



HAL
open science

Utilisation des technologies mobiles auprès des enfants avec TSA.

Cécile Mazon, Hélène Sauzéon

► **To cite this version:**

Cécile Mazon, Hélène Sauzéon. Utilisation des technologies mobiles auprès des enfants avec TSA..
Patrick Bourdon. Autisme et usages du numériques en éducation, , 2022, 978-2-36616-088-8. hal-
03120323

HAL Id: hal-03120323

<https://inria.hal.science/hal-03120323v1>

Submitted on 25 Jan 2021

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

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

UTILISATION DES TECHNOLOGIES MOBILES AUPRÈS DES ENFANTS AVEC TSA

Cécile MAZON^{1,2} et Hélène SAUZÉON^{1,2}

¹Équipe Handicap, Activité, Cognition, Santé (Université de Bordeaux | Inserm BPH U1219)

²Équipe-projet Flowers (Inria Bordeaux Sud-Ouest)

Résumé

Les technologies numériques sont de plus en plus plébiscitées pour proposer des interventions psycho-éducatives aux enfants avec trouble du spectre autistique (TSA), et sont aujourd’hui considérées comme des supports d’interventions prometteurs. Une brève synthèse de la littérature sur ce type d’interventions permet de constater la prédominance des interventions en remédiation clinique et cognitive, en lien avec les principaux symptômes du TSA. D’autres domaines de besoins comme l’assistance en vie réelle et les apprentissages scolaires sont en revanche bien moins investis et pourraient compléter efficacement l’offre de soutien et d’accompagnement pour les individus avec TSA. En lien avec ces constats, ce chapitre propose de discuter des apports spécifiques des technologies mobiles, mais aussi d’examiner l’état des recherches dans ce domaine. Ce chapitre dresse enfin plusieurs pistes de recherche, en lien avec la conception et l’évaluation d’interventions numériques pour les enfants avec TSA.

Mots-clés : TSA, technologies mobiles, interventions, assistance, éducation

Introduction

La prise en charge et l’accompagnement des enfants et adolescents avec un trouble du spectre autistique (TSA) est un enjeu important nécessitant de développer des moyens d’intervention variés pour répondre aux multiples besoins des individus. En accord avec le modèle CIF-EA (OMS, 2007), les interventions à destination des enfants et adolescents avec TSA doivent répondre à un double-enjeu : 1) réduire le retentissement du TSA sur la vie de l’individu pour diminuer les limitations d’activités et 2) soutenir la personne dans ses activités quotidiennes et scolaires pour lever les barrières à sa participation sociale, notamment dans les milieux scolaires ordinaires.

Ces dernières années, les technologies de l’information et de la communication (TIC) à destination des individus avec TSA ont reçu une attention croissante au niveau scientifique et des marchés commerciaux, avec une multiplication des outils numériques. Elles offrent en effet de nombreux avantages pour proposer des prises en charge et des assistances individualisées et, ainsi s’accorder à la variété des profils cognitifs existant sur le spectre de l’autisme. En conséquence, ont émergé de nouvelles pratiques d’interventions auprès des élèves TSA, s’appuyant à la fois sur les pratiques thérapeutiques et comportementales existantes, et sur les potentialités d’une variété de TIC en termes d’interface, d’interaction et de personnalisation. Parmi les TIC, les technologies comme les smartphones et les tablettes, dont la propriété saillante est leur mobilité, ont permis de développer des outils d’assistance au quotidien, pour adresser les difficultés de communication et d’interactions sociales, mais aussi pour soutenir l’individu dans la réalisation d’activités, notamment en lien avec l’inclusion scolaire.

Ce chapitre propose d’explorer les apports spécifiques des technologies mobiles dans le champ des interventions numériques pour les enfants avec TSA. Pour les situer, dans un premier temps, nous exposerons une brève synthèse de la littérature sur les interventions numériques pour le TSA, qui nous permettra d’identifier des domaines de besoins qu’il est nécessaire d’étayer dans le domaine : *l’assistance à la réalisation d’activités en milieu naturel et le soutien aux apprentissages scolaires.*

Dans un second temps, pour ces deux domaines, nous examinerons les travaux mobilisant les technologies mobiles et leur contribution dans la gamme de solutions numériques à destination des enfants avec TSA. À partir de là, nous dressons des pistes de recherches devant être renforcées ou explorées pour soutenir l'intérêt des interventions numériques mobile pour le TSA, en particulier en examinant leur contribution tant sur le versant ergonomique (adaptation des interfaces au TSA) que sur leur versant clinique et/ou psychoéducatif (efficacité thérapeutique et/ou éducative).

Usages des TIC auprès des enfants et adolescents avec TSA

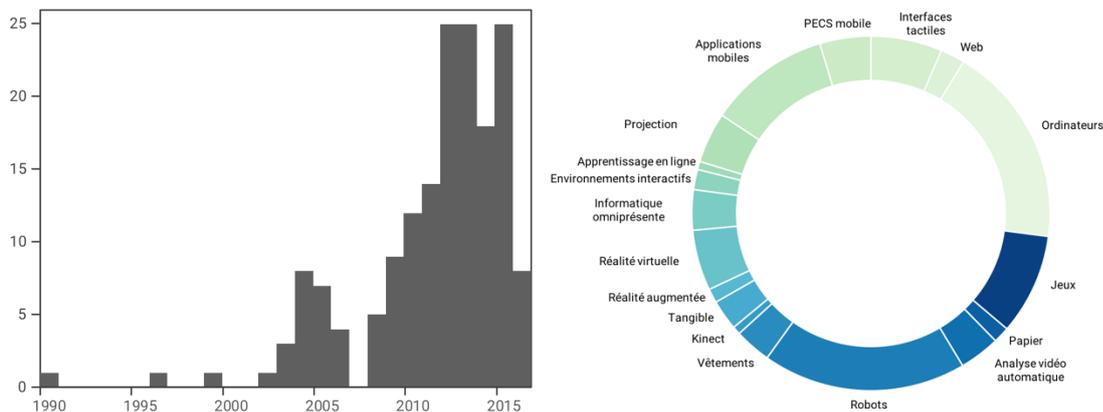


Figure 1 : à gauche, évolution du nombre de publications sur les interventions numériques auprès des enfants avec TSA ; à droite, supports numériques utilisés dans les interventions. Figures adaptées de Spiel, *et al.* (2019).

Le domaine des technologies de la santé, c'est-à-dire l'utilisation des TIC dans la prise en charge de certaines pathologies, est en pleine expansion et constitue désormais un domaine de recherche TSA à part entière (Figure 1). Les interventions numériques se sont multipliées depuis plus de dix ans dans les prises en charge des troubles neurodéveloppementaux, comme les TSA ou la DI (Fage, Mazon et Sauzéon, 2018 ; Goldsmith et Leblanc, 2004 ; Mechling, 2007, Spiel, Frauenberger, Keyes et Fitzpatrick, 2019). Ces recherches ont notamment été motivées par l'attrance particulière des enfants avec TSA pour les supports numériques, tels que les ordinateurs et les jeux vidéo, qui est souvent rapportée dans la littérature (Putnam et Chong, 2008). Aujourd'hui, les technologies utilisées couvrent le large spectre des outils numériques actuellement sur étagère (*e.g.*, application mobile, application web, ordinateur, Kinect, réalité virtuelle et augmentée) ou en phase de recherche et développement (*e.g.*, robot, e-learning).

À l'aide d'une méthodologie de recherche systématique, nous avons identifié une trentaine d'études de bonne qualité pour évaluer les interventions numériques auprès d'enfants et d'adolescents avec TSA (Mazon, Fage, et Sauzéon, 2019). La majorité des études examinées ont évalué des interventions sur ordinateur ou à l'aide de robots pour remédier aux principaux troubles liés au TSA, et en particulier les troubles liés à la communication et aux interactions sociales (Figure 1 ; Mazon, Fage, et Sauzéon, 2019, Spiel, *et al.*, 2019).

Les ordinateurs ont été mis à contribution depuis plusieurs décennies pour créer des programmes d'entraînement, souvent sous forme de jeu ciblant les capacités de reconnaissance des émotions et des expressions faciales, avec par exemple *FaceMaze* (Gordon, Pierce, Bartlett et Tanaka, 2014), *FaceSay* (Hopkins, *et al.*, 2011 ; Rice, Wall, Fogel et Shic, 2015) ou encore *EmotionTrainer* (Silver & Oakes, 2001). En dehors de *FaceMaze*, qui a été évalué en laboratoire (Gordon, *et al.*, 2014), l'évaluation de ces interventions a eu lieu à l'école en quelques semaines à plusieurs mois et ont montré des résultats positifs à l'issue de l'intervention sur les compétences socio-émotionnelles des élèves (Hopkins, *et al.*, 2011 ; Silver & Oakes, 2001 ; Rice, *et al.*, 2015). Une autre intervention sur ordinateur comprenait trois jeux visant à améliorer les compétences socio-émotionnelles : *What to choose ?*, *Intruder* et *Faces*. Les participants ont utilisé le jeu *What to choose ?* sur une période de 3

mois à l'école, tandis que les deux autres jeux étaient totalement consacrés à l'évaluation de l'affichage pour déterminer si l'interface était adaptée aux utilisateurs avec TSA (Grynszpan, Martin & Nadel, 2008). Dans le domaine de la communication, Grossman, Peskin & San Juan (2013) ont proposé un entraînement informatisé pour adresser les capacités des enfants à communiquer sur leurs actions et ont évalué la clarté communicative après une semaine de formation au laboratoire.

Plus récemment, les interventions numériques mobilisant des robots se sont multipliées dans la littérature et des études à plus grande échelle commencent à émerger. Par exemple, une série d'études randomisées contrôlées a été menée par Srinivasan, Park, Neely et Bhat (2015), Srinivasan, Eigsti, Gifford, et al (2016), et Srinivasan, Eigsti, Neely, et al (2016) pour évaluer l'efficacité d'une thérapie administrée à l'aide du robot *Nao*. Ces trois études rapportent des résultats encourageants sur plusieurs domaines liés aux besoins spécifiques des individus avec TSA : capacités sociales (Srinivasan, Eigsti, Neely *et al.*, 2016), aptitudes à la communication (Srinivasan, Eigsti, Gifford *et al.*, 2016), mais aussi compétences émotionnelles et comportements répétitifs (Srinivasan, *et al.*, 2015). Le robot *Nao* a aussi été utilisé pour entraîner des compétences-clés pour le développement des capacités sociales, comme l'imitation (Zheng, Young, *et al.*, 2016) et l'attention conjointe (Bekele, Crittendon, Swanson, Sarkar et Warren, 2014). Nous pouvons aussi citer les travaux de Pop, et al (2013) et Pop, Pintea, Vanderbroght et David (2014) qui ont utilisé le robot *Probo* pour améliorer les compétences sociales (Pop, *et al.*, 2013, 2014), ainsi que les compétences de jeu et de participation (Pop, *et al.*, 2014).

D'autres types de technologies ont été utilisées pour créer des interventions numériques mais sont moins représentées dans la littérature (Figure 1), comme la réalité virtuelle et les environnements d'apprentissage (Bekele, *et al.*, 2013 ; Lorenzo, Lledó, Pomares et Roig, 2016 ; Zheng, Warren, *et al.*, 2016), les consoles de jeu et notamment la Kinect pour améliorer la coordination motrice (Bartoli, Garzotto, Gelsomini, Oliveto et Valoriani, 2014), les tables tactiles pour créer des applications favorisant la collaboration entre plusieurs enfants (Battocchi, *et al.*, 2010 ; Bauminger-Zviely, Eden, Zancanaro, Weiss et Gal, 2013), mais aussi les tablettes et technologies mobiles avec des applications variées (Fage, *et al.*, 2018, 2019 ; Falkmer, *et al.*, 2014 ; Hourcade, *et al.*, 2013 ; Rodriguez & Cummings, 2016).

Les études évaluant les interventions numériques fournissent des arguments en faveur de l'efficacité de ces nouvelles interventions auprès des enfants et adolescents avec TSA. La plupart des études qui évaluent leurs impacts sur le plan thérapeutique, rapportent des effets positifs de ces technologies. Cependant, en tant que domaine scientifique récent, la majorité des études a été réalisée sur de petits groupes d'enfants selon des protocoles d'études de cas, ce qui limite la portée de leurs conclusions. **D'autres études sont nécessaires pour attester de leur efficacité, bien que de plus en plus d'études de groupes, contrôlées voire randomisées, soient publiées depuis quelques années.** Les résultats de ces études plus robustes méthodologiquement sont encourageants sur les effets d'intervention, suggérant que les interventions numériques sont prometteuses pour la prise en charge des enfants et adolescents avec TSA.

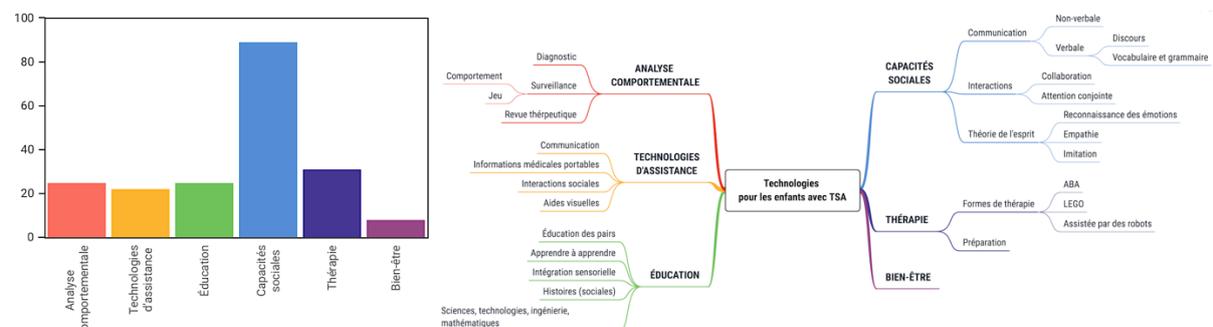


Figure 2 : Principales cibles des interventions numériques à destination des enfants avec TSA. Figures adaptées de Spiel, *et al.* (2019).

Les interventions numériques à destination des enfants avec TSA apparaissent à même de rééduquer les processus et compétences ciblés, et pour certaines, les bénéfiques semblent se maintenir dans le temps. En revanche, **peu d'études examinent le transfert et la généralisation des acquis dans de nouvelles situations**, et lorsque c'est le cas, elles font souvent état d'un transfert limité de ces apprentissages dans des situations naturelles ou dans de nouvelles tâches impliquant les processus entraînés. Ces données suggèrent que **les interventions numériques de type remédiationnelles n'ont pas toujours l'impact attendu en vie quotidienne des enfants**. Ce constat argumente un besoin d'assister les enfants avec TSA directement en situation, c'est-à-dire au moment même où ils réalisent la tâche en milieu naturel.

Au total, **les interventions numériques se sont beaucoup développées** pour la prise en charge des enfants avec TSA, mais principalement **dans une optique de remédiation clinique et non dans une visée psychoéducative de scolarisation inclusive**. En résulte que la majorité des interventions cible des compétences liées à la symptomatologie du TSA, à savoir les capacités langagières et de communication, les habiletés sociales et les troubles du comportement, et très peu les compétences scolaires pourtant essentielles dans une visée d'inclusion scolaire (Mazon, Fage et Sauzéon, 2019). En effet, parmi l'existant, les capacités de littératie ont été les plus largement investiguées, mais principalement dans un but de remédiation communicationnelle (*e.g.*, Kim, Park et Coleman, 2017 ; Knight, McKissick et Saunders, 2013). D'autres domaines de compétences « académiques » comme les mathématiques sont sous-représentés parmi les interventions numériques, et les quelques études disponibles sont méthodologiquement peu robustes. Cette conclusion est étayée par la récente revue systématique de Spiel *et al.* (2019) dans laquelle ils identifient la prépondérance des interventions visant la remédiation des capacités sociales et communicationnelles parmi un corpus de 185 études, en dépit d'autres domaines comme l'assistance à la réalisation de tâches et l'éducation. En effet, les auteurs identifient bien un petit ensemble d'interventions numériques dans le domaine de l'éducation mais celui-ci porte soit sur les compétences métacognitives, essentielles à l'apprentissage en général, soit sur l'intégration sensorielle, soit sur la narration d'histoires et la communication orale, ou encore sur l'exploration d'environnements numériques portant sur des thématiques en lien avec les sciences, technologie, ingénierie et mathématiques. En d'autres termes, cet ensemble d'interventions éducatives abordent très peu les apprentissages scolaires eux-mêmes et couvrent plutôt des compétences connexes aux apprentissages scolaires.

Ce bref état-de-l'art sur les interventions numériques auprès d'enfants et adolescents avec TSA révèle clairement une dominance des approches cliniques remédiationnelles des troubles cardinaux du TSA, au détriment des approches psychoéducatives centrées, d'une part, sur l'autonomie à la réalisation de tâches ou activités et d'autre part, sur l'éducation spécialisée des apprentissages scolaires. **Qu'en est-il des interventions à l'aide de solutions mobiles comme le téléphone et la tablette ?**

Les technologies mobiles pour les interventions auprès d'enfants et adolescents avec TSA

Les technologies mobiles sont les supports les plus utilisés après les ordinateurs et les robots (Figure 1). Tablettes et smartphones proposent de multiples modalités d'interaction avec l'utilisateur (*e.g.*, écran tactile, micro, caméra et appareil photo, vibrations, notifications) sur lesquels il est possible de faire levier à travers des catalogues d'applications téléchargeables. **Ces technologies sont relativement faciles à utiliser grâce à leur écran tactile sur lesquels des boucles perception-action simples et directes sont possibles** (*e.g.*, toucher un élément pour le sélectionner, toucher-glisser pour déplacer, pince pour le zoom). Leur large diffusion dans la société réduit la stigmatisation associée à leur usage en tant que média d'intervention, et leur faible coût les rend plus accessibles aux familles et aux écoles. Les technologies mobiles sont aussi appréciées en mi-

lieu scolaire parce qu'elles constituent des outils peu encombrants et faciles à utiliser, avec de grandes potentialités en termes de contenus. Elles peuvent donc aussi être mises à contribution pour proposer des programmes éducatifs aux élèves avec TSA.

Les applications d'assistance en milieu scolaire ont été particulièrement investies pour les enfants avec TSA (*e.g.* Iovannone, Dunlap, Huber, et Kincaid, 2003 ; Fage, Mazon et Sauzéon, 2018 ; Goldstein, 2002). **Leur portabilité et leur simplicité de commandes les rend idéales pour réaliser des outils d'assistance adaptés et utilisables dans de multiples contextes.** S'inspirant de techniques comportementales utilisées traditionnellement auprès d'enfants avec TSA (*e.g.*, TEACCH, PECS), **les outils mobiles** d'assistance ont principalement adressé les compétences langagières et de communication dans la lignée rémédiationnelle du domaine des technologies pour le TSA. Cependant, elles s'en distinguent en offrant **des solutions de soutien à la réalisation d'activités socio-adaptatives en situation scolaire ainsi que des supports pédagogiques pour les apprentissages scolaires.**

Les technologies mobiles comme vecteur d'assistance quotidienne en milieu naturel

L'offre mobile d'applications ciblant l'assistance d'activités pour tout type de handicap a été multipliée ces dernières années avec la diffusion phénoménale des smartphones et des tablettes (Donker, *et al.*, 2013). Plusieurs centaines d'applications pour les enfants avec TSA sont recensées sur les plateformes de téléchargement comme l'Apple Store pour les appareils iOS et le Play Store pour les appareils Android. L'appétence de ces enfants pour ces supports mobiles interactifs a sans aucun doute participé à leur expansion (pour revue : Stephenson et Limbrick, 2015).

L'assistance à la communication et aux interactions sociales

Les études mobilisant des supports mobiles pour l'assistance communicationnelle se sont beaucoup intéressées aux enfants non-verbaux, qui devaient transporter avec eux des classeurs d'images comme alternative de communication. La portabilité de ces supports réduit l'encombrement et la stigmatisation liée aux classeurs d'images, au profit d'un outil numérique dans lequel il est possible de stocker un grand nombre de supports de communication, voire même de produire du discours. **Ces technologies de substitution de la communication, désignées sous le terme *Alternative and Augmentative Communication (AAC)*, se généralisent de plus en plus sur supports mobiles.**

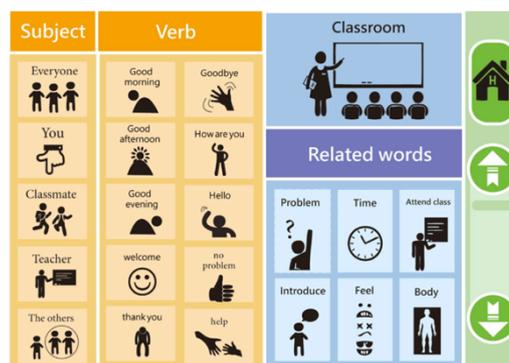


Figure 3 : Interface d'une application d'aide à la communication de type AAC.
Récupéré dans Chien, Wang, Lee et Su (2016).

Comme nous pouvons l'observer sur la Figure 3, une partie des dispositifs est inspirée des systèmes d'échanges d'images développés dans la méthode PECS et reprennent l'organisation des supports de communication par catégories sémantiques (*e.g.*, animaux, objets) et grammaticales (*e.g.*, sujet, verbe, adverbe). Ces interfaces permettent ainsi à l'enfant de sélectionner des images pour construire des phrases. Utilisées dans des interventions, ces systèmes servent pour enseigner la communication aux enfants avec TSA qui n'ont pas ou peu de compétences langagières. Par exemple, l'application iPad *Proloquo2go* reprend les principes de la méthode PECS sur un support

numérique. Sigafoos, *et al.* (2013) ont testé cette application auprès de deux frères avec TSA non-verbaux pour leur apprendre à émettre des requêtes durant une activité de jeu. Les auteurs rapportent que les deux enfants ont réussi à réaliser avec succès des demandes de poursuite d'activités, mais aussi une diminution des comportements antisociaux et un transfert des acquis dans des activités nouvelles (Sigafoos, *et al.*, 2013).

Adaptées et pertinentes pour les enfants avec TSA les moins verbaux, les AAC ont été déployées dans les classes spécialisées. L'application *iCAN*, autre adaptation numérique du PECS, a été déployée en classe spécialisée auprès de 11 élèves avec TSA et leurs équipes pédagogiques. Les entretiens réalisés avec les enseignants spécialisés et la famille font état d'une diminution du temps passé à préparer des supports de communication, et d'une plus grande volonté des enfants à s'engager dans un apprentissage et à communiquer avec leurs pairs (Chien, *et al.*, 2015). Les auteurs mettent notamment en avant une meilleure visualisation des contenus, la présence de voix digitales, la portabilité du support ainsi que la possibilité d'ajouter de nouvelles images directement à partir de l'appareil photo de la tablette (Chien *et al.*, 2015). L'application *MyVoice*, très similaire, a aussi été déployée en classe spécialisée aussi auprès d'enfants avec divers profils (*e.g.*, troubles des apprentissages, déficience intellectuelle, TSA, troubles du langage). Là encore, les auteurs rapportent un plus grand attrait et une plus grande motivation des élèves, mais sans pour autant montrer d'amélioration dans la communication (Campigotto, McEwen, et Epp, 2013).

Les AAC ne se limitent pas aux systèmes d'échanges d'images proposés dans le PECS. Certaines applications proposent des systèmes de substitution de la parole à l'aide de fonctionnalités de synthèse vocale (*speech-generating devices en anglais*). Son, *et al.* (2006) ont comparé l'efficacité d'une version numérique du PECS avec un système numérique de génération de discours : le *Voice-Output Communication Aide* (VOCA). Bien que les deux systèmes soient semblables en termes d'efficacité, les auteurs rapportent que le système basé sur le PECS a été préféré par 2 enfants avec TSA alors que le système VOCA a été préféré par le troisième enfant de l'étude (Son, Sigafoos, O'Reilly, et Lancioni, 2006). Ces résultats rappellent qu'il est important de considérer les préférences des enfants pour choisir le système numérique d'assistance le plus approprié.

Concernant l'efficacité des dispositifs AAC sur support mobile, Schlosser et Wendt (2008) ont conclu de leur revue de l'existant que **ces dispositifs étaient susceptibles d'améliorer les capacités de communication des enfants avec TSA** sans pour autant interférer avec la production du langage. Les bénéfices des AAC numériques sur les enfants sont équivalents aux bénéfices observés avec les méthodes non-numériques telles que le PECS, en faisant des outils prometteurs pour l'assistance quotidienne des enfants avec TSA (Morin, *et al.*, 2018 ; Schlosser et Wendt, 2008). Les AAC numériques offre de plus un avantage pratique dans la vie quotidienne en diminuant l'encombrement et la stigmatisation, mais aussi la charge des aidants dans la construction des contenus (pérennité, mutualisation entre enfants, etc.).

Boyd, Barnett et More (2015) proposent des critères d'évaluation à destination des professionnels scolaires qui souhaiteraient sélectionner une application mobile de type AAC adaptée pour un élève avec TSA : 1) la possibilité de personnaliser les contenus de communication (*e.g.*, ajout de vocabulaire et de catégories, options d'interface, possibilité d'enregistrer une vraie voix), 2) une interface adaptée aux capacités sensorielles et motrices des enfants avec TSA (*e.g.*, limiter les erreurs de sélection, taille des boutons ajustables), 3) le temps et les ressources nécessaires pour l'utiliser (*e.g.*, facilité d'apprentissage et d'utilisation, utilisation possible dans plusieurs contextes), 4) les résultats de recherche sur l'application (*e.g.*, études sur l'efficacité, pratiques fondées sur la recherche), et 5) le rapport qualité-prix (*e.g.*, prix raisonnable pour un service efficace, offres d'essai).

Le potentiel des tablettes et des technologies mobiles a également été étudié pour soutenir et favoriser les interactions sociales des enfants avec TSA avec leurs pairs. Hourcade, *et*

al. (2013) ont conçu et évalué un ensemble d'applications sur tablette visant à stimuler les interactions sociales des élèves avec TSA par la collaboration avec leurs pairs. Pour cela, plusieurs jeux sur tablette sont proposés où les enfants doivent travailler en collaboration pour réussir l'activité (e.g., déplacer les pièces de puzzle ensemble, toucher toutes les zones de l'écran simultanément). Leur étude auprès de 8 enfants avec TSA a mis en évidence une augmentation des comportements pro-sociaux, des interactions verbales et des remarques d'encouragement.

A la frontière entre classe spécialisée et environnement scolaire ordinaire, l'application *MOSOCO* cible elle aussi le soutien des interactions sociales en utilisant l'approche de la réalité augmentée (Escobedo *et al.*, 2012). Au travers de cette application et après un entraînement préalable des compétences sociales pour les participants avec TSA, 3 enfants avec TSA et 9 enfants neurotypiques ont pu pratiquer les interactions sociales durant les récréations, dans un espace séparé des autres enfants. **Cette utilisation a donné lieu à une augmentation du nombre d'interactions entre participants avec TSA et leurs pairs, de même qu'une augmentation du temps d'interaction et d'une réduction des erreurs.** Cependant, bien que cette intervention ait été réalisée dans un environnement plus ordinaire que la classe spécialisée, l'utilisation de *MOSOCO* semble peu réalisable en environnement non-contrôlé. En effet, les interactions entre les utilisateurs supposent de braquer le smartphone vers la personne, interposant l'appareil entre les utilisateurs. De plus, seuls les détenteurs de l'application peuvent interagir ensemble, se repérant au moyen d'une fonctionnalité de celle-ci.

L'assistance à la réalisation d'activités socio-adaptatives en milieu scolaire

Les programmes visuels d'activités sont des outils très utilisés auprès d'enfants avec TSA en milieu spécialisé : ils consistent à décomposer une activité en une séquence d'étapes à suivre, décrites par une consigne écrite et illustrée par une image (Knight, Sartini et Springgs, 2015 ; McClannahan et Krantz, 1999). Ils sont intégrés dans de nombreuses méthodes dédiées aux enfants avec TSA, comme l'ABA et la méthode Lovaas, ou encore la méthode TEACCH. L'efficacité de ces assistances à la réalisation d'activités a été démontrée dans plusieurs études, tant en termes d'engagement et d'initiation sur les tâches que de diminution des comportements inadaptés (Koyama et Wang, 2011 ; Lequia, Machalicek, et Rispoli, 2012 ; McClannahan et Krantz, 1999).

Le découpage des activités permet de réduire l'anxiété et la charge cognitive liée à la planification de la tâche chez des enfants avec TSA, dont le fonctionnement exécutif est affecté. Existant déjà sur support papier, leur implémentation sur un support numérique mobile a l'avantage de réduire l'aspect stigmatisant, d'augmenter la portabilité et de diminuer la charge des aidants, qui consacrent beaucoup de temps à créer, gérer et mettre à jour les contenus (Ben-Avie, Newton, et Reichow, 2014 ; Hayes, *et al.*, 2010 ; Mechling, 2007).

Par exemple, le système *vSked* propose de créer et de gérer des programmes d'activités à l'échelle d'une classe (Hirano, *et al.*, 2010). À partir d'entretiens avec des familles et des professionnels, et d'observations directes dans 3 classes spécialisées américaines, Hirano *et al.* (2010) ont conçu cette application pour la création et la gestion de programmes d'activités à l'échelle d'une classe. L'enseignant et chaque enfant dispose d'une tablette, et un écran dans la classe affiche la progression des élèves dans le programme individualisé. Chaque tablette fournit un support visuel à l'élève pour lui indiquer l'activité en cours et les transitions d'activités. Déployé dans une classe spécialisée de 9 enfants avec TSA, l'évaluation a montré une réduction de la charge de travail de l'équipe pédagogique, mais aussi des améliorations en termes de communication et d'interactions sociales chez les élèves.

D'autres interventions ont eu lieu dans l'environnement scolaire, afin d'assister les enfants à l'initiation, ou bien à la gestion des tâches. Cihak Wright, et Ayres (2010) ont assisté des enfants avec TSA dans l'initiation d'une tâche scolaire classique (e.g. écrire, lire, écouter, etc.) à l'aide d'un smartphone. Pour autre exemple, on peut citer une application de gestion de tâche, implémentée

sur smartphone, utilisée par 22 jeunes adultes avec TSA à l'université (Gentry, Wallace, Kvarfordt, et Lynch, 2010). A la fin des 8 semaines d'intervention, les participants présentaient une performance accrue dans la tâche, ainsi qu'une utilisation autonome de l'assistant. Enfin, plus récemment, l'application *Classroom Schedule+*, conçue spécifiquement pour soutenir l'inclusion scolaire des enfants avec TSA en classe ordinaire (Figure 4), comporte deux volets : l'un concernant les routines de classe et l'autre les routines communicationnelles. Ces applications ont été déployées en classe ordinaire auprès de 5 enfants avec TSA et 5 avec déficience intellectuelle (plus 5 enfants avec TSA contrôles) durant 3 mois. Les auteurs rapportent une utilisation autonome de l'outil ainsi que des améliorations sur la réalisation des tâches soutenues au sein de la classe ordinaire (Fage, *et al.*, 2018).

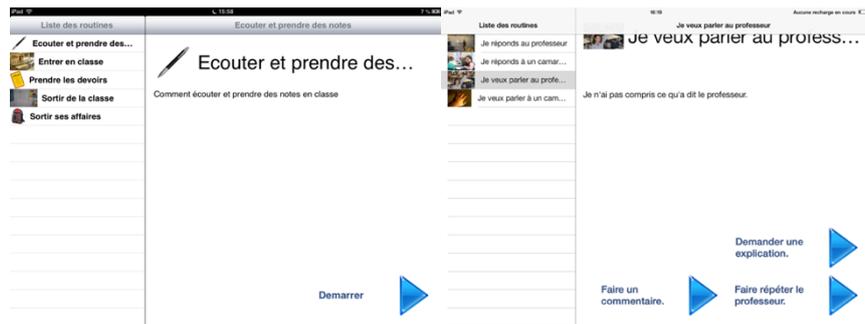


Figure 4 : Application de gestion de tâches *Classroom Schedule+*. Récupéré de Fage, *et al.* (2016).

Cette dernière application s'inscrivait en réalité dans un projet global, nommé *Collège+*, rassemblant à la fois des applications d'assistance *in situ* (programmes d'activité, régulation émotionnelle) et des applications de remédiation cognitive (jeux sérieux autour des compétences de Théorie de l'esprit. Déployées pendant 3 mois auprès de 50 enfants en classe ordinaire et au domicile, ces applications ont permis des améliorations aussi bien sur le plan des comportements (mesurés par des échelles standards – EQCA-VS (Morin et Maurice, 2001) et SRS (Constantino et Gruber, 2005)) que sur les processus cognitifs qui sous-tendent ces comportements (reconnaissance d'émotions, fluence émotionnelle, reconnaissance des visages, *etc.*). **Les auteurs rapportent que ces résultats prometteurs sont certainement liés à l'association d'applications d'assistance et de remédiation, utilisées dans une intervention globale impliquant à la fois les équipes pédagogiques et les parents (Fage *et al.*, 2018).**

Applications éducatives pour les apprentissages scolaires

La performance académique et la réussite scolaire des élèves avec TSA n'ont été que peu explorés dans la littérature scientifique. Ainsi, peu d'interventions se sont concentrées sur l'acquisition de compétences scolaires pour les individus avec TSA. Pourtant, il est rapporté dans la littérature que les élèves avec TSA peuvent avoir des difficultés à atteindre le niveau scolaire attendu, et notamment ceux qui sont scolarisés en classe spécialisée (e.g., Gevarter, *et al.*, 2016 ; Jones, *et al.*, 2009 ; Oswald, *et al.*, 2016 ; Kurth et Mastergeorge, 2010 ; Wei, Christiano, Yu, Wagner et Spiker, 2015). **Une petite partie des interventions numériques visent l'entraînement et l'apprentissage de savoirs et compétences scolaires (e.g., littératie, numératie).** Knight, McKissick et Saunders (2013) ont identifié 25 études évaluant des interventions numériques adressant des compétences académiques chez des enfants avec TSA. La majorité des études recensées sont des programmes sur ordinateur visant à entraîner des compétences de littératie. Ces interventions s'inspirent beaucoup des principes des techniques éprouvées auprès des enfants avec TSA comme le renforcement, la correction d'erreur, ou encore l'indication de réponses. Les interventions visant des matières liées aux sciences ou aux mathématiques sont en revanche très peu représentées (Knight, McKissick et Saunders, 2013 ; Spooner, Root, Saunders et Browder, 2019).



Figure 5 : Interfaces de l'application *LearnEnjoy School*. Récupéré sur <http://www.learnenjoy.com/>

L'intervention *TeachTown* est un exemple de programme sur ordinateur adressant à la fois des compétences langagières, cognitives et académiques (Whalen, *et al.*, 2010). L'évaluation a été réalisée auprès d'élèves avec TSA de 2 à 7 ans, et a montré des bénéfices sur le test de Brigance, mais sans donner de détails sur les compétences mathématiques (Whalen, *et al.*, 2010). On retrouve une initiative similaire sur support mobile, avec les applications *LearnEnjoy* (Figure 5), projet financé par le Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. *LearnEnjoy* propose des applications pour la maternelle et le primaire, conçues par une équipe pluridisciplinaire pour favoriser l'apprentissage en s'appuyant sur la méthode ABA. Une première étude a été menée avec 31 enfants et 9 adultes avec TSA. Après un premier temps d'adaptation au dispositif, l'utilisation de *LearnEnjoy* pendant 6 mois a permis une meilleure régulation des activités et une diminution de la résistance au changement (Nézereau, *et al.*, 2016). En revanche, la progression scolaire des élèves n'a pas été évaluée, ce qui ne permet pas de conclure sur l'efficacité de *LearnEnjoy* sur l'acquisition de savoirs et compétences scolaires.

Les technologies mobiles ont aussi été utilisées pour servir de supports d'assistance permettant de guider et de soutenir la réalisation d'activités scolaires. Ledbetter-Cho, *et al.* (2018) ont réalisé une méta-analyse sur 19 études évaluant l'usage de tablettes pour adresser les capacités académiques d'individu avec TSA. La quasi-totalité des études se sont basés sur des modèles vidéos (*e.g.*, *video modeling*, *video self-modeling*) ou des programmes visuels d'activités pour décomposer la réalisation d'activités scolaires. Ces applications proposent de guider la réalisation d'activités en proposant une procédure à suivre en vidéo ou en images. Parmi ces études, huit adressaient spécifiquement l'apprentissage de savoirs scolaires liés à la littératie ou à la numératie, et onze se concentraient sur les comportements d'engagement des élèves avec TSA dans les activités scolaires. Les résultats de leur méta-analyse montrent globalement que ces dispositifs sont efficaces avec des effets modérés à larges. Les interventions adressant les compétences académiques ont obtenu des tailles d'effet un peu plus importantes que celles qui visent l'engagement des élèves avec TSA. En revanche, les auteurs soulignent que plusieurs études manquent de participants, et que d'autres études plus robustes sont nécessaires pour confirmer leurs observations.

Un grand nombre d'applications visant l'entraînement de compétences scolaires existe sur les catalogues d'application en ligne (Play store et Apple store), mais elles font rarement l'objet d'études scientifiques pour examiner leurs effets sur les apprentissages. Herodotou (2017) a réalisé une revue des études évaluant des applications mobiles destinées à entraîner les apprentissages scolaires chez les enfants en général. Des applications adressant la littératie et la numératie chez de jeunes enfants ont rapporté des résultats positifs en termes d'apprentissage. Cependant, comme pour les interventions à visée remédiate sur ordinateur, le maintien et le transfert des acquis à de nouvelles situations restent encore limités.

En conclusion sur cette partie, qu'elles visent l'entraînement des acquisitions scolaires ou l'assistance à la réalisation d'activités, les TIC mobiles apparaissent être un vecteur d'intervention prometteur, mais de plus amples études sont nécessaires pour en évaluer les effets et donc leur valeur ajoutée, notamment en regard des supports non-numériques plus traditionnels (Knight, McKissick et Saunders, 2013 ; Spooner, *et al.*, 2019).

Limites des travaux actuels et perspectives de recherche

Plusieurs limites peuvent être identifiées parmi l'existant vis-à-vis de la conception et de l'évaluation des interventions numériques, mais plusieurs travaux offrent des perspectives d'amélioration pour développer des solutions répondant plus efficacement aux besoins des enfants avec TSA.

Conception des interventions numériques

Les apports des recherches sur les interactions homme-machine ne sont pas systématiquement considérés pour concevoir des outils numériques à destination des enfants avec TSA. Ces recherches soulignent pourtant l'importance de considérer les « facteurs humains » pour concevoir des systèmes numériques adaptés aux utilisateurs, leur permettant d'accéder au contenu et d'utiliser le système efficacement. Les études sur les interventions numériques ne rapportent pas toujours leur démarche de conception et ont peu de considérations relatives à l'ergonomie des interfaces numériques. **Quelques études ont dressé des listes de principes de conception généraux permettant de concevoir des outils numériques adaptées au fonctionnement des enfants avec TSA.** Ces recommandations concernent principalement des caractéristiques liées aux interfaces et aux fonctionnalités des systèmes numériques, comme par exemple la simplicité et la prédictibilité dans les affichages, ou encore des correspondances claires entre les actions et les feedbacks (Fage, *et al.*, 2019 ; Hayes *et al.*, 2010 ; Hourcade *et al.*, 2013). Certains principes se rapprochent des pratiques spécialisées, comme utiliser des récompenses et favoriser les interactions sans erreur (Knight, McKissick et Saunders, 2013). **Intégrer ses principes dans la conception des interventions numériques est une première étape pour améliorer la qualité des systèmes utilisés et leur adaptation aux particularités de fonctionnement des enfants avec TSA.**

La plupart des outils évalués dans les études sont conçus par des chercheurs sur la base des connaissances sur le fonctionnement des individus avec TSA et de l'existant en matière d'interventions (Frauenberger, Good et Alcorn, 2012). **Bien qu'il permette d'aboutir à des interventions relativement efficaces sur le plan clinique, ce processus de conception par des experts présente certains désavantages et peut en partie expliquer la surreprésentation des interventions à visée reméditative.** En effet, les experts conçoivent des interventions selon leurs propres représentations des individus avec TSA et de leurs besoins, et elles ont longtemps été guidées par une vision assez « médicale » du TSA, plutôt que centrée sur les besoins. Ce mode de conception néglige ainsi les besoins réels des enfants avec TSA, ce qui peut générer des outils éloignés des attentes des enfants et de leurs familles (Frauenberger, Good et Alcorn, 2012). En d'autres termes, les méthodes participatives ne sont pas très répandues dans le domaine des technologies pour les enfants avec TSA, ou se limitent à l'implication des familles et de professionnels, et non des enfants eux-mêmes (Frauenberger, Good et Alcorn, 2012 ; Spiel, *et al.*, 2019). Ces derniers sont en général peu impliqués dans la conception, et ne sont sollicités que lorsqu'il s'agit d'évaluer l'intervention. **Bien que faire participer les enfants avec TSA représente un défi, compte tenu de leurs difficultés dans la communication sociale, cette approche crée des opportunités nouvelles, permettant par exemple d'exploiter le potentiel créatif des enfants pour élaborer des solutions plus innovantes et appropriées à leur capacités et besoins (Frauenberger, Good et Alcorn, 2012 ; Spiel, Frauenberger, Hornecker, et Fitzpatrick, 2017).** La participation de l'enfant dans l'ensemble du processus permet aussi de stimuler le développement de son auto-détermination et offre des opportunités de participation à la conception d'outils numériques qui les concernent (Spiel, *et al.*, 2019).

Évaluation des effets des interventions

Une autre limite concerne les méthodes d'évaluation. **Plusieurs revues de la littérature signalent en effet que les études sur les interventions numériques manquent de qualité métho-**

dologique (e.g., Grynszpan, *et al.*, 2014 ; Ploog, *et al.*, 2013 ; Mazon, Fage et Sauzéon, 2019 ; Ramdoss, *et al.*, 2012). Par exemple, les effets d'intervention sont parfois évalués en l'absence d'un groupe contrôle ou alors sur de petits effectifs d'enfants. Beaucoup d'études sont des études de cas, limitant la portée de leurs résultats par rapport à des études de groupe contrôlées ou randomisées. En dehors du protocole d'évaluation, les études se limitent souvent à l'évaluation des effets directs des interventions : un ensemble de mesures est réalisé avant et après l'intervention pour déterminer son efficacité (Mazon, Fage et Sauzéon, 2019). Ce type de protocole exige que de nombreuses études soient menées pour éprouver les effets d'interventions auprès de multiples individus et à travers plusieurs contextes environnementaux, de façon à accumuler suffisamment de preuves d'efficacité (Horner, *et al.*, 2005). Une autre solution consiste à renforcer les protocoles expérimentaux (plus grands échantillons, essais contrôlés ou randomisées), qui apportent un niveau de preuve plus robuste que les études de cas. Cependant, il est difficile de mener de tels essais sur le terrain parce qu'ils nécessitent des moyens humains et financiers importants.

En ce qui concerne les mesures des effets d'interventions, les évaluations se focalisent sur les effets directs sur les processus ciblés. Certaines mesures sont créées pour les besoins de l'étude, et leurs qualités psychométriques ne sont donc pas connues. Sans renier leur capacité à capture des effets d'intervention, elles sont néanmoins moins fiables que des mesures validées. Peu d'études examinent les effets collatéraux des interventions, par des mesures sur des construits extérieurs à la cible d'intervention. Les études examinent rarement le maintien des effets dans le temps et le transfert des acquis, alors que ces dimensions sont essentielles pour déterminer si les bénéfiques sont durables et si ces interventions apportent une amélioration dans de multiples contextes. **L'évaluation des outils numériques se focalise aussi sur les impacts locaux (souvent de nature thérapeutique) et peu d'études examinent les qualités ergonomiques des interventions numériques auprès d'enfants avec TSA.** Pourtant, compte tenu de la variabilité des aptitudes aux interactions avec les systèmes numériques dans le TSA, des dimensions comme l'accessibilité et l'utilisabilité sont essentielles en amont, pour susciter en aval l'efficacité des interventions en garantissant que l'enfant puisse accéder de manière optimale au contenu de l'intervention et donc en retirer des bénéfiques (Mazon, Fage et Sauzéon, 2019).

Augmenter la personnalisation

Pour répondre aux besoins uniques des enfants avec TSA, ces technologies doivent être suffisamment flexibles, c'est-à-dire personnalisables et évolutives, pour les accompagner dans leur développement (Hayes *et al.*, 2010). La plupart des outils numériques à destination des enfants avec TSA proposent la possibilité de personnaliser les contenus. Comme beaucoup d'interventions reposent sur des supports visuels, cela consiste souvent à introduire des contenus personnalisés à l'aide de photos et de vidéos prises dans le quotidien de l'élève. Par exemple, les programmes visuels d'activités numériques permettent en général d'insérer des photos de l'enfant en train de réaliser les étapes de la séquence d'activité, ou encore de créer de nouvelles séquences en fonction des besoins particuliers de l'enfant. **La personnalisation de l'application repose ainsi sur les actions d'un adulte (parent ou professionnel) qui réalise lui-même le paramétrage du système. De plus, la personnalisation reste « figée » et nécessite l'intervention d'un adulte aidant pour insérer de nouveaux contenus.** En cela, l'évolutivité des contenus peut être difficile à assurer, et limiter l'utilité à long terme de ces outils numériques.

Ainsi, **bien que les interventions soient adaptables aux besoins particuliers des enfants avec TSA, elles ne sont cependant en mesure d'être flexibles et adaptatives dans la sélection des contenus en fonction de l'évolution de l'élève.** La personnalisation repose sur les aidants proches de l'enfant, ce qui nécessite qu'ils soient en mesure d'utiliser les applications et d'en paramétrer les contenus et le fonctionnement. L'observation de l'aidant peut aussi être biaisée par sa subjectivité et par des effets de contextes, ce qui peut limiter l'adaptation aux progrès réels de l'élève, qui sont susceptibles d'être variables en fonction des moments et des contextes.

Une piste pour renforcer l'adaptabilité des systèmes d'assistance serait de proposer des systèmes permettant d'adapter le niveau d'assistance en fonction des progrès de l'élève, tout en permettant une modulation lorsque l'élève souhaite ponctuellement une assistance supplémentaire.

Dans le domaine de l'éducation, le cadre conceptuel de **l'Universal Design for Learning** (UDL ; Rose et Meyer, 2006) a été développé pour créer des programmes pédagogiques inclusifs pour tous les apprenants, y compris ceux en situation de handicap. Ce cadre conceptuel propose de multiplier les stratégies pédagogiques et de les rendre flexibles pour réduire les barrières à l'enseignement. A ce titre, Goodall (2015) a proposé une liste de principes spécifiques aux TSA pour la conception pédagogique. **Aussi, pour répondre aux défis liés à la diversité des apprenants, les techniques de *machine learning* pourraient être mobilisées pour optimiser les bénéfices des interventions numériques.** Des algorithmes sont aujourd'hui conçus pour personnaliser la sélection des contenus d'apprentissage en fonction du niveau initial et des progrès de l'apprenant, ce qui permet de rendre unique chaque parcours d'apprentissage en maximisant les bénéfices qui en retour stimulent la motivation de l'apprenant et l'engagement de celui-ci à poursuivre ses efforts d'apprentissages (Clément, Roy, Oudeyer, et Lopes, 2015 ; Oudeyer, Gottlieb et Lopes, 2016, Delmas, *et al.* 2018).

Conclusion

Parmi les TIC, les technologies mobiles comme les smartphones et les tablettes ont des avantages spécifiques offrant des outils de remédiation clinique et d'assistance au quotidien en lien avec les difficultés de communication et d'interactions sociales associées aux TSA, mais aussi des outils de soutien à la réalisation d'activités adaptatives et à l'acquisition d'apprentissages scolaires. En ce sens, les technologies mobiles offrent un spectre d'applications suffisamment large pour couvrir les besoins des enfants avec TSA. Cependant, gardons à l'esprit, que relativement peu d'applications mobiles concernent les apprentissages scolaires pour les enfants avec TSA. Aussi, quel que soit le domaine d'application, des efforts de validation à la fois ergonomique (accessibilité, utilisabilité et expérience utilisateur) et d'efficacité (thérapeutique ou éducative) doivent encore être mobilisés pour en attester la valeur ajoutée. La vaste offre d'applications disponibles sur les plateformes de téléchargement fait rarement l'objet d'études scientifiques, leur usage doit donc être bien motivé en amont, pour ne pas engager l'enfant inutilement dans des usages non bénéfiques pour son développement. Enfin, le potentiel des TIC est encore sous-exploité dans les interventions. Or, c'est le contenu et le fonctionnement des logiciels embarqués dans les technologies mobiles qui renforce le pouvoir de l'intervention. Il est donc primordial que les interventions mobiles se nourrissent des progrès technologiques, comme les algorithmes d'optimisation des apprentissages ou les environnements intelligents, pour *in fine* se démarquer des approches traditionnelles, et faire la différence en termes d'efficacité.

Bibliographie

- Bartoli, L., Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L. et Valoriani, M. (2014). Designing and Evaluating Touchless Playful Interaction for ASD Children. *Proceedings of the 2014 Conference on Interaction Design and Children (IDC'14)*, 17-26. doi : 10.1145/2593968.2593976
- 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. doi : 10.5042/jat.2010.0040
- Bauminger-Zviely, N., Eden, S., Zancanaro, M., Weiss, P. L. T. et Gal, E. (2013). Increasing Social Engagement in Children with High-Functioning Autism Spectrum Disorder Using Collaborative Technologies in the School Environment. *Autism*, 17(3), 317-339. doi : 10.1177/1362361312472989
- Bekele, E. T., Crittendon, J. A., Swanson, A. R., Sarkar, N. et Warren, Z. E. (2014). Pilot Clinical Application of an Adaptive Robotic System for Young Children with Autism. *Autism*, 18(5), 598-608. doi : 10.1177/1362361313479454
- Bekele, E. T., Zheng, Z., Swanson, A. R., Crittendon, J. A., Warren, Z. E. et Sarkar, N. (2013). Understanding How Adolescents with Autism Respond to Facial Expressions in Virtual Reality Environments. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4), 711-720. doi : 10.1109/TVCG.2013.42
- Ben-Avie, M., Newton, D. et Reichow, B. (2014). Using Handheld Applications to Improve the Transitions of Students with Autism Spectrum Disorders. Dans Silton, N. R. (dir), *Innovative Technologies to Benefit Children on the Autism Spectrum* (p. 105-124). Hershey : IGI Global. doi : 10.4018/978-1-4666-5792-2.ch007
- Boyd, T. K., Hart Barnett, J. E. et More, C. M. (2015). Evaluating iPad technology for enhancing communication skills of children with Autism Spectrum Disorders. *Intervention in School and Clinic*, 51(1), 19-27. doi : 10.1177/1053451215577476
- Campigotto, R., McEwen, R. et Epp, C. D. (2013). Especially social: Exploring the use of an iOS application in special needs classrooms. *Computers & Education*, 60(1), 74-86. doi : 10.1016/j.compedu.2012.08.002
- Chen, C. H., Wang, C. P., Lee, I. J. et Su, C. C. C. (2016). Speech-generating devices: effectiveness of interface design—a comparative study of autism spectrum disorders. *SpringerPlus*, 5(1), Article 1682. doi : 10.1186/s40064-016-3181-6
- Chien, M.-E., Jheng, C.-M., Lin, N.-M., Tang, H.-H., T'aele, P., Tseng, W.-S. et Chen, M. Y. (2015). iCAN: A tablet-based pedagogical system for improving communication skills of children with autism. *International Journal of Human-Computer Studies*, 73, 79-90. doi : 10.1016/j.ijhcs.2014.06.001
- Cihak, D. F., Wright, R. et Ayres, K. M. (2010). Use of self-modeling static-picture prompts via a handheld computer to facilitate self-monitoring in the general education classroom. *Education and Training in Developmental Disabilities*, 45(1), 136. Repéré à <https://www.jstor.org/stable/23880157>
- Clement, B., Roy, D., Oudeyer, P. Y. et Lopes, M. (2015). Multi-armed bandits for intelligent tutoring systems. *Journal of Educational Data Mining*, 7(2), 20-48.
- Constantino, J. N. et Gruber, C. P. (2005). *Social Responsiveness Scale (SRS)*. Los Angeles : Western Psychological Services.
- Donker, T., Petrie, K., Proudfoot, J., Clarke, J., Birch, M.-R. et Christensen, H. (2013). Smartphones for smarter delivery of mental health programs: a systematic review. *Journal of Medical Internet Research*, 15(11), e247. doi : 10.2196/jmir.2791
- De Leo, G. et Leroy, G. (2008). Smartphones to Facilitate Communication and Improve Social Skills of Children with Severe Autism Spectrum Disorder: Special Education Teachers as Proxies. *Proceedings of the 7th international conference on Interaction design and children (IDC'08)*, 45-48. doi : 10.1145/1463689.1463715
- Delmas, A., Clément, B., Oudeyer, P. Y. et Sauzéon, H. (2018). Fostering health education with a serious game in children with asthma: pilot studies for assessing learning efficacy and automatized learning personalization. *Frontiers in Education*, 3(99), 22 pages. doi : 10.3389/educ.2018.00099
- Escobedo, L., Nguyen, D. H., Boyd, L., Hirano, S., Rangel, A., Garcia-Rosas, D., ... Hayes, G. (2012). MOSOCO: a mobile assistive tool to support children with autism practicing social skills in real-life situations. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2589-2598. doi : 10.1145/2207676.2208649
- Fage, C., Consel, C. Y., Baland, E., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M. et Sauzéon, H. (2018). Tablet Apps to Support First School Inclusion of Children With Autism Spectrum Disorders (ASD) in Mainstream Classrooms: A Pilot Study. *Frontiers in psychology*, 9(2020), 16 pages. doi : 10.3389/fpsyg.2018.02020
- Fage, C., Consel, C., Etchegoyhen, K., Amestoy, A., Bouvard, M., Mazon, C. et Sauzéon, H. (2019). An emotion regulation app for school inclusion of children with ASD: Design principles and evaluation. *Computers & Education*, 131, 1-21. doi : 10.1016/j.compedu.2018.12.003
- Fage, C., Mazon, C. et Sauzéon, H. (2018). Inclusion scolaire des enfants avec TSA et interventions basées sur les nouvelles technologies: une revue de littérature. *Enfance*, (1), 103-130. doi : 10.3917/enf2.181.0103
- Fage, C., Pommereau, L., Consel, C., Baland, E., & Sauzéon, H. (2016). Tablet-based activity schedule in mainstream environment for children with autism and children with ID. *ACM Transactions on Accessible Computing (IACCESS)*, 8(3), Article 9, 26 pages. doi : 10.1145/2854156
- Falkmer, T., Horlin, C., Dahlman, J., Dukic, T., Barnett, T. et Anund, A. (2014). Usability of the SAFEWAY2SCHOOL System in Children with Cognitive Disabilities. *European Transport Research Review*, 6(2), 127-137. doi : 10.1007/s12544-013-0117-x
- Frauenberger, C., Good, J. et Alcorn, A. (2012). Challenges, opportunities and future perspectives in including children with disabilities in the design of interactive technology. *Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children (IDC'12)*, 367-370. doi : 10.1145/2307096.2307171
- Frauenberger, C., Good, J., Alcorn, A. et Pain, H. (2012). Supporting the design contributions of children with autism spectrum conditions. *Proceedings of the 11th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '12*, 134-143. doi : 10.1145/2307096.2307112
- Gentry, T., Wallace, J., Kvarfordt, C. et Lynch, K. B. (2010). Personal digital assistants as cognitive aids for high school students with autism: Results of a community-based trial. *Journal of Vocational Rehabilitation*, 32(2), 101-107. doi : 10.3233/JVR-2010-0499
- Gevarter, C., Bryant, D. P., Bryant, B., Watkins, L., Zamora, C. et Sammarco, N. (2016). Mathematics interventions for individuals with autism spectrum disorder: A systematic review.

- Review *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 3(3), 224–238. doi : 10.1007/s40489-016-0078-9
- Goldsmith, T. R. et LeBlanc, L. A. (2004). Use of technology in interventions for children with autism. *Journal of Early and Intensive Behavior Intervention*, 1(2), 166–178. doi : 10.1037/h0100287
- Goldstein, H. (2002). Communication intervention for children with autism: A review of treatment efficacy. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(5), 373–396. doi : 10.1023/A:1020589821992
- Goodall, C. (2015). How do we create ASD-friendly schools? A dilemma of placement. *Support for Learning*, 30(4), 305–326. doi : 10.1111/1467-9604.12104
- Gordon, I., Pierce, M. D., Bartlett, M. S. et Tanaka, J. W. (2014). Training Facial Expression Production in Children on the Autism Spectrum. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(10), 2486–2498. doi : 10.1007/s10803-014-2118-6
- Grossman, M., Peskin, J. et San Juan, V. (2013). Thinking About a Reader's Mind: Fostering Communicative Clarity in the Compositions of Youth with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(10), 2376–2392. doi : 10.1007/s10803-013-1786-y
- Grynszpan, O., Martin, J.-C. et Nadel, J. (2008). Multimedia Interfaces for Users with High Functioning Autism: An Empirical Investigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(8), 628–639. doi : 10.1016/j.ijhcs.2008.04.001
- Grynszpan, O., Weiss, P. L. T., Perez-Diaz, F. et Gal, E. (2014). Innovative Technology-based Interventions for Autism Spectrum Disorders: A Meta-analysis. *Autism*, 18(4), 346–361. doi : 10.1177/1362361313476767
- Hayes, G. R., Hirano, S., Marcu, G., Monibi, M., Nguyen, D. H. et Yeganyan, M. (2010). Interactive Visual Supports for Children with Autism. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(7), 663–680. doi : 10.1007/s00779-010-0294-8
- Herodotou, C. (2018). Young children and tablets: A systematic review of effects on learning and development. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(1), 1–9. doi : 10.1111/jcal.12220
- Hirano, S. H., Yeganyan, M. T., Marcu, G., Nguyen, D. H., Boyd, L. A. et Hayes, G. R. (2010). vSked: evaluation of a system to support classroom activities for children with autism. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1633–1642. ACM. doi : 10.1145/1753326.1753569
- Hopkins, I. M., Gower, M. W., Perez, T. A., Smith, D. S., Amthor, F. R., Wimsatt, F. C. et Biasini, F. J. (2011). Avatar Assistant: Improving Social Skills in Students with an ASD Through a Computer-Based Intervention. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41(11), 1543–1555. doi : 10.1007/s10803-011-1179-z
- Horner, R. H., Carr, E. G., Halle, J., McGee, G., Odom, S. et Wolery, M. (2005). The use of single-subject research to identify evidence-based practice in special education. *Exceptional children*, 71(2), 165–179. doi : 10.1177/001440290507100203
- Hourcade, J. P., Williams, S. R., Miller, E. A., Huebner, K. E. et Liang, L. J. (2013). Evaluation of Tablet Apps to Encourage Social Interaction in Children with Autism Spectrum Disorders. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'13)*, 3197–3206. doi : 10.1145/2470654.2466438
- Iovannone, R., Dunlap, G., Huber, H. et Kincaid, D. (2003). Effective educational practices for students with autism spectrum disorders. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 18(3), 150–165. doi : 10.1177/10883576030180030301
- Jones, C. R., Happé, F., Golden, H., Marsden, A. J., Tregay, J., Simonoff, E., ... Charman, T. (2009). Reading and arithmetic in adolescents with autism spectrum disorders: Peaks and dips in attainment. *Neuropsychology*, 23(6), 718–728. doi : 10.1037/a0016360
- Kim, M. K., Park, Y. et Coleman, M. B. (2017). The quality of evidence in tablet-assisted interventions for students with disabilities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(6), 547–561. doi : 10.1111/jcal.12206
- Knight, V. F., McKissick, B. R. et Saunders, A. (2013). A Review of Technology-Based Interventions to Teach Academic Skills to Students with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(11), 2628–2648. doi : 10.1007/s10803-013-1814-y
- Koyama, T. et Wang, H.-T. (2011). Use of activity schedule to promote independent performance of individuals with autism and other intellectual disabilities: A review. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2235–2242. doi : 10.1016/j.ridd.2011.05.003
- Ledbetter-Cho, K., O'Reilly, M., Lang, R., Watkins, L. et Lim, N. (2018). Meta-analysis of tablet-mediated interventions for teaching academic skills to individuals with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 48(9), 3021–3036. doi : 10.1007/s10803-018-3573-2
- Lequia, J., Machalicek, W. et Rispoli, M. J. (2012). Effects of activity schedules on challenging behavior exhibited in children with autism spectrum disorders: A systematic review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(1), 480–492. doi : 10.1016/j.rasd.2011.07.008
- Lorenzo, G., Lledó, A., Pomares, J. et Roig, R. (2016). Design and Application of an Immersive Virtual Reality System to Enhance Emotional Skills for Children with Autism Spectrum Disorders. *Computers & Education*, 98, 192–205. doi : 10.1016/j.compedu.2016.03.018
- Mazon, C., Fage, C. et Sauzéon, H. (2019). Effectiveness and usability of technology-based interventions for children and adolescents with ASD: A systematic review of reliability, consistency, generalization and durability related to the effects of intervention. *Computers in Human Behaviors*, 93, 235–251. doi : 10.1016/j.chb.2018.12.001
- McClannahan, L. E. et Krantz, P. J. (1999). *Topics in autism : Activity Schedules For Children With Autism: Teaching Independent Behavior*. Bethesda : Woodbine House.
- Mechling, L. C. (2007). Assistive technology as a self-management tool for prompting students with intellectual disabilities to initiate and complete daily tasks: A literature review. *Education and Training in Developmental Disabilities*, 42(3), 252–269. Récupéré à <https://www.learnlib.org/p/71954/>.
- Morin, K. L., Ganz, J. B., Gregori, E. V., Foster, M. J., Gerow, S. L., Genç-Tosun, D. et Hong, E. R. (2018). A systematic quality review of high-tech AAC interventions as an evidence-based practice. *Augmentative and Alternative Communication*, 34(2), 104–117. doi : 10.1080/07434618.2018.1458900
- Morin, D. et Maurice, P. (2001). Élaboration de la Version Scolaire de l'Échelle Québécoise de Comportements Adaptatifs (ECQA-VS). *Revue Francophone de La Déficience Intellectuelle*, 12(1), 7–20. Récupéré à <http://www.rfdi.org/elaboration-de-la-version-scolaire-de-lechelle-quebecoise-de-comportements-adaptatifs-ecqa-vs/>
- Nézereau, C., Wolff, M., Cherbonnier, A., Cuellar, P., Gatteno, M. P., Bourgueil, O., ... Adrien, J.-L. (2016). Evolution de la

- régulation et de la résistance au changement d'enfants et d'adultes avec Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) : contribution des applications numériques « LearnEnjoy » dans le cadre d'un programme d'intervention développementale. *Proceedings of the Ergo'LA 2016 conference*, 8 pages.
- Organisation Mondiale de la Santé [OMS] (2007). *Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé – version enfants et adolescents (CIF-EA)*. Genève : OMS
- Oswald, T. M., Beck, J. S., Iosif, A. M., McCauley, J. B., Gilhooly, L. J., Matter, J. C. et Solomon, M. (2016). Clinical and cognitive characteristics associated with mathematics problem solving in adolescents with autism spectrum disorder. *Autism Research*, 9(4), 480-490. doi : 10.1002/aur.1524
- Oudeyer, P. Y., Gottlieb, J. et Lopes, M. (2016). Intrinsic motivation, curiosity, and learning: Theory and applications in educational technologies. In Studer, B. et Knecht, S. (dir.). *Progress in Brain Research* (Vol. 229, p. 257-284). Londres : Elsevier. doi : 10.1016/bs.pbr.2016.05.005
- Ploog, B., Scharf, A., Nelson, D. et Brooks, P. (2013). Use of Computer-Assisted Technologies (CAI) to Enhance Social, Communicative, and Language Development in Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism & Developmental Disorders*, 43(2), 301–322. doi : 10.1007/s10803-012-1571-3
- Pop, C. A., Pintea, S., Vanderborght, B. et David, D. O. (2014). Enhancing Play Skills, Engagement and Social Skills in a Play Task in ASD Children by Using Robot-based Interventions. A Pilot Study. *Interaction Studies*, 15(2), 292–320. doi : 10.1075/is.15.2.14pop
- Pop, C. A., Simut, R. E., Pintea, S., Saldien, J., Rusu, A. S., Vanderfaillie, J., ... Vanderborght, B. (2013). Social Robots vs. Computer Display: Does the Way Social Stories are Delivered Make a difference for Their Effectiveness on ASD Children? *Journal of Educational Computing Research*, 49(3), 381–401. doi : 10.2190/EC.49.3.f
- Putnam, C. et Chong, L. (2008). Software and Technologies Designed for People with Autism: What Do Users Want? *Proceedings of the 10th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (Assets'08)*, 3-10. doi : 10.1145/1414471.1414475
- Rice, L., Wall, C., Fogel, A. et Shic, F. (2015). Computer-Assisted Face Processing Instruction Improves Emotion Recognition, Mentalizing, and Social Skills in Students with ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(7), 2176–2186. doi : 10.1007/s10803-015-2380-2
- Rodríguez, C. D. et Cumming, T. M. (2016). Employing Mobile Technology to Improve Language Skills of Young Students with Language-based Disabilities. *Assistive Technology*, 29, 161-169. doi : 10.1080/10400435.2016.1171810
- Rose, E. et Meyer, A. (2006). *A practical reader in universal design for learning*. Cambridge : Harvard education press.
- Schlosser, R. W. et Wendt, O. (2008). Effects of augmentative and alternative communication intervention on speech production in children with autism: A systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 17(3), 212–230. doi : 10.1044/1058-0360(2008/021)
- Sigafoos, J., Lancioni, G. E., O'Reilly, M. F., Achmadi, D., Stevens, M., Roche, L., ... Green, V. A. (2013). Teaching two boys with autism spectrum disorders to request the continuation of toy play using an iPad®-based speech-generating device. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(8), 923–930. doi : 10.1016/j.rasd.2013.04.002
- Silver, M. et Oakes, P. (2001). Evaluation of a New Computer Intervention to Teach People with Autism or Asperger Syndrome to Recognize and Predict Emotions in Others. *Autism*, 5(3), 299–316 doi : 10.1177/1362361301005003007
- Son, S.-H., Sigafoos, J., O'Reilly, M. et Lancioni, G. E. (2006). Comparing two types of augmentative and alternative communication systems for children with autism. *Pediatric Rehabilitation*, 9(4), 389–395. doi : 10.1080/13638490500519984
- Spiel, K., Frauenberger, C., Hornecker, E. et Fitzpatrick, G. (2017). When Empathy Is Not Enough: Assessing the Experiences of Autistic Children with Technologies. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'17)*, 2853–2864. doi : 10.1145/3025453.3025785
- Spiel, K., Frauenberger, C., Keyes, O. et Fitzpatrick, G. (2019). Agency of Autistic Children in Technology Research—A Critical Literature Review. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 26(6), Article 38, 40 pages. doi : 10.1145/3344919
- Spooner, F., Root, J. R., Saunders, A. F. et Browder, D. M. (2019). An updated evidence-based practice review on teaching mathematics to students with moderate and severe developmental disabilities. *Remedial and Special Education*, 40(3), 150-165. doi : 10.1177/0741932517751055
- Srinivasan, S. M., Eigsti, I.-M., Gifford, T. et Bhat, A. N. (2016). The Effects of Embodied Rhythm and Robotic Interventions on the Spontaneous and Responsive Verbal Communication Skills of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Further Outcome of a Pilot Randomized Controlled Trial. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 27, 73–87. doi : 10.1016/j.rasd.2016.04.001
- Srinivasan, S. M., Eigsti, I.-M., Neely, L. B. et Bhat, A. N. (2016). The Effects of Embodied Rhythm and Robotic Interventions on the Spontaneous and Responsive Social Attention Patterns of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Pilot Randomized Controlled Trial. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 27, 54–72. doi : 10.1016/j.rasd.2016.01.004
- Srinivasan, S. M., Park, I. K., Neely, L. B. et Bhat, A. N. (2015). A Comparison of the Effects of Rhythm and Robotic Interventions on Repetitive Behaviors and Affective States of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *Research in Autism Spectrum Disorders*, 18, 51–63. doi : 10.1016/j.rasd.2015.07.004
- Stephenson, J. et Limbrick, L. (2015). A review of the use of touch-screen mobile devices by people with developmental disabilities. *Journal of autism and developmental disorders*, 45(12), 3777-3791. doi : 10.1007/s10803-013-1878-8
- Wei, X., Christiano, E. R., Yu, J. W., Wagner, M. et Spiker, D. (2015). Reading and math achievement profiles and longitudinal growth trajectories of children with an autism spectrum disorder. *Autism*, 19(2), 200-210. doi : 10.1177/1362361313516549
- Whalen, C., Moss, D., Ilan, A. B., Vaupel, M., Fielding, P., Macdonald, K., ... Symon, J. (2010). Efficacy of TeachTown: Basics Computer-assisted Intervention for the Intensive Comprehensive Autism Program in Los Angeles Unified School District. *Autism*, 14(3), 179–197. doi : 10.1177/1362361310363282
- Zheng, Z., Warren, Z. E., Weitlauf, A. S., Fu, Q., Zhao, H., Swanson, A. R. et Sarkar, N. (2016a). Brief Report: Evaluation of an Intelligent Learning Environment for Young Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(11), 3615–3621. doi : 10.1007/s10803-016-2896-0
- Zheng, Z., Young, E. M., Swanson, A. R., Weitlauf, A. S., Warren, Z. E. et Sarkar, N. (2016b). Robot-Mediated Imitation Skill Training for Children With Autism. *IEEE Transactions*

on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 24(6), 682–691.
doi : 10.1109/TNSRE.2015.2475724