Pictogram Room. Cependant même si Pictogram Room aborde le problème de la collaboration, il le fait sur la base de la perception (apprendre l'attention conjointe, informer par le regard, ajuster sa posture à un calibrage produit par l'avatar et pour lequel les conséquences sont visuelles). Par l'utilisation d'objets tangibles, c'est bien à une motricité en action à deux que nous avons l'objectif d'entraîner les enfants avec TSA.

Fiches de lecture

Les recherches présentées ci-dessous sont extraites de la bibliographie principale, chacune d'entre elles ont été résumées en fiche de lecture.

Chaque fiche de lecture contient un lien permettant l'accès aux documents et à la notice sur la base documentaire.

I. AUTISME ET ACTION MOTRICE À DEUX

Fiche 1. La coordination motrice dans le trouble du spectre de l'autisme : une synthèse et méta-analyse

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence :

Fournier, K.A., Hass, C.J., Naik, S.K., Lodha, N., Cauraugh, J.H. (2010). La coordination motrice dans le trouble du spectre de l'autisme : Une synthèse et méta-analyse. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 40, 1227-1240.

Mots-clés

Trouble du spectre de l'autisme, coordination motrice et déficits, méta-analyse

Résumé

Les déficits de coordination motrice sont-ils une caractéristique cardinale du trouble du spectre de l'autisme (TSA) ? Les recherches sur les bases de données ont identifié 83 études de TSA focalisées sur les déficits de coordination motrice, de mouvements des bras, d'équilibre, ou de stabilité posturale. L'extraction de données impliquait des comparaisons intergroupe entre TSA et enfants au développement typique (N=51). Des techniques rigoureuses de méta-analyse incluant des modèles d'effets aléatoires, et prenant en compte les biais de publication, une analyse des faux positifs et des analyses de variables modératrices ont permis de déterminer un effet standard de différence moyenne égal à 1.20 (ES=0.144 ; $p < 0.0001$; $Z=10.49$). Cet important effet indique des déficits de coordination motrice pour de nombreux comportements dans les groupes TSA. Les résultats globaux décrivent les déficits de coordination motrice comme présents quelle que soit la forme d'autisme, et donc comme une caractéristique cardinale de l'autisme.

Commentaire

Cette méta-analyse très rigoureuse extrait les données de 51 études évaluant toutes la stabilité posturale, l'équilibre, la marche et les mouvements des bras dans des groupes ayant reçu le diagnostic d'autisme comparés à des groupes typiques sans atteinte neurologique. L'analyse ainsi réalisée s'étend de l'âge de 18 mois à 33 ans. Elle rassemble un effectif de 1238 personnes avec autisme appariées sur l'âge chronologique à 3017 personnes typiques. Sept variables sont analysées : le temps de réaction

motrice, la précision du mouvement, le taux d'adaptation, la vélocité de la locomotion, l'empan de la pression, la stabilité de l'équilibre et les échelles motrices standard (parmi lesquelles le M-ABC ou le Vineland Motor Standard Scores).

Les résultats sont très clairs, malgré l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation. Ils montrent une large prévalence de problèmes de motricité globale dans la population autiste, et une spécificité des déficits de coordination motrice, en particulier concernant le contrôle postural et la mobilité.

Cet article est très utile car il décrit avec précision le type de difficultés motrices rencontrées le plus souvent dans l'autisme alors qu'elles sont rarement spécifiées. Or le contrôle postural est un important facteur de concentration et d'attention, et joue donc non seulement sur les performances motrices mais aussi sur les performances cognitives et sociales.

Fiche 2 Interactions motrices avec une autre personne : Les individus avec trouble du spectre de l'autisme planifient-ils ?

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Gonzalez, D.A., Glazebrook, C.M., Studenka, B.E., et Lyons, J., Motor interactions with another person: do individuals with Autism Spectrum Disorder plan ahead? *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 2013.

Mots-clé

Trouble du spectre de l'autisme, capacités motrices, planification du mouvement, théorie de l'esprit, action conjointe

Résumé

Les interactions motrices interpersonnelles (actions conjointes) se produisent quotidiennement. Dans les situations d'actions conjointes, les enfants au développement typique considèrent le but final et ajustent leur mouvement pour s'adapter à l'autre personne. Les processus de planification requis pour une action conjointe pourraient être difficiles pour les personnes avec trouble du spectre de l'autisme (TSA) étant donné leurs difficultés connues dans les tâches impliquant une théorie de l'esprit et dans les activités motrices. Le but de cette expérience était de déterminer si les personnes avec TSA peuvent se comporter de façon à réaliser un état final confortable dans des situations d'actions conjointes, au même titre que les personnes typiques. Les participants devaient passer, placer ou utiliser trois outils ordinaires : un petit marteau en bois, un bâton ou un calculateur. Le choix de ces outils était lié à leur degré d'affordance (les caractéristiques physiques susceptibles de susciter un usage propre), depuis l'affordance directe pour le marteau jusqu'à l'affordance indirecte pour le calculateur. Les participants devaient passer le matériel au partenaire qui le posait ou l'utilisait. Les variables d'intérêt concernaient l'orientation confortable ou inconfortable de la prise au début et à la fin du mouvement pour le participant et son partenaire selon la tâche, et le côté par lequel l'objet était placé ou passé. De même que dans une étude précédente, certaines personnes avec TSA ont maximisé le confort de l'état initial de leur partenaire en adoptant personnellement une posture inconfortable. Ceci dit, leur performance était plus variable que celle des personnes typiques qui passaient systématiquement les objets d'une manière permettant à leur partenaire une posture confortable de prise. Donc les

processus de planification du mouvement utilisés pour se préparer à passer un objet ne sont pas systématiques chez les personnes avec TSA. La nouvelle tâche décrite dans cet article pourrait servir de base pour tester l'important aspect du lien performance motrice et comportements sociaux et communicatifs plus complexes.

Commentaire

Cet article nous donne une base intéressante pour vérifier la capacité des personnes avec TSA à planifier leur mouvement en fonction d'autrui. On peut ainsi répondre à la question de savoir si elles sont capables de faciliter la prise de l'autre et si elles peuvent prendre en compte ce que l'autre fera de l'objet. Dans l'article ce sont des adultes qui sont impliqués mais cette tâche simple pourrait servir de test pour les enfants avec TSA dans une version encore plus simple qui consiste à passer un objet à un autre. De cette façon on peut voir si l'enfant prend en compte l'autre - ce qui est social-, et est capable d'adapter son mouvement conformément - ce qui est moteur-. Ainsi la base motrice de l'interaction sociale peut-elle être mesurée.

Fiche 3. Pictogram room : son efficacité dans le trouble du spectre de l'autisme (tsa)

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Herrera, Gerardo, et Patricia Pérez-Fuster. « Pictogram Room : son efficacité dans le trouble du spectre de l'autisme (TSA) », *Enfance*, vol. 1, no. 1, 2018, pp. 31-50.

Mots clé

Révision, Autisme, Prise en charge, Technologie, Efficacité, Réalité augmentée.

Résumé

Diverses recherches ont étudié la perception du mouvement biologique par des personnes atteintes d'un trouble du spectre de l'autisme (TSA), indiquant leurs difficultés à comprendre et à utiliser le langage corporel pour communiquer. Les technologies de réalité augmentée offrent une opportunité de supports visuels et musicaux pour intervenir sur ces aptitudes dans le cas des TSA. Cet article propose une description des fondements scientifiques de l'outil Pictogram Room jointe à une révision de deux études d'investigation à propos de son efficacité. La première de ces études évalue l'impact de Pictogram Room sur l'amélioration des aptitudes sensorielles et motrices d'un groupe de dix enfants présentant un TSA. La seconde étude analyse son efficacité sur l'amélioration de l'attention conjointe auprès de six enfants atteints d'un TSA. Les deux études indiquent des résultats positifs quant à l'efficacité de Pictogram Room dépendamment des attendus initiaux. En conclusion, les recherches au sujet de la compréhension et de l'usage du langage corporel en cas de TSA mettent en évidence une nécessité d'outils pour leurs prises en charge. Les résultats positifs des premières études sur l'efficacité de Pictogram Room présagent un futur dans lequel ces technologies formeront partie des propositions thérapeutiques habituelles.

Commentaire

Cet article présente le logiciel pictogram room, un outil technologique créé dans le but d'entraîner de nombreuses capacités réputées déficitaires dans l'autisme. Il se cible sur la communication non verbale et les compétences impliquées telles que le langage corporel, l'attention conjointe, l'imitation, les expressions du visage et les gestes. Actuellement, cet outil est disponible en français, anglais et

espagnol et compte plus de 11 000 utilisateurs. Pictogram Room utilise un système de caméra projecteur pour capturer l'image de l'utilisateur et la reproduire en l'augmentant avec une série d'éléments graphiques. En option, cette interaction peut se réaliser à plusieurs (entre un enfant atteint de TSA et un camarade de jeux ou son tuteur). Le système de caméra projecteur utilisé est Microsoft Kinect. Pictogram room possède 80 jeux organisés en quatre catégories : Le corps, Les postures, Signaler et Imiter. Deux catégories sont particulièrement importantes pour faciliter la coordination motrice : le corps et les postures. Avec la catégorie concernant le corps, l'utilisateur peut augmenter de façon progressive son attention vers les différentes parties du corps du personnage qui le représente comme face à un miroir. Avec la catégorie des postures, l'utilisateur peut acquérir à chaque utilisation une meilleure connaissance de son corps et apprend à faire la différence entre diverses postures. Dans la catégorie concernant l'imitation, la plupart des jeux ont pour but de travailler les aspects visuomoteurs, en lien possible avec le rythme. Ces éléments font de pictogram room un outil technologique très performant pour entraîner des compétences motrices basiques nécessaires pour réaliser des actions collaboratives à deux.

Fiche 4. Aide et coopération chez des enfants avec autisme

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Liebal, K., Colombi, C., Rogers, S.J., Warneken, F., et Tomasello, M. (2008). Aide et coopération chez des enfants avec autisme. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38.

Mots clé

Aide, coopération, autisme, compréhension des buts, partage des objectifs

Résumé

L'aide et la coopération sont des éléments centraux de la vie sociale. Ici nous rapportons deux études explorant ces comportements sociaux chez des enfants avec autisme et des enfants en retard. Dans la première étude, les deux groupes d'enfants aidaient l'expérimentateur à réaliser son objectif. Dans la seconde étude, les deux groupes d'enfants coopéraient avec un adulte mais peu d'enfants avec autisme parvenaient à réaliser les tâches. Quand l'adulte arrêta d'interagir à un certain moment, les enfants avec autisme firent moins de tentatives pour reprendre contact, indiquant ainsi qu'ils n'avaient pas formé un but partagé/une intention partagée avec l'adulte. Ces résultats sont discutés en termes de capacités et propensions cognitives et motivationnelles pré-requises pour les comportements sociaux.

Commentaire

Dans cet article, les auteurs décrivent la spécificité humaine que constitue la coopération. Ils la mettent en relation avec la capacité à partager des buts et des intentions. Ils situent l'émergence de la compréhension des buts et intentions d'autrui chez les bébés aux alentours d'un an, bientôt suivie de la capacité à partager des buts et des intentions. A 18 mois, les jeunes enfants sont capables d'aider à ramasser un objet tombé par inadvertance. Et dans l'autisme ? Selon les domaines, l'autisme est plus ou moins touché par une difficulté à comprendre les buts d'autrui. Par exemple les enfants avec autisme peuvent comprendre des intentions quand il s'agit d'actions sur des objets. L'idée sous-jacente à l'article est que les enfants avec autisme sont capables d'aider parce que dans ce cas le but est engagé, ils doivent juste le comprendre, tandis qu'ils devraient avoir du mal à coopérer parce que dans ce cas il faut que les deux personnes coordonnent leur comportement pour un but commun. En

fait dans cette étude les enfants avec autisme ont assez bien réussi la coopération parce qu'il s'agissait d'un objectif très concret et très simple à partager. La notion de coordination émerge en référence à un but qui doit être partagé : c'est la leçon très importante de cet article par ailleurs surtout axé sur les fonctions cognitives.

Fiche 5. Évaluer et entraîner la connaissance du corps dans l'autisme via kinect et pictogram room

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Nadel, J. et Poli, G. Evaluer et entraîner la connaissance du corps dans l'autisme via kinect et Pictogram Room. *Enfance*, 70, 1, 2018

Mots clé

Connaissance du corps, Reconnaissance d'être imité, Trouble du spectre de l'autisme, Plate-forme kinect.

Résumé

Cet article présente l'utilisation d'une plate-forme de jeu vidéo pour évaluer le niveau de représentation du corps propre chez de jeunes enfants non verbaux avec TSA. Les stimuli sont le reflet du corps réel projeté sur le mur, la silhouette grisée ou colorée sans rapport avec les vêtements de l'enfant, le petit avatar fil de fer. L'évaluation est réalisée sur la base des critères de la littérature développementale utilisant le reflet dans le miroir et l'ombre verticale. À partir des résultats de l'évaluation, il est possible de mettre au point une thérapie ludique ayant pour objectif de faire progresser les enfants vers des niveaux plus élaborés de représentation du corps, éventuellement jusqu'à une conception allocentrée de la situation dans l'espace environnant, physique et social.

Commentaire

L'application Pictogram Room est très efficace pour développer les compétences motrices et sociales des personnes avec TSA. Toutefois elle nécessite un niveau de représentation qui permet de s'identifier dans un petit avatar. Pour les enfants qui n'ont pas atteint cette représentation de soi, il est important de repérer à quel niveau de reconnaissance de soi ils se situent et comment la développer. C'est ce que propose l'étude qui distingue 3 niveaux de reconnaissance de soi. La reconnaissance de son reflet se fait en référence aux détails figuratifs qui caractérisent l'individu (ses cheveux, son nez, son vêtement...), elle est suivie d'une reconnaissance de sa silhouette rendue possible par la synchronie des mouvements. Une fois cette reconnaissance acquise, on peut proposer la reconnaissance de soi dans son exosquelette (avatar) : la synchronie est également l'élément déterminant compliqué ici par

une représentation sans avec le corps réel, et donc symbolique. Une fois cette représentation acquise, l'application Pictogram Room devient abordable. Il s'agit donc d'un outil d'entraînement préalable à l'utilisation de Pictogram Room très utile pour les enfants non verbaux n'ayant pas acquis une représentation symbolique de soi.

Fiche 6. Le développement de la planification de l'action dans un contexte d'action conjointe

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Paulus, M., Le développement de la planification de l'action dans un contexte d'action conjointe. *Developmental Psychology*, 52,2016.

Mots clé :

Développement cognitif, Contrôle de l'action, Action conjointe, Planification de l'action

Résumé

La capacité à faire une action conjointement avec une autre personne est une nécessité fondamentale dans la vie sociale. Cette étude examine le développement de la planification de l'action dans le contexte d'une action conjointe. Dans quatre expériences, des enfants de 3, 5 et 7 ans ainsi qu'un groupe d'adultes (n=196), ont interagi avec une autre personne pour faire marcher un nouvel appareil. Leur tâche était de tendre à l'expérimentatrice un outil qu'elle pourrait empoigner et insérer selon une orientation particulière. Nous avons regardé si les participants planifiaient leur préhension et leur prise de façon à ce que le partenaire puisse bien manœuvrer l'outil, donc en anticipant l'état final de l'activité conjointe. Nous avons trouvé que les enfants de 3 ans n'ajustaient pas leur comportement pour s'accommoder à l'action de l'autre et n'augmentaient pas leur performance après de multiples essais. Les enfants de 5 et 7 ans avaient tendance initialement à planifier leur action sur une base égocentrique mais amélioraient leur performance d'action conjointe au fur et à mesure des essais. Les participants adultes montraient une planification de l'action conjointe dès le début. Il faut noter que les enfants de 3 et 5 ans étaient capables de planifier efficacement leur prise quand ils agissaient seuls sur l'appareil. Cependant une expérience de première main avec la tâche ne facilitait pas leur performance durant l'action conjointe ultérieure. Prise dans son ensemble, l'étude offre des informations sur les approches psychologiques actuelles et les origines ontogénétiques de l'action conjointe durant l'enfance.

Commentaire

Cet article rapporte le développement des capacités à prendre en compte le partenaire dans la planification d'une action conjointe. Même s'il porte sur des enfants au développement ordinaire et non sur des enfants avec TSA, ce qu'il nous apprend sur les difficultés et les progrès des jeunes enfants entre 3 et 7 ans est très utile pour comprendre à quoi peut se heurter la réalisation d'une action conjointe pour des enfants avec TSA, en particulier si leurs performances cognitives sont faibles. En effet, l'article insiste sur les éléments cognitifs en jeu dans cette tâche très simple qui peut paraître essentiellement motrice. Donner un outil à quelqu'un pour qu'il puisse ouvrir un mécanisme placé verticalement ou horizontalement demande en fait bien plus que le simple mouvement de tendre l'objet. Tout d'abord il faut être capable de se décentrer et prendre la perspective de l'autre, en imaginant être physiquement à sa place : il faut être allocentré. Par ailleurs il faut comprendre que l'autre va devoir réaliser sa part de l'action sur la base et en continuité de celle réalisée par soi. L'auteur fait remarquer que la capacité à prendre la perspective de l'autre est déjà bien développée à 4-5 ans mais que la mettre en pratique directe n'est pas sans effort et continue à se développer jusqu'à l'adolescence. La preuve en est que les enfants de 5 ans montrent une belle amélioration de leur planification de l'action conjointe une fois avoir réalisé tout seuls l'ensemble de la tâche. Il y a fort à parier cependant qu'il ne s'agit pas seulement de prendre la perspective de l'autre : réaliser l'ensemble de la tâche permet de récapituler les séquences motrices qu'il faut enchaîner. Se représenter les étapes futures d'une action est un point important de la planification.

Un autre élément à prendre en compte concerne la représentation des effets d'une action : on peut se représenter les effets de tendre l'outil à l'adulte sans prendre en compte ce que l'adulte va en faire et donc sans ajuster la présentation de l'objet à sa future utilisation. Par contre les enfants plus âgés voient leur propre action comme une partie du plan général, il s'agit d'un sous-but et non du but final, ils ont alors une co-représentation du but qu'ils partagent avec l'adulte. Mais longtemps il faudra un contrôle inhibiteur pour empêcher que la représentation de son propre but dans l'action conjointe ne prenne le pas sur le but final conjoint.

Alors que nous inspirent ces résultats pour l'action conjointe chez des enfants avec TSA ?

Il est à remarquer que l'enfant avec TSA prend facilement les objets tendus, voire même vous retire les objets des mains, mais ne donnent pas aisément : y-a-t-il là une indication d'une difficulté à concevoir la place de l'autre dans une action sur un objet ? Par ailleurs certains d'entre eux abandonnent les objets en cours d'activité : les objets ne sont pas jetés mais tombent. Ce comportement étrange pourrait bien s'expliquer par un déficit de planification de l'action et de

représentation de ses effets : l'action tourne court parce qu'elle n'est pas finalisée. Comment peut-on améliorer ces difficultés ? Réaliser l'action a des effets sur sa représentation donc il est important de multiplier les occasions d'exercer puis ensuite de devoir se représenter l'exercice.

Fiche 7. Une action conjointe discontinue peut-elle être synergique ? Étude de la stabilisation d'une coordination manuelle interindividuelle

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Romero, V, Kallen, R., Riley, M., et Richardson, M., Can discrete joint action be synergistic? Studying the stabilization of interpersonal hand coordination. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, Volume 41, 2016.

Mots clé

Action conjointe, coordination interpersonnelle, synergies motrices, contrôle moteur

Résumé

Le système perceptivo-moteur humain est étroitement couplé aux dynamiques physiques et informationnelles de l'environnement d'une tâche. Ces dynamiques opèrent pour contraindre le niveau dimensionnel le plus élevé du système de mouvement humain à des synergies de dimension basique et spécifique de la tâche : des groupements fonctionnels d'éléments structuraux sont provisoirement contraints de façon à agir comme une unité coordonnée unique. L'objectif de cette étude était de déterminer si des processus synergiques opèrent quand des individus co-agissent pour réaliser une tâche conjointe discontinue. Des duos de participants étaient assis l'un à côté de l'autre et chacun utilisait un bras pour réaliser une tâche de pointage. En utilisant une analyse UCM pour la première fois avec une action conjointe discontinue, la structure de la variance de l'angle conjoint a été utilisée pour déterminer s'il y avait une organisation synergique des degrés de liberté employés au niveau intra- et inter-individuel. Les résultats montrent que les actions motrices réalisées par les co-acteurs étaient organisées de façon synergique, aux niveaux intra- et inter-individuels. Plus même, la synergie interindividuelle était significativement plus forte que les synergies intrapersonnelles. De ce fait, les résultats montrent clairement que des individus qui réalisent une action conjointe peuvent s'organiser pour former temporairement un système synergique unique à 2 personnes durant la réalisation d'une action conjointe discontinue.

Commentaire

L'article est très spécialisé et peut être considéré comme difficile à lire. En effet il y a beaucoup de détails sur l'appareillage et la méthode de recueil de nombreux essais pour réaliser une estimation de la diversité des mouvements réalisés pour atteindre la cible : moins les mouvements sont variés, plus il y a synergie entre les deux bras de deux personnes différentes. La procédure est sophistiquée et utilise des trackers et des repères sur les épaules et les bras pour mesurer les angles des articulations. Cependant l'idée de l'article et ses résultats sont très intéressants et méritent d'être décrits pour bien comprendre ce que signifie une coordination motrice interpersonnelle dans une action à deux. Dans cette étude, des duos de personnes sont assis côte à côte : l'un tient une cible avec son bras gauche et l'autre tient un pointeur avec sa main droite. Il faut que le pointeur atteigne la cible. La question est : est-ce que chaque partenaire va bouger son bras de façon indépendante ou est-ce que le bras de l'un va s'organiser en fonction du bras de l'autre ? Il y a un objectif commun à atteindre : le pointeur doit toucher la cible. Celui qui tient la cible peut prendre en compte la position du pointeur et celui qui tient le pointeur peut s'ajuster à la position de la cible. Les résultats sont étonnants : tout se passe comme si ces deux personnes n'ont que deux bras à elles deux, un bras gauche qui tient la cible et un bras droit qui tient le pointeur. Ces deux bras qui n'appartiennent pas à la même personne sont plus en synergie que lorsque chaque personne utilise ses deux bras pour réaliser la même action de toucher une cible avec un pointeur. Dans cet article, il s'agit d'adultes typiques et non de personnes avec TSA. Mais nous pouvons retenir l'intérêt qu'il peut y avoir à entraîner des personnes avec TSA sur ce modèle d'action à deux : il faut avoir le même but et adapter son mouvement au mouvement de l'autre : quoi de plus social dans le concret d'une action ?

II. Les technologies pour l'action motrice à deux

Fiche 8. Designing and evaluating touchless playful interaction for asd children

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

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.

Mots clé

Enfants autistes, interaction sans toucher basé sur le mouvement, thérapie

Résumé

Peu d'études existantes explorent les applications basées sur le mouvement et sans toucher pour les enfants autistes et étudient les enjeux de conception et les bénéfices qu'elles peuvent apporter. Ce papier rapporte un ensemble de principes de conception structuré qui intègre notre expérience acquise via des études empiriques et des collaborations avec des centres thérapeutiques. Ces propositions heuristiques ont informé la conception de trois jeux sans toucher ensuite évalué lors d'une étude contrôlée impliquant des enfants autistes du centre thérapeutique. Nos résultats confirment le potentiel des jeux basés sur le mouvement et sans toucher lors d'interventions améliorées par les technologies pour ce groupe spécifique.

Commentaire

Les travaux de Laura Bartoli et de ses collègues sont intéressants en ce qu'ils articulent l'exploration des bénéfices potentiels des exergames commerciaux avec la conception de nouveaux exergames adaptés à l'apprentissage de certaines compétences pour des enfants autistes. Dans un papier précédent, les chercheurs ont pu ainsi faire jouer des enfants à des jeux Kinect sélectionnés par des thérapeutes (du package MS Kinect Sports et MS Rabbids Alive & Kicking) et procéder à des évaluations sur les compétences attentionnelles et émotionnelles (observations, mesures cliniques, etc.). Au-delà de cette évaluation à but thérapeutique, les chercheurs en interaction humain-machine ont pu ainsi comprendre plus finement comment les enfants autistes s'approprient les jeux et leurs mécanismes,

et ainsi identifier les limites des jeux commerciaux. Le papier ici présenté fait le bilan de ces remarques en formalisant une liste de principes de conception d'exergames adaptés. Sur la base de ces principes, trois mini-jeux sont développés puis évalués, illustrant ainsi l'apport de ces « guidelines ».

La mise en place de ce genre de listes est une étape importante dans la compréhension d'un sujet par des chercheurs en interaction humain-machine en vue de concevoir pour ce sujet. Il ne s'agit pas d'une checklist à suivre à la lettre, mais plutôt des points d'attentions à questionner au moment de concevoir. La liste ici proposée s'articule en deux parties : une partie générale (commune à tous les exergames) et une partie spécifiant le but de l'exergame (apprentissage moteur, cognitif ou social). On retrouve dans les principes généraux des éléments relatifs à la spécificité de chaque enfant (importance de la customisation et de l'évolution du jeu), des remarques sur la complexité et la richesse du jeu (avoir qu'un seul but, avoir des retours sonores clairs et des graphismes minimalistes) ou encore sur la prise en compte de l'interaction avec le praticien (en facilitant les transitions entre les jeux, ainsi que la répétabilité et la prédictibilité d'une tâche).

Pour ce qui est des trois jeux, (« Jeu de Bulles », « Jeu d'Espace » et « Jeu de Forme »), le point fort commun est la possibilité pour le clinicien de personnaliser chaque jeu pour chaque enfant, par exemple en variant le nombre d'objets, les parties du corps actives ou le fond d'écran du jeu. On notera que les auteurs ont utilisé les mêmes mesures de progressions pour les jeux qu'ils ont conçus que pour les exergames commerciaux : les résultats montrent une meilleure progression pour le jeu conçu de manière adapté.

Fiche 9. Collaborative puzzle game: a tabletop interface for fostering collaborative skills in children with autism spectrum disorders

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Battocchi, A., Ben Sasson, A., Esposito, G., Gal, E., Pianesi, F., Tomasini, D., Venuti, P., Weiss, P., Zancanaro, M., Collaborative puzzle game: a tabletop interface for fostering collaborative skills in children with autism spectrum disorders. *Journal of Assistive Technologies*, 2010.

Mots clé

Table interactive, spectre de l'autisme, collaboration, compétences sociales.

Résumé

Les tables interactives sont une nouvelle classe de technologies particulièrement appropriée pour l'usage de la collaboration colocalisée. Le Jeu de Puzzle Collaboration est une activité de table interactive conçue pour développer les compétences de collaboration chez les enfants autistes. Le jeu comporte une règle d'interaction appelée la Collaboration Forcée ; pour pouvoir les déplacer, les pièces du puzzle doivent être touché et glissé simultanément par les deux joueurs. Deux études ont été conduites pour tester l'effet de cette règle d'interaction sur la collaboration. Dans la première étude, 70 garçons typiques ont été testé en dyade pour caractériser la manière dont ils répondent à la collaboration forcée ; lors de la deuxième étude, 16 garçons autistes ont été testé en dyade. Les résultats suggèrent que la règle d'interaction a en général un effet positif sur la collaboration et est associée à des interactions plus complexes. Pour les enfants autistes, la collaboration forcée fut efficace pour déclencher des comportements associés à la coordination pour la tâche et à la négociation.

Commentaire

Les recherches sur la conception de table interactive pour encourager et entrainer les interactions sociales chez les enfants autistes sont très intéressantes pour avoir de premiers éléments sur « comment concevoir pour une action à deux » (qui ici n'est pas motrice). Le papier présenté ici est intéressant à plusieurs titres. D'abord il propose un jeu de puzzle sur table interactive qui, pour être réalisé, contraint les enfants à faire des actions ensemble. Les auteurs introduisent ainsi une nouvelle

approche, ou plutôt une règle d'interaction, qu'ils appellent la « collaboration forcée ». Ainsi, pour déplacer une pièce du puzzle, les deux enfants de la dyade doivent toucher en même temps la pièce, déplacer ensemble la pièce, puis relâcher la pièce ensemble. Si une de ces trois actions n'est pas bien coordonnée, la pièce s'immobilise et un retour sonore à connotation négative indique aux enfants que la fin de l'action. Dans le domaine de l'interaction humain-machine, la formalisation et l'étude de règles d'interaction est une manière de produire de la connaissance sur « comment concevoir un système interactif ». Le puzzle comporte 16 pièces.

On notera que ce papier est le premier à proposer une tâche de puzzle : les auteurs considèrent cette tâche plus accessible et valorisante pour les enfants autistes car elle s'appuie sur des compétences visuo-spatiales. Une évaluation incluant soixante-dix garçons typique d'un côté et seize garçons autistes de l'autre compare les interactions sociales lors du jeu de puzzle dans le cas où la collaboration forcée est implémentée et dans le cas où elle ne l'est pas. De manière intéressante, si le paradigme de la collaboration forcée n'a que peu d'impacte sur les enfants typiques, elle induit chez les enfants autistes une augmentation des « comportement de coordination » à savoir des comportements visant à faciliter l'interaction à deux pour réaliser la tâche.

Fiche 10. Echoes: an intelligent serious game for fostering social communication in children with autism.

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K., & Smith, T. J. ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism. *Information Sciences*, 2014

Mots clé

Partenaire social virtuel, agent pédagogique, agent intelligent autonome, planification intelligente artificielle, autisme, communication sociale.

Résumé

Ce papier présente ECHOES, un jeu sérieux construit pour aider les enfants avec un Trouble du Spectre Autistique à pratiquer les compétences communicationnelles. Nous nous concentrons sur la conception et l'implémentation des activités d'apprentissage interactives, qui prennent place dans un jardin sensoriel à deux dimensions, et avec un agent virtuel autonome qui agit comme un partenaire social crédible. Les activités et l'agent sont basés sur des principes de bonnes pratiques ainsi que sur les retours des utilisateurs. Les principes de spécifications sont donnés pour construire un agent autonome socialement compétent qui facilite l'apprentissage dans ce contexte. Nous présentons des résultats expérimentaux relatifs à l'efficacité de l'agent qui se base sur une évaluation de la plateforme ECHOES, et qui montrent des tendances encourageantes pour un certain nombre d'enfants.

Commentaire

Les auteurs expliquent comment ils ont adapté le modèle SCERTS de communication sociale entre humains pour concevoir un agent animé et des activités pédagogiques à l'aide d'une approche participative et des pré-tests avec des enfants avec TSA. ECHOES vise l'entraînement à des compétences sociales (définies par les auteurs comme « Social communication involves the ability to coordinate and share attention, intentions, and emotions with others as well as the capacity for engaging in reciprocal interaction by understanding and using verbal and non-verbal means. »).

Les auteurs décrivent les travaux existants qui visent à améliorer les compétences langagières, affectives ou interactives ainsi que les agents virtuels qui sont rarement autonomes. Au contraire, en

cohérence avec le cadre SCERTS, ECHOES inclue un agent pouvant être pro-actif, réactif et ayant des compétences sociales. SCERTS vise 3 domaines de compétences : communication sociale, régulation des émotions et support transactionnel. Il vise 3 niveaux développementaux : partenaire social, partenaire langagier et partenaire conversationnel (ce dernier n'étant pas considéré dans ECHOES).

ECHOES utilise un grand écran tactile multi-touch avec suivi du regard de l'enfant. Les douze activités pédagogiques sont focalisées sur deux composantes de la communication sociale : l'attention conjointe et l'usage symbolique. Un jardin virtuel est affiché avec un agent animé et des objets qui réagissent aux gestes de l'enfant sur l'écran tactile. Certaines activités sont orientées vers un but précis et clair (trier des balles par couleur). D'autres activités sont plus prétextes à la coopération et aux échanges.

L'agent suit l'architecture FATIMA permettant de simuler des compétences cognitives et émotionnelles et utilise aussi un composant gérant les buts pédagogiques ainsi qu'un modèle de l'enfant. L'apprentissage automatique est également utilisé pour prédire l'engagement de l'enfant à partir des touchers qu'il effectue sur l'écran tactile. L'approche participative pour la conception graphique de l'apparence de l'agent est décrite. Ses comportements (animations gestuelles et faciales, verbalisations) sont les suivants : répondre aux demandes d'interaction, initier une interaction, gérer les tours de parole.

Une expérimentation effectuée avec 29 enfants dans 5 écoles est décrite. Les compétences sociales des enfants étaient documentées avant et après les sessions avec ECHOES. Les résultats sont décrits en ce qui concerne les réponses aux initiations à interagir faite par l'agent animé et les initiations faites par l'enfant. Alors qu'au début, l'enfant initie moins d'interaction avec l'agent virtuel qu'avec une autre personne, cette différence disparaît au cours des sessions. D'après les auteurs, l'agent est crédible car il est capable de répondre en temps réel aux actions de l'enfant et de se comporter de manière autonome ce qui permet de faire varier le degré de prédictabilité.

Fiche 11. Social benefits of a tangible user interface for children with autistic spectrum conditions.

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Farr, W., Yuill, N., and Raffle, H., Social benefits of a tangible user interface for children with Autistic Spectrum Conditions. *Autism*. 2010.

Mots clé

Autisme, interaction, jeu, tangible.

Résumé

Les interfaces utilisateurs tangibles intègrent des technologies computationnelles dans des objets attrapables. Cette étude évalue le potentiel de Topobo, un jouet de construction avec des mouvements programmables, qui facilite l'interaction sociale pour des enfants avec troubles du spectre autistique. Les groupes, soit d'enfants typiques soit d'enfants autistes, ont participé à plusieurs sessions de jeu avec Topobo et avec des LEGO. Nous avons enregistré des séquences de différentes catégories de jeu durant ces sessions. Pour les participants des deux groupes, nous avons observé plus de formes de jeux sociaux avec Topobo par rapport au LEGO. Plus de cas de jeu solitaire ont été observés avec LEGO et plus de jeu parallèle ont été observés avec Topobo. Topobo a aussi engendré plus de jeu de coopération chez les enfants typiques. Pour finir, nous avons observé des différences dans les séquences de jeu entre les enfants types et les enfants autistes, nous discutons donc comment ces différents éléments pourraient produire des schémas de jeu spécifiques dans ces deux groupes.

Commentaire

Dans le domaine de l'autisme chez l'enfant, des thérapies basées sur les activités de jeux en groupe se développent comme par exemple avec l'utilisation de LEGOs (Legoff & Sherman, 2006). Ce type d'activité est particulièrement intéressant pour travailler la communication verbale et non verbale, l'attention conjointe, la résolution de problème collaborative et les mécanismes de tour de rôle. Surtout, l'activité est plus acceptée par les enfants car elle se base sur des jeux à manipuler issus de la vie de tous les jours. Partant de cet intérêt pour les systèmes de constructions passifs (i.e., non interactif), les auteurs du papier de cette fiche de lecture étudient les bénéfices d'utiliser dans ce type

de thérapie des jeux « augmentés » (aussi appelé des Tangible User Interface, ou TUI). Les mécanismes de feedbacks interactifs (visuels, kinesthésiques ou audios) rendent les objets plus intéressants et augmentent la visibilité des actions et de leurs conséquences pour les enfants avec TSA. Ce papier est une première étude qui évalue l'utilisation d'une TUI appelée Topobo, un jeu de construction avec mémoire cinétique programmable en le comparant à la pratique de la thérapie LEGO. Le double intérêt de ce jeu est qu'il est programmable, ce qui encourage l'engagement de l'enfant. Les créatures dynamiques construites attirent l'attention et offrent des occasions d'interactions sociales.

Ce papier est un des premiers à mettre l'accent sur l'intérêt des interfaces tangibles pour l'interaction sociale. D'autres chercheurs ont plutôt exploré le potentiel des interfaces tangibles comme facilitant les jeux à faire semblant (« pretend play »). Une évaluation sur la base de l'observation de six enfants autistes indique que la TUI Topobo offre plus d'opportunité pour l'interaction sociale que le jeu LEGO.

Fiche 12. Sensorypaint: a multimodal sensory intervention for children with neurodevelopmental disorders.

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Ringland, K. E., Zalapa, R., Neal, M., Escobedo, L., Tentori, M., & Hayes, G. R. (2014). SensoryPaint: A Multimodal Sensory Intervention for Children with Neurodevelopmental Disorders. In Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (p. 873–884). New York, NY, USA: ACM.

Mots clé

Ecran large, interface utilisateur naturel, autisme, interaction enfant-ordinateur.

Résumé

Les interfaces utilisateurs naturelles et multimodales offrent une approche innovante pour les thérapies d'intégration sensorielle. Nous avons conçu et développé SensoryPaint, un système multimodal qui permet aux utilisateurs de peindre sur un écran large en utilisant des objets physiques, des interactions basées sur le corps, et de l'audio interactif. Nous avons évalué l'impact de SensoryPaint au travers de deux études : une étude de laboratoire avec 15 enfants ayant des désordres neurodéveloppementaux durant laquelle ils ont pu interagir avec le système durant 1 heure, et une étude de déploiement avec 4 enfants autistes durant laquelle le système a été intégré au sein de sessions quotidiennes de thérapies sensorielles existantes. Nos résultats démontrent que les écrans larges multimodaux utilisant l'interaction corps entier combiné à l'interaction tangible et l'interaction audio équilibrent l'attention des enfants entre leur propre corps et les stimuli sensoriels, augmentant les thérapies existantes et promouvant la socialisation. Ces résultats ont des implications pour la conception d'autres systèmes de l'informatique ubiquitaire pour les enfants avec des désordres neurodéveloppementaux et pour leur intégration au sein des thérapies existantes.

Commentaire

Les chercheurs en interaction humain-machine ont aussi exploré la conception de jeux interactifs impliquant le corps entier dans le contexte de thérapies sensorielles. Ici l'enjeu est moins sur l'entraînement de compétences motrices ou sociales spécifiques et plus sur l'expression corporelle et

le rapport aux corps de l'enfant. Le projet SensoryPaint présenté dans ce papier propose un dispositif interactif pour l'intervention sensorielle multimodale basé sur la captation de la silhouette de l'enfant, notamment grâce à l'utilisation de la caméra de profondeur Kinect. L'enfant voit sur un écran sa silhouette dont la couleur varie en fonction de la distance par rapport à l'écran, et peut se saisir de boules réelles qui, une fois détectées par le système, deviennent des pinceaux virtuels. Dans le contexte des thérapies sensorielles, ce projet explore l'impact d'une telle interaction (via sa propre silhouette sur un écran) ainsi que du mode d'interaction (libre sans modèle ou avec un guide de coloriage sur l'écran) sur la compréhension que l'enfant a de son corps. Deux évaluations qualitatives (d'abord 15 enfants avec TSA pour une interaction ponctuelle en laboratoire puis un déploiement de 4 semaines avec 4 enfants en thérapie sensorielle) sont présentées. Les auteurs soulignent l'importance d'alterner les interactions guidées et libres, de permettre la participation dans le jeu du praticien et de ne pas négliger l'aspect amusant de l'interaction.

Fiche 13. Design and evaluation of a collaborative virtual environment (comove) for autism spectrum disorder intervention

[Accéder à la notice de cette recherche sur la base documentaire](#)

Référence

Zhang, L., Fu, Q., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2018). Design and Evaluation of a Collaborative Virtual Environment (CoMove) for Autism Spectrum Disorder Intervention. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 11(2), 11:1–11:22.

Mots clé :

Environnements d'apprentissage, autisme, informatique collaborative.

Résumé

Le spectre du trouble autistique est un désordre neurodéveloppemental caractérisé en partie par des déficits importants pour la communication et les interactions sociales. Un environnement virtuel collaboratif, qui est un espace virtuel, distribué, pour des utilisateurs multiples qui interagissent ensemble et avec des éléments virtuels, permet de mettre en place des interactions sociales flexibles, sûres, et basées sur les pairs. Dans cet article, nous présentons la conception d'un environnement virtuel collaboratif appelé CoMove, avec comme objectifs principaux de mesurer et potentiellement d'améliorer les interactions collaboratives et la communication verbale des enfants autistes lorsqu'ils jouent aux jeux de puzzle collaboratif avec des partenaires enfants typiques depuis des lieux distribués. CoMove a deux caractéristiques distinctives : d'abord la possibilité de promouvoir des comportements collaboratifs important (incluant le partage d'information, les interactions séquentielles, et les interactions simultanées) et fournir un retour en temps réel basé sur la performance du joueur, ainsi qu'une manière objective de mesurer et d'indexer des aspects importants de la collaboration et de la communication verbale durant l'interaction avec le système. Une étude de faisabilité avec 14 dyades – 7 dyades enfants typiques avec enfants autistes et 7 dyades d'enfants typiques – a été conduite initialement pour tester la faisabilité de CoMove. Les résultats de l'étude valide la faisabilité du système et suggèrent son potentiel pour l'indexation d'aspects important de la collaboration et de la communication verbale.

Commentaire

Certains projets d'interaction humain-machine prennent le parti de réduire la complexité de l'interaction sociale pour l'entraînement en proposant des jeux de collaborations à distance : on parle d'environnement virtuel de collaboration. Avoir une interaction dyadique à distance permet de contrôler ce que perçoit chacun des membres de la dyade, ce qui offre d'autres possibilités d'interdépendance dans le contexte d'un jeu de collaboration. L'autre avantage de ces projets est qu'ils se basent sur les ordinateurs grand public facilitant potentiellement leur implémentation sur le terrain. Dans l'application CoMove présenté dans ce papier, la dyade d'enfants avec TSA doit réaliser un tangram (puzzle de sept pièces formant un carré). Trois modes sont implémentés : jeu à tour de rôle où chaque enfant fait une action à tour de rôle, jeu de partage d'informations où un des enfants n'a pas les couleurs des pièces et doit donc échanger avec son partenaire, et le jeu de collaboration où les enfants doivent bouger les pièces simultanément. Un enregistrement de données quantitatives est réalisé : temps de début et de fin du jeu, fréquence des succès, informations de déplacement des pièces et données audio des communications verbales. Les mesures de progression des enfants présentées dans cet article sont essentiellement basées sur une annotation a posteriori de la communication verbale (eg., nombre de questions, nombre de renforcements positifs). Dans ce papier très récent, l'importance que donnent les auteurs à la mise en place de la collecte de données témoigne de la compréhension par la communauté de l'interaction humain-machine de l'appropriation par les praticiens des dispositifs conçus. L'évaluation proposée est une étude de faisabilité, pour vérifier que les fonctionnalités du système sont valides pour des dyades d'enfants autistes.

Bibliographie générale commentée

I. Autisme et action motrice à deux

Dans cette partie, nous présentons une bibliographie de 52 documents répertoriant les principaux travaux relatifs à l'autisme, son diagnostic, ses spécificités notamment motrices et sociales, la collaboration motrice, l'action conjointe.

Le titre de la référence contient un lien permettant d'accéder au document complet lorsque celui-ci est disponible en accès libre ou payant.

Le lien des références ayant fait l'objet d'une fiche de lecture renvoie sur la notice complète de la base documentaire du Centre Ressources Recherche Appliquée et Handicap.

Références

- American Psychiatric Association. (2013). [*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*](#) (5th ed.). Washington, DC: Author.

Le manuel fait autorité pour le diagnostic des troubles mentaux. La version de 2013 apporte un changement important dans la classification de ce qui était décrit comme troubles envahissants du développement parmi lesquels l'autisme. La catégorie du trouble du spectre de l'autisme regroupe désormais des syndromes jusque-là distincts comme l'Asperger, et fait partie d'un ensemble plus vaste de troubles neuro-développementaux.

- 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.

L'article présente une version détaillée du CHAT comme instrument de dépistage (et non de diagnostic) de l'autisme à 18 mois.

- 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.

L'article est le premier qui présente l'outil de dépistage des signes précoces de l'autisme à 18 mois (CHAT), en mettant l'accent sur le rôle de l'attention conjointe comme prédicteur.

- Bullinger, A. (2015). [Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars. L'espace de la pesanteur, le bébé prématuré et l'enfant avec TED](#), vol. II. Ramonville Saint-Agne : Érès.

L'auteur développe dans cet ouvrage sa théorie de la motricité sur la base de l'importance de la stabilité posturale, aux prises avec la pesanteur.

- Barthélémy, C., & Bonnet-Brilhaud, F. (2012). [*L'autisme de l'enfance à l'âge adulte*](#). Paris : Flammarion.

Cet ouvrage reprend le principe de la Thérapie d'Echange et de Développement en y intégrant les connaissances récentes en neurodéveloppement et ses résultats positifs.

- Bruandet, F. (2013). [*Groupe à médiation psychomotrice : expérience pratique en CAMPS*](#). In J. Perrin & T. Maffre (eds), *Autisme et psychomotricité* (pp.345-359). Bruxelles : de Boeck.

Ce chapitre donne des exemples d'utilisation de la coordination motrice en psychomotricité de groupe.

- 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.

Il s'agit d'une étude destinée à repérer les signes précoces d'autisme chez de très jeunes frères et sœurs d'enfants autistes.

- 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.

L'article souligne le fait d'être imité comme créant ou renforçant des liens sociaux.

- Cohen, R. G., & ROSENBAUM, D. A. (2004). [*Where grasps are made reveals how grasps are planned: generation and recall of motor plans*](#). *Experimental Brain Research*, 157, 4, 486-95.

L'article montre que la façon dont la préhension est réalisée est révélatrice de sa planification.

- Colombi, C., Liebal, K., Tomasello, m., Young, G., Warneken, F., & Rogers, S. (2009). [*Examining correlates of cooperation in autism*](#). *Autism*, 13, 2, 143-163.

Le but de l'étude était d'examiner la contribution de trois capacités sociales précoces, l'imitation, l'attention conjointe et la compréhension de l'intentionnalité dans la capacité de coopération dans l'autisme.

- David, F. J., Baranek, G. T., Wiesen, C., Miao, A. F., & Thorpe, D. E. (2012). [*Coordination of precision grip in 2–6 years-old children with autism spectrum disorders compared to children developing typically and children with developmental disabilities*](#). *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 1–13.

La conclusion de l'étude suggère un retard de la coordination motrice dans l'autisme plutôt qu'un trouble spécifique lorsque sont comparées les trois populations d'enfants (typiques, avec TSA et avec retard de développement).

- Dowd, A. M., McGinley, J. L., Taffe, J. R., & Rinehart N. J. (2012). [Do planning and visual integration difficulties underpin motor dysfunction in autism? A kinematic study of young children with autism.](#) *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42, 8, 1539-1548.

Une étude cinématique montre que les difficultés de planification interviennent dans le dysfonctionnement moteur de l'autisme.

- Dawson, G., Webb, S., & McPartland, J. (2005). [Understanding the nature of face processing impairment in autism](#), *Developmental Neuropsychology* 27, 3, 403-424.

L'article montre la nature du déficit de traitement des visages dans l'autisme.

- Decety, J. & Grèzes, J. (1999). [Neural mechanisms subserving the perception of human actions.](#) *Trends In Cognitive Sciences*, 3, 5, 172-178.

Cet article de synthèse décrit les mécanismes neuronaux qui sous-tendent la perception des actions humaines.

- 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.

L'étude en IRM fonctionnelle (IRMf) de jeunes adultes avec TSA est une étude avant-après avoir été imité. L'IRMf après imitation montre une activation de l'insula inférieure droite similaire à celle qu'induit une nébulisation d'ocytocine, l'hormone de l'attachement. On montre ainsi l'effet social positif de l'imitation.

- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). [Interbrain synchronization during social interaction.](#) *PlosOne*, 5, 8.

Cet article utilise la technique de l'hyperscanning qui permet d'enregistrer deux cerveaux simultanément. Il montre que l'effet cérébral de s'imiter en synchronie est la synchronisation de certains rythmes cérébraux dans les cerveaux des deux partenaires.

- 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.

Cet article est résumé et commenté en fiche documentaire

- Gepner, B. (2014). [Autismes : ralentir le monde externe, calmer le monde interne](#). Paris : Odile Jacob.

Comme le titre l'indique, l'auteur développe sa théorie selon laquelle les entrées visuelles reçoivent un traitement spécifique dans l'autisme qui est amélioré dans certains cas par un ralentissement de la présentation visuelle ou auditive. Un logiciel gratuit en ligne peut être utilisé moyennant les conseils d'utilisation joints.

- 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.

Ce chapitre très connu expose la théorie selon laquelle les objets offrent des capacités d'actions cohérentes, appelées affordances, avec leurs caractéristiques spécifiques.

- Glazebrook, C. M., Elliott, D., Szatmari, P. (2008). [How do individuals with autism plan their movements?](#) *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38, 1, 114-126.

L'étude montre la difficulté de planification de leur mouvement par les enfants avec TSA.

- Gonzalez, D. A., Glazebrook, C. M., Studenka, B. E., & Lyons, J. (2013). [Motor interactions with another person: do individuals with Autism Spectrum Disorder plan ahead ?](#) *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 1–9. L'article est résumé et commenté en fiche documentaire.

- Haggard, P. (1998). [Planning of action sequences](#). *Acta Psychologica*, 99, 2, 201-215.

L'article analyse la planification complexe liée aux actions impliquant l'enchaînement de plusieurs séquences chez des individus typiques.

- Henderson, S.E., Sugden, D.A. (1992). [Movement Assessment Battery for children: Manual](#). London: Psychological Corporation.

Ce manuel présente une batterie de tests de la motricité de l'enfant.

- Hove, M., & Risert, J. (2009). [It's all in the timing : interpersonal synchrony increases affiliation](#). *Social cognition*, 27, 6, 949-960.

L'article montre le rôle de la synchronie interpersonnelle dans le sentiment de proximité sociale.

- Jeannerod, M. (2001). [Neural simulation of action : A unifying mechanism for motor cognition](#), *Neuroimage*, 14, 1-2, 103-109.

Cet article synthétise les grandes découvertes liées au couplage perception-action dont Jeannerod est un acteur important. Il met l'accent ici sur l'importance de la simulation de l'action dont il a montré qu'elle engendre les mêmes activations cérébrales que la production de l'action.

- Kelso, J. (1995). [*Dynamic patterns*](#). Cambridge, MA: MIT Press.

Dans cet ouvrage classique, l'auteur développe sa conception de la théorie des systèmes dynamiques d'un point de vue des relations d'ensemble entre systèmes dynamiques de niveaux différents.

- Khoramshahi, M., Shukla, A., Raffard, S., Bardy, B. G., & Billard, A. (2016). [Role of gaze cues in interpersonal motor coordination: Towards higher affiliation in human-robot interaction](#). *PLoS ONE*, 11(6), 1–22.

Cet article montre l'importance de la cible du regard dans la coordination motrice interpersonnelle en utilisant une interaction imitative entre un robot et un humain.

- Le Menn-Tripi, C. (2013). [Evaluation psychomotrice de l'enfant avec un trouble du spectre autistique](#). In J. Perrin & T. Maffre (eds), *Autisme et psychomotricité* (pp.345-359). Bruxelles : de Boeck Université.

Ce chapitre montre l'utilisation de l'imitation dans l'évaluation psychomotrice.

- Liebal, K., Colombi, C., Rogers, S.J., Warneken, F., et Tomasello, M. (2008). Aide et coopération chez des enfants avec autisme. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38.

L'article montre l'importance du partage d'objectif pour réaliser une action collaborative.

- Marsh, K. L., Richardson, M. J., Baron, R. M., & Schmidt, R. C. (2006). [Contrasting Approaches to Perceiving and Acting With Others](#). *Ecological Psychology*, 18, 1, 1–37.

Cet article discute une perspective écologique et dynamique de la coordination interpersonnelle où la simple coordination spontanée de mouvements rythmiques fait émerger des sentiments de proximité sociale et d'affinité.

- Marsh, K., Richardson, M., & Schmidt, R. (2009). [Social Connection Through Joint Action and Interpersonal Coordination](#), *Topics in Cognitive Science*, 1, 2, 320-339. Cet article propose une synthèse théorique et empirique de l'option de coopération incarnée et contextualisée montrant qu'elle crée des liens sociaux.
- 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.

L'article montre les relations entre les capacités motrices et communicatives d'enfants avec trouble du spectre de l'autisme d'âge scolaire.

- 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.

Cette étude longitudinale classique montre les difficultés d'accès à l'attention conjointe chez des enfants avec autisme, et les liens avec le développement du langage.

- Nadel, J. (2016). [Imiter pour grandir : Développement du bébé et de l'enfant avec autisme](#) (2nd ed.). Paris : Dunod.

Cet ouvrage présente le rôle de l'imitation dans le développement de la communication non verbale et des interactions sociales au cours du développement typique et dans le trouble du spectre de l'autisme.

- 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.

L'article montre pour la première fois au niveau international que l'imitation exerce une fonction de communication chez les enfants préverbaux.

- Nadel, J., & Poli, G. (2018). [Evaluer et entraîner la connaissance du corps dans l'autisme via kinect et pictogram room](#). *Enfance*, 1, 51-64.

L'article présente un outil d'évaluation et de thérapie de reconnaissance de soi basé sur l'utilisation de la plate-forme Kinect.

- Nazarali, N., Glazebrook, C., & Elliot, D. (2009). [Movement planning and reprogramming in individuals with autism](#). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39, 1401–1411.

L'article étudie la capacité de personnes avec autisme à reprogrammer la planification d'un mouvement échoué.

- Noy, L., Dekel, M., & Alon, U. (2011). [The mirror game as a paradigm for studying the dynamics of two people improvising motion together](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 52, 20947-20952.

Les auteurs utilisent l'imitation en synchronie pour étudier la dynamique qui s'instaure entre deux personnes qui improvisent des mouvements ensemble.

- ❖ 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.

L'article s'intéresse à la motricité globale et à ses anomalies dans le repérage précoce de l'autisme.

- ❖ Paulus, M. (2016). [Le développement de la planification de l'action dans un contexte d'action conjointe](#). *Developmental Psychology*, 52.

Cette étude examine le développement de la planification de l'action dans le contexte d'une action conjointe. La tâche était de tendre à l'expérimentatrice un outil qu'elle pourrait empoigner et insérer selon une orientation particulière. Les résultats montrent l'importance de l'anticipation du geste de l'autre en référence à l'objectif final. Il est particulièrement intéressant à prendre en compte dans l'étude de la collaboration motrice.

- ❖ 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.

L'article compare les affordances qui se dégagent en situation individuelle ou interindividuelles pour montrer que les mouvements de l'autre enrichissent le répertoire des possibles dans le champ de la motricité.

- ❖ 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.

L'étude présentée montre que les processus dynamiques de coordination qui sous-tendent la synchronisation motrice simple (comme les mouvements rythmiques) peuvent aussi sous-tendre des actions à deux plus complexes et dirigées vers un but, et peuvent participer à l'émergence spontanée de rôles complémentaires (comme la coordination asymétrique de patterns de mouvement) au cours d'une action à deux.

- ❖ Rinehart, N., Bradshaw, J., Brereton, A., & Tonge, B. (2001). [Movement preparation in high functioning autism and Asperger disorder](#). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 1, 79-88..

L'article montre que le déficit de préparation du mouvement dans l'autisme de haut niveau concerne l'organisation cognitive des séquences motrices au service d'une action finalisée.

- ❖ Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). [The mirror neuron system](#). *Annual Review of Neuroscience*, 27, 169-192.

Il s'agit d'un des nombreux articles de l'équipe de Rizzolatti démontrant l'existence d'un système neuronal miroir qui engendre des équivalences cérébrales entre faire et observer faire.

- ❖ Romero, V, Kallen, R., Riley, M., et Richardson, M. (2015). [Une action conjointe discontinue peut-elle être synergique ? Etude de la stabilisation d'une coordination manuelle interindividuelle](#). *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, Volume 41.

L'étude décrit une collaboration motrice entre des duos de personnes qui doivent atteindre un objectif commun mais avec des rôles différents et complémentaires. Il s'agit d'adapter son mouvement au mouvement de l'autre. Les résultats concernent des adultes typiques mais il s'agit exactement du type de compétence auquel notre logiciel voudrait entraîner les enfants avec TSA. La tâche peut inspirer des entraînements.

- ❖ Rosenbaum, D. A., & Jorgensen M. J. (1992). [Planning macroscopic aspects of manual control](#). *Human Movement Science*, 11, 1-2, 61-69.

L'étude montre que la posture initiale pour réaliser une action prédit la posture finale : si la posture initiale est confortable, la posture finale le sera, montrant qu'il y a planification de l'ensemble du processus.

- ❖ Schmitz, C., Martin, N., & Assaiante, C. (2002). [Building anticipatory postural adjustment during childhood: a kinematic and electromyographic analysis of unloading in children from 4 to 8 years of age](#). *Experimental Brain Research*, 142, 3, 354-364.

Cet article étudie les ajustements posturaux nécessités par le port d'une charge chez des enfants typiques entre 4 et 8 ans. Les données sont cinématiques et électromyographiques.

- ❖ 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.

Le chapitre présente une option issue de la théorie des systèmes dynamiques montrant que les contraintes physiologiques des degrés de liberté étant les mêmes, le mouvement à deux n'est pas plus contraint que le mouvement individuel et permet même de créer de nouvelles performances.

- ❖ Sebanz, N., Bekkering, H., & Knoblich, G. (2006). [Joint action: bodies and minds moving together](#). *Trends in Cognitive Science*, 10, 2, 70-76.

Cet article de synthèse montre l'importance des facteurs cognitifs dans la motricité en jeu dans une action conjointe.

- ❖ Volcic, R., & Lappe, M. (2009). [Predictive eye movements in gaze and action observation](#). *Journal of Vision*, 9, 436.

L'article montre que les mouvements des yeux sont prédictifs dans l'observation de l'action et de la direction du regard.

- ❖ Weigelt, M., Kunde, W., & Prinz, W. (2006). [End-state comfort in bimanual object manipulation](#). *Experimental psychology*, 53, 2, 143-148.

L'article expérimente l'effet de la posture initial dans le confort de la posture d'arrivée dans une situation de manipulation bi-manuelle.

- ❖ 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.

L'article très cité représente l'étude prospective du plus grand nombre de petits frères et sœurs d'enfants autistes jusque-là réalisée. Elle permet de documenter les premiers signes bien avant un diagnostic qui sera effectué ultérieurement.

II. Les technologies pour l'action motrice à deux

Dans cette partie, nous présentons une bibliographie de 40 documents répertoriant les principaux travaux relatifs à l'utilisation des nouvelles technologies dans le domaine de la motricité.

Références

- ❖ Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J., & Fitzmaurice, G. (2013). [YouMove: Enhancing Movement Training with an Augmented Reality Mirror](#). In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (p. 311–320). New York, NY, USA: ACM.

YouMove est un système interactif s'inspirant des miroirs de studios de dance. L'application de ce système permet à un entraîneur d'enregistrer un mouvement, d'éditer la capture et de définir les paramètres importants pour l'évaluation, puis à un élève de s'entraîner sur ce mouvement.

- ❖ Bartoli, L., Corradi, C., Garzotto, F., & Valoriani, M. (2013). [Exploring Motion-based Touchless Games for Autistic Children's Learning](#). In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (p. 102–111). New York, NY, USA: ACM.

Dans l'objectif de concevoir des logiciels dédiés à l'autisme, l'impact de quatre jeux Kinect Sports sur les compétences attentionnelles a été étudié dans ce projet.

- ❖ 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.

Les auteurs présentent une liste de recommandations issues de leur pratique de conception de jeux interactifs basés sur le mouvement. Ces recommandations sont classées en 4 sections : générales, compétences motrices, compétences cognitives et compétences sociales. Une évaluation quantitative de 3 jeux en 2 dimensions basés sur ces principes est proposée : un jeu où l'enfant doit attraper des bulles, un jeu où l'enfant doit éviter des objets et un jeu où l'enfant doit imiter une posture. Le faible nombre de participants (9 enfants) limite la portée des conclusions.

- ❖ 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.

Le jeu de puzzle collaboratif présenté par les auteurs introduit le concept de « collaboration forcée » comme règle d'interaction. Dans ce dispositif tactile multi-utilisateur, une pièce du puzzle ne peut être déplacée que si deux enfants la touchent en même temps, forçant l'action conjointe pour réaliser la tâche. Une évaluation ponctuelle avec 16 enfants avec TSA montre que le dispositif avec collaboration forcée induit plus de comportements de coordination.

- ❖ Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K., & Smith, T. J. (2014). [ECHOES: An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism](#). *Information Sciences*, 264, 41-60.

Cet article décrit la conception et l'évaluation d'un jeu sérieux appelé ECHOES faisant intervenir un agent virtuel doté de compétences sociales (tours de parole, initiation de l'interaction, expressions faciales et gestes). Une évaluation est décrite avec 29 participants. Des vidéos des interactions avec l'agent virtuel ont été annotées manuellement. L'article insiste sur la conception et la nécessité pour l'agent virtuel d'être un agent social crédible. L'hétérogénéité des participants (âge et école d'origine) explique selon les auteurs le manque de résultats significatifs sur l'ensemble des participants.

- ❖ Blum-Dimaya, A., Reeve, S. A., Reeve, K. F., & Hoch, H. (2010). [Teaching Children with Autism to Play a Video Game Using Activity Schedules and Game-Embedded Simultaneous Video Modeling](#). *Education and Treatment of Children*, 33(3), 351-370.

L'objectif principal des auteurs est d'entraîner les enfants aux diverses compétences liées aux loisirs afin de faciliter l'intégration sociale. Le jeu Guitar Hero est choisi, jeu pour lequel la manette de console est une guitare jouet.

- ❖ Bowman-Perrott, L., Davis, H., Vannest, K., Williams, L., Greenwood, C., & Parker, R. (2013). [Academic Benefits of Peer Tutoring: A Meta-Analytic Review of Single-Case Research](#). *School Psychology Review*, 42(1), 39-55.

Article de revue analysant les bénéfices académiques du tutorat par les pairs.

- ❖ Boyd, L. E., Ringland, K. E., Haimson, O. L., Fernandez, H., Bistarkey, M., & Hayes, G. R. (2015). [Evaluating a Collaborative iPad Game's Impact on Social Relationships for Children with Autism Spectrum Disorder](#). *ACM Transaction on Accessible Computing*, 7(1), 3:1–3:18.

Ce projet de recherche étudie comment la pratique de jeux collaboratifs sur iPad chez les enfants avec TSA peut développer les relations sociales. Pour cela, les auteurs proposent un protocole expérimental de type ABAB intervertissant des sessions de mini-jeux collaboratifs sur iPad et des sessions de jeu Lego. Se basant sur une évaluation qualitative avec huit participants, les auteurs énoncent des recommandations de conception pour favoriser le développement des relations sociales via les jeux collaboratifs.

- ❖ Brox, E., Luque, L. F., Evertsen, G. J., & Hernandez, J. E. G. (2011). [Exergames for elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity](#). In 2011 5th *International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (p. 546-549).

Article de revue sur les intérêts des exergames pour motiver les séniors à avoir une activité physique.

- ❖ Buisine, S., Besacier, G., Aoussat, A., & Vernier, F. (2012). [How do interactive tabletop systems influence collaboration ? Computers in Human Behavior](#), 28(1), 49-59.

Évaluation de l'impact d'une table collaborative lors d'un processus de résolution de problème créatif sur la collaboration et le travail de groupe.

- ❖ Chen, X., Siebourg-Polster, J., Wolf, D., Czech, C., Bonati, U., Fischer, D., ... Strahm, M. (2017). [Feasibility of Using Microsoft Kinect to Assess Upper Limb Movement in Type III Spinal Muscular Atrophy Patients](#). *PLoS ONE*, 12(1).

Conception d'une application Kinect utilisées dans des contextes thérapeutiques pour le diagnostic précoce d'amyotrophie spinale.

- ❖ Davis, J. W., & Bobick, A. F. (1998). [Virtual PAT: A Virtual Personal Aerobics Trainer](#). In *Workshop on Perceptual User Interfaces* (p. 13–18).

Virtual PAT a été l'un des premiers systèmes avec de la captation de mouvement basée sur la vidéo permettant des retours personnalisés sur la performance.

- ❖ Dietz, P., & Leigh, D. (2001). [DiamondTouch: A Multi-user Touch Technology](#). In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (p. 219–226). New York, NY, USA: ACM.

Cet article présente la table interactive DiamondTouch. Cette technologie a la possibilité d'identifier chaque utilisateur indépendamment (i.e., identifier l'utilisateur pour chaque doigt touchant la surface).

- ❖ Edwards, J., Jeffrey, S., May, T., Rinehart, N. J., & Barnett, L. M. (2017). [Does playing a sports active video game improve object control skills of children with autism spectrum disorder?](#) *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 17-24.

Les auteurs présentent l'évaluation d'exergames commerciaux basés sur la Kinect en termes de développements pour la motricité globale chez les enfants avec TSA. Cette approche expérimentale montre que la motricité globale ne s'améliore pas après l'intervention (6 sessions de 45 minutes) mais que la compétence motrice perçue elle s'améliore. Cette étude montre l'importance du choix des mouvements et des tâches pour l'amélioration de compétences motrices.

- ❖ Farr, W., Yuill, N., & Hinske, S. (2012). [An augmented toy and social interaction in children with autism](#). *International Journal of Arts and Technology*, 5(2-4), 104-125.

Dans ce papier c'est un jeu réel et donc tangible (un château de chevalier) qui est augmenté. Lorsque certains éléments du jeu sont positionnés à proximité, des sons se déclenchent. Les auteurs étudient plus particulièrement l'impact de la « configurabilité » du dispositif sur l'engagement et la sociabilisation des enfants jouant en même temps. Une évaluation qualitative et quantitative avec 12 enfants avec TSA montre l'augmentation des comportements sociaux dans le cas du jeu configurable.

- ❖ 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.

Les auteurs étudient les bénéfices d'utiliser des jeux « augmentés » (aussi appelés des Tangible User Interface, ou TUI) dans l'accompagnement de personnes autistes. Dans une première étude, Farr et al. (2010) évaluent l'utilisation d'une TUI appelée Topobo, un jeu de construction avec mémoire cinétique programmable. Le double intérêt de ce jeu est qu'il est d'une part programmable, ce qui encourage l'engagement de l'enfant, et d'autre part dynamique, les créatures dynamiques construites attirent l'attention et offrent des occasions d'interactions sociales.

- ❖ Fernaeus, 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, USA: ACM.

Présentation par les auteurs de l'évolution récente des pratiques au sein du courant de recherche en interaction tangible.

- ❖ 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.

Les auteurs introduisent dans ce papier et pour la première fois la notion d'interface utilisateur attrapable.

- ❖ Gal, E., Bauminger, N., Goren-Bar, D., Pianesi, F., Stock, O., Zancanaro, M., & (Tamar) Weiss, P. L. (2009). [Enhancing social communication of children with high-functioning autism through a co-located interface](#). *AI & SOCIETY*, 24(1), 75.

Les auteurs développent la StoryTable, où des dyades d'enfants avec TSA sont impliquées dans la narration collaborative d'une histoire. Les enfants doivent choisir ensemble les éléments de l'histoire comme le personnage et le fond d'écran. Certaines actions ne peuvent être faites que par un enfant alors que d'autres doivent être faites de manière conjointe, par exemple pour la sélection du fond d'écran (i.e., le bouton doit être touché à deux).

- ❖ Giusti, L., Zancanaro, M., Gal, E., & Weiss, P. L. (Tamar). (2011). [Dimensions of Collaboration on a Tabletop Interface for Children with Autism Spectrum Disorder](#). In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 3295–3304). New York, NY, USA: ACM.

Les auteurs conçoivent une série de mini-jeux pour développer trois dimensions de la collaboration chez les enfants avec TSA : l'action conjointe, le partage de ressources et la planification mutuelle. Pour l'action conjointe, les deux enfants doivent déplacer ensemble un panier sous des arbres pour réceptionner des pommes qui tombent. Une autre version du jeu implémente des rôles différents pour chaque enfant : un des enfants touche des étoiles pour les faire tomber tandis que l'autre déplace le panier pour les réceptionner. Enfin, pour le dernier jeu, la dyade doit reconstruire un pont mais chaque enfant n'a accès qu'à une partie des pièces nécessaires. Les auteurs insistent sur l'importance de considérer le rôle du praticien dans l'interaction qui implique deux enfants avec TSA : un système de validation au toucher par le praticien permet de garder le contrôle sur le déroulement de l'activité dyadique (par exemple en tempérant les actions d'un enfant impulsif).

- ❖ Grynszpan, O., Martin, J.-C., & Nadel, J. (2008). [Multimedia interfaces for users with high functioning autism: An empirical investigation](#). *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(8), 628-639.

Cet article décrit la conception d'un système multimédia pour l'entraînement à des compétences liées à la compréhension des émotions exprimées par des personnages. Un entraînement a été mené avec 10 adolescents avec TSA et 10 adolescents neurotypiques pendant 13 semaines. Une interface riche (affichant des combinaisons d'images d'expressions faciales, de dialogues textuels, et de synthèse vocale) était comparée à une interface simple (seulement les dialogues textuels). Les adolescents avec TSA obtenaient de meilleures performances après l'entraînement qu'avant l'entraînement quand ils étaient évalués avec l'interface simple (et pas avec l'interface riche multimédia). Les adolescents neurotypiques obtenaient de meilleures performances après l'entraînement qu'avant l'entraînement quel que soit la version de l'interface avec laquelle ils étaient testés après l'entraînement.

- ❖ 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.

L'article introduit la notion d'interaction tangible dans le domaine de l'interaction humain-machine.

- ❖ Hsiao, H.-S., & Chen, J.-C. (2016). [Using a gesture interactive game-based learning approach to improve preschool children's learning performance and motor skills](#) *Computers & Education*, 95, 151-162.

Cet article présente un jeu où l'enfant prend le rôle d'un gardien de foot : grâce à la capture de ses mouvements, le système affiche ses mains dans une cage de football avec comme tâche d'attraper les ballons tirés par un personnage virtuel. L'objectif de l'exercice est l'entraînement à des compétences motrices.

- ❖ Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). [The reacTable: Exploring the Synergy Between Live Music Performance and Tabletop Tangible Interfaces](#). In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (p. 139–146). New York, NY, USA: ACM.

Présentation de la table interactive et tangible Reactable faite pour la composition de performances musicales.

- ❖ 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.

Evaluation de l'apport de la pratique de la Kinems Suite sur les compétences motrices, cognitives et académiques.

- ❖ Lamboglia, C. M. G. F., Silva, V. T. B. L. da, Vasconcelos Filho, J., De, E., Pinheiro, M. H. N. P., Munguba, M. C. da S, Silva Junior, F. V. I., de Paula, F. A. R., da Silva, C. A. B. (2013). [Exergaming as a Strategic Tool in the Fight against Childhood Obesity: A Systematic Review](#). *Journal of Obesity*, 2013, e438364.

Article de revue sur l'usage des exergames pour lutter contre l'obésité chez les enfants.

- ❖ Legoff, D. B., & Sherman, M. (2006). [Long-term outcome of social skills intervention based on interactive LEGO© play](#). *Autism*, 10(4), 317-329.

Les auteurs présentent l'évaluation d'une thérapie pour enfant autiste se basant sur la pratique en groupe du jeu LEGO. Un des points clés de la thérapie est de répartir des rôles clairs entre les enfants.

- ❖ Lyons, E. J., Tate, D. F., Komoski, S. E., Carr, P. M., & Ward, D. S. (2012). [Novel Approaches to Obesity Prevention: Effects of Game Enjoyment and Game Type on Energy Expenditure in Active Video Games](#). *Journal of Diabetes Science and Technology*, 6(4), 839-848.

Cette recherche évalue l'impact de 2 heures de pratique de jeux Wii Fit sur le plaisir et l'énergie dépensée par des adultes.

- ❖ Martin, J.-C. (2018). [Agents virtuels pour l'apprentissage de compétences sociales dans l'autisme : une revue](#). *Enfance*, (1), 13-30.

Article de revue sur le développement et l'évaluation d'agents virtuels pour l'apprentissage de compétences sociales dans l'autisme.

- ❖ Pares, N., Masri, P., Wolferen, G. van, & Creed, C. (2005). [Achieving dialogue with children with severe autism in an adaptive multisensory interaction: the « MEDIATE » project](#). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(6), 734-743.

Le projet MEDIATE est un des premiers projets de recherche proposant un environnement immersif et multisensoriel ayant pour but de développer le sens du contrôle (« agency ») ainsi que le sens de l'expression créative chez des enfants avec TSA. Basé sur des capteurs de pression au sol sous un tapis et sur la reconnaissance de la parole, ce dispositif, qui utilise la plateforme EyesWeb, est équipé de deux écrans géants et d'une zone d'impressions tactiles. Le système s'adapte en temps réel aux actions de l'enfant tout en évitant les comportements répétitifs.

- ❖ Piper, A. M., O'Brien, E., Morris, M. R., & Winograd, T. (2006). SIDES: [A Cooperative Tabletop Computer Game for Social Skills Development](#). In *Proceedings of the 2006 20th Anniversary Conference on Computer Supported Cooperative Work* (p. 1–10). New York, NY, USA: ACM.

Le projet SIDES utilise la table DiamondTouch pour développer un jeu coopératif pour quatre joueurs où les enfants doivent construire ensemble un chemin pour une grenouille sur des nénuphars. L'activité mobilise les compétences de négociation, de tour de rôle, d'écoute active et de prise de perspective. L'interaction est structurée en tours, chaque enfant ayant son tour et ses boutons que seul lui peut activer (ce qui empêche un autre enfant de finir l'action d'un autre enfant). Il décide par lui-même quand passer son tour via un bouton spécifique.

- ❖ Raffle, H. S., Parkes, A. J., & Ishii, H. (2004). [Topobo: A Constructive Assembly System with Kinetic Memory](#). In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 647–654). New York, NY, USA: ACM.

Présentation du jeu de construction avec mémoire cinétique programmable Topobo.

- ❖ Ringland, K. E., Zalapa, R., Neal, M., Escobedo, L., Tentori, M., & Hayes, G. R. (2014). [SensoryPaint: A Multimodal Sensory Intervention for Children with Neurodevelopmental Disorders](#). In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (p. 873–884). New York, NY, USA: ACM.

Ce papier présente la conception et l'évaluation de « SensoryPaint », un dispositif interactif basé sur les mouvements du corps pouvant être utilisé lors de thérapies d'intégration sensorielle. L'enfant voit sur un écran sa silhouette dont la couleur varie fonction de la distance, et peut se saisir de boules détectées par le système qui deviennent ainsi des pinceaux virtuels. Deux évaluations qualitatives sont présentées soulignant l'importance de l'appropriation du dispositif par les praticiens.

- ❖ Silva, G. F. M., Raposo, A., & Suplino, M. (2015). [Exploring Collaboration Patterns in a Multitouch Game to Encourage Social Interaction and Collaboration among Users with Autism Spectrum Disorder](#). *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 24(2-3), 149-175.

Les auteurs introduisent la notion de « Patterns de Collaboration » comme différents niveaux de complexité pouvant caractériser une règle d'interaction dans un jeu multi-utilisateurs. Les 4 niveaux sont implémentés dans un jeu sur table interactive. Une évaluation avec 5 enfants avec TSA jouant en pairs (pour un total de 51 sessions) indique que la séquence appliquée de patterns encourage les activités collaboratives.

- ❖ Staiano, A. E., Abraham, A. A., & Calvert, S. L. (2012). [Motivating Effects of Cooperative Exergame Play for Overweight and Obese Adolescents](#). *Journal of Diabetes Science and Technology*, 6(4), 812-819.

Etude sur l'effet motivationnel de la pratique de jeux Wii coopératifs.

- ❖ Staiano, A. E., & Calvert, S. L. (2011). [Exergames for Physical Education Courses: Physical, Social, and Cognitive Benefits](#). *Child development perspectives*, 5(2), 93-98.

Article de revue sur les bénéfices de l'intégration d'exergames au sein de cours d'éducation physique.

- ❖ Tartaro, A., Cassell, J., Ratz, C., Lira, J., & Nanclares-Nogués, V. (2014). [Assessing 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), 2:1–2:29.

Cet article décrit un système avec un personnage virtuel dans lequel l'enfant avec TSA peut 1) interagir avec un enfant virtuel, 2) créer des comportements sociaux pour l'enfant virtuel, 3) contrôler les réponses de l'enfant virtuel lorsqu'il interagit avec une tierce personne. Les auteurs décrivent une évaluation avec 8 enfants lors de leçons sur les compétences sociales (apprendre à connaître quelqu'un, prendre le tour de parole, comment et quand interrompre, ...) durant 11 semaines. Les résultats suggèrent une amélioration de certaines compétences sociales.

- ❖ Velloso, E., Bulling, A., & Gellersen, H. (2013). MotionMA: [Motion Modelling and Analysis by Demonstration](#). In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 1309–1318). New York, NY, USA: ACM.

MotionMA est un logiciel interactif qui permet l'entraînement à la pratique de mouvement pré-enregistré en fournissant un retour en temps réel sur le mouvement à réaliser via l'affichage de flèches indiquant le changement de position à opérer.

- ❖ Villafuerte, L., Markova, M., & Jorda, S. (2012). [Acquisition of Social Abilities through Musical Tangible User Interface: Children with Autism Spectrum Condition and the Reactable](#). In *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (p. 745–760). New York, NY, USA: ACM.

Ce papier présente une application de la table interactive musicale Reactable pour l'entraînement aux habilités sociales d'enfants avec TSA.

- ❖ Wade, J., Sarkar, A., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2017). [Process Measures of Dyadic Collaborative Interaction for Social Skills Intervention in Individuals with Autism Spectrum Disorders](#). *ACM Transactions on Accessible Computing*, 10(4), 13:1–13:19.

Les auteurs présentent un jeu de pong collaboratif pour enfants avec TSA appelé DOSE (Dyad-Operated Social Encouragement). Le jeu présente quatre modes différents : un mode « seul » pour pratiquer, un mode « dyade contre l'intelligence artificielle » où les deux enfants partagent le clavier pour diriger la barre (paradigme de la collaboration forcée), un mode « rally » où les deux enfants ont chacun une barre et doivent se faire le maximum de passes et enfin un mode « compétition ».

- ❖ Zhang, L., Fu, Q., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z., & Sarkar, N. (2018). [Design and Evaluation of a Collaborative Virtual Environment \(CoMove\) for Autism Spectrum Disorder Intervention](#). *ACM Transactions on Accessible Computing*, 11(2), 11:1–11:22.

Présentation de l'application CoMove au sein de laquelle une dyade d'enfants avec TSA doit réaliser un tangram. Trois modes sont implémentés : jeu à tour de rôle où chaque enfant fait une action à tour de rôle, jeu de partage d'informations où un des enfants n'a pas les couleurs des pièces et doit donc échanger avec son partenaire, et le jeu de collaboration où les enfants doivent bouger les pièces simultanément. Un enregistrement de données quantitatives est réalisé afin de faciliter l'évaluation de la progression par les praticiens.

Cette revue de littérature a été mise en œuvre dans le cadre de la recherche « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme », soutenue par la Fondation Orange et la Fondation UEFA pour l'enfance dans le cadre du programme « Autisme et Nouvelles Technologies ». La revue de littérature a été rédigée par Jacqueline Nadel, Gael Poli, Tom Giraud, Jean-Claude Martin et Elise Prigent.

Cette revue de littérature a pour objectif de dresser l'état des lieux des connaissances en matière de recherche appliquée sur les capacités de collaboration motrice dans le trouble du spectre de l'autisme et les méthodes innovantes susceptibles d'aider à entraîner ces capacités.

