



HAL
open science

Applications Numériques pour la Cognition Sociale pour Favoriser l'Inclusion Scolaire des Élèves avec Troubles du Spectre Autistique (TSA)

Charles Fage, Charles Consel, Etchegoyen K, Amestoy Anouck, Manuel Bouvard, Hélène Sauzéon

► **To cite this version:**

Charles Fage, Charles Consel, Etchegoyen K, Amestoy Anouck, Manuel Bouvard, et al.. Applications Numériques pour la Cognition Sociale pour Favoriser l'Inclusion Scolaire des Élèves avec Troubles du Spectre Autistique (TSA). V. Brun; J-M. Mazaux; P-A. Joseph; A. Prouteau. La Cognition Sociale, SAURAMPS MEDICAL, pp.85 -109, 2016, 9791030300482. hal-01611303

HAL Id: hal-01611303

<https://inria.hal.science/hal-01611303>

Submitted on 5 Oct 2017

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.

Applications Numériques pour la Cognition Sociale pour Favoriser l'Inclusion Scolaire des Élèves avec Troubles du Spectre Autistique (TSA)

Fage¹² C., Conzel² C., Etchegoyhen³ K., Amestoy³ A., Bouvard³ M., Sauzéon¹² H.

¹ Laboratoire HACS Handicap, Activité, Cognition et Système Nerveux, Université de Bordeaux, 146 rue Léo Saignat, 33000 Bordeaux

² Équipe Phoenix, Inria Bordeaux Sud-Ouest, 200 Avenue de la Vieille Tour, 33405 Talence

³ Centre Ressources Autisme et Troubles du Développement, Centre Hospitalier Charles Perrens, 121 Rue de la Béchade, 33076 Bordeaux Cedex, France

Résumé

L'inclusion des enfants avec TSA en classe ordinaire est gravement limitée de par leurs difficultés socio-adaptatives et leur fonctionnement sociocognitif déficitaire, notamment les processus liés à la cognition sociale.

Après avoir fait une revue des approches cognitivo-comportementales et des interventions basées sur les nouvelles technologies pour pallier aux difficultés d'adaptation de ces enfants dans les environnements de vie quotidienne, ce chapitre présente un package d'applications mobiles, nommé *Collège+*, qui comporte à la fois des applications d'assistance et de remédiation cognitive pour favoriser l'inclusion scolaire des enfants avec TSA. Ces applications ont fait l'objet d'une validation expérimentale dans le cadre d'une intervention de 3 mois en classe ordinaire ainsi qu'au domicile auprès de 33 enfants (14 enfants avec TSA et 19 enfants avec DI) de classes spécialisées pendant leur primo-inclusion en classe ordinaire au collège. Les bénéfices, principalement pour les enfants TSA équipés, en termes de comportements socio-adaptatifs au collège, d'aptitudes sociales et de fonctionnement sociocognitif (évaluation neuropsychologiques en lien avec les mécanismes Théorie de l'Esprit) sont présentés et discutés. L'ensemble de ces résultats est prometteur et supporte l'intérêt d'intégrer les outils numériques dans les interventions thérapeutiques et compensatoires ciblant la cognition sociale auprès d'enfants avec TSA.

Introduction

Les troubles du développement cognitif renvoient à un ensemble de perturbations hétérogènes et chroniques concernant le développement des habiletés perceptives, et/ou motrices, et/ou cognitives et, dont les origines sont des dysfonctionnements cérébraux. Parmi les troubles les plus sévères affectant l'ensemble du développement psychologique, préfigurent les Troubles du Spectre Autistique avec une prévalence de 11/1000 enfants [26] ou encore la Déficience Intellectuelle (DI) avec une prévalence de 10/1000 naissances [46]. Selon la dernière classification du troubles mentaux (DSM-V, [2]), les TSA se caractérisent par des anomalies touchant les

interactions sociales (aptitudes sociales et communicatives) et la manifestation de comportements restreints et/ou répétitifs (stéréotypies). Les fonctions cognitives telles que la perception du mouvement humain, les mécanismes sociocognitifs, la régulation des émotions, le fonctionnement exécutif mais aussi certaines fonctions sensorielles et motrices sont autant de fonctions qui peuvent être affectées dans le TSA à des degrés divers [17]. La DI, quant à elle, se caractérise par un trouble de l'intelligence (quotient intellectuel –QI inférieur à 70 à l'échelle de la WISC-IV, [64]) avec pour origines principales des causes génétiques (trisomie 21, syndrome du X fragile, *etc.*) ou toxiques (alcoolisation prénatale) et des causes non spécifiques (maladies, malnutrition, *etc.*). Notons que les TSA peuvent s'accompagner d'une déficience cognitive, qui amène les auteurs à parler de TSA bas niveau (QI<70) en opposition aux TSA haut niveau (QI>70) [37].

La diversité de profils des enfants avec TSA, et notamment en termes de cognition sociale, requière une prise en charge individualisée et un accompagnement personnalisé à la participation à la vie scolaire qui malheureusement se heurte souvent aux conditions normées des milieux ordinaires tels que l'école.

Dans ce chapitre, nous visons à démontrer par un état de l'art suivi d'une étude empirique qu'il est possible à l'aide d'applications numériques de proposer conjointement des aides compensatoires aux activités socio-adaptatives et une rééducation sociocognitive, soutiens favorables à l'inclusion scolaire de collégiens avec TSA en classe ordinaire.

Scolarisation et TSA

Alors que la circulaire du 8 mars 2005 confère à l'enfant avec TSA un statut d'élève à part entière, sa scolarisation en classe ordinaire est encore loin d'être généralisée. En effet, pendant l'année scolaire 2011-2012, seuls 1761 élèves étaient inscrits en ULIS (Unité localisée d'inclusion scolaire), sur les quelques 30 000 jeunes de moins de 20 ans avec TSA recensés, soit 5.9% de la population concernée [52]. Pourtant, le bénéfice d'une inclusion scolaire en milieu ordinaire de ces enfants est largement documenté et argumenté par les études [42].

Si l'insuffisance des formations et de la sensibilisation des acteurs de la vie scolaire (enseignants, Assistants à la Vie Scolaire-AVS, praticiens, parents, *etc.*) sur les troubles rencontrés par les enfants avec TSA expliquent en partie les craintes des structures à recevoir ces élèves [42], la restriction de la participation sociale de ces enfants dans les milieux scolaires ordinaires est également due à des limitations dans leurs comportements socio-adaptatifs ainsi qu'une cognition sociale déficitaire [31]. La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé pour les enfants et les adolescents (CIF-EA) [48] met en effet l'accent sur les fonctionnements spécifiques des enfants avec TSA précipitant la situation de handicap scolaire, dont notamment:

- Les aptitudes sociales : les échanges verbaux sont impactés chez les personnes avec TSA de manière plus ou moins lourde [54] et de nombreux protocoles sociaux ne semblent pas acquis chez les adolescents avec TSA (dire bonjour, remercier un tiers, *etc.* [56]).
- La reconnaissance d'émotions : les enfants avec TSA présentent des difficultés de théorie de l'esprit (mécanismes cognitifs permettant d'identifier et de mentaliser les états mentaux de soi et d'autrui, [3]) et peinent à reconnaître les émotions, qu'il s'agisse des leurs ou de celles d'autrui [4].
- L'autoregulation émotionnelle : les réponses émotionnelles disproportionnées très courantes chez les élèves TSA sont reconnues comme des barrières à l'inclusion scolaire [32].
- Les capacités exécutives (planification, gestion du temps, flexibilité, inhibition, notamment) et les capacités d'apprentissage et d'application des connaissances : les enfants avec TSA peuvent avoir des difficultés de maintien de l'attention, d'écoute ou encore d'imitation qui rendent les processus d'apprentissages scolaires classiques difficiles [9].

Afin de pallier aux problèmes soulevés ci-dessus, différents outils psychoéducatifs sont préconisés dans les TSA pour faciliter l'inclusion en milieu ordinaire comme le Picture Exchange Communication System (PECS) qui permet aux enfants de communiquer à l'aide d'images répertoriées dans un classeur [8], les livrets de *scenarii* sociaux qui les entraînent à réagir à des situations sociales particulières [34] ou encore le découpage d'activité en sous-tâches illustrées pour les aider à s'organiser et à gérer leur temps [40]. Néanmoins, ces méthodes aussi efficaces soient elles sont coûteuses à leur élaboration (*e.g.* prompts imagés d'activités), stigmatisantes (*e.g.* encombrement matériel d'un classeur de communication), et peu pervasives à la diversité des situations des milieux ordinaires (*e.g.* scripts sociaux) [15].

Prise en charge comportementale et cognitive des TSA

Le troisième plan national autisme (2013- 17) promeut les interventions cognitivo-comportementales comme facilitateur à l'inclusion scolaire des enfants avec TSA [43].

De nombreuses interventions cognitivo-comportementales existent pour les enfants avec TSA (pour revue : [29,49]). Notamment, les prises en charge du type *Applied Behaviour Analysis* (ABA) sont très répandues [55]. L'ABA, comme sa dérivée, la thérapie Lovaas [39], reposent sur des principes de prise en charge globale qui adressent les aptitudes de la vie quotidienne, allant de la communication aux compétences scolaires, en passant par les loisirs ou les interactions sociales. Il s'agit d'une prise en charge intensive basée sur la répétition (25 à 40 heures par semaine), avec des séances de travail en vis-à-vis avec un thérapeute concentrées sur un type de

compétence à la fois. Les apprentissages sont renforcés par l'utilisation de récompenses, sous la forme d'images ou de jetons [36]. Selon la revue de question de Ospina *et al.* [49], l'efficacité de ces thérapies cognitivo-comportementales est supérieure à une éducation spécialisée classique en termes d'adaptation du comportement dans les activités de vie quotidienne, de communication et d'interactions sociales, mais également en termes de fonctionnement cognitif (mécanismes de théorie de l'esprit, conscience émotionnelle, *etc.*).

D'autres prises en charge intégratives, spécialisées à l'environnement scolaire, existent. C'est le cas du programme *Treatment and Education of Autistic and related Communication handicapped CHildren* (TEACCH). Ce programme individualisé repose sur la structuration forte des espaces d'apprentissage et du temps, par le biais de supports visuels papiers, ainsi que sur l'étroite collaboration entre les équipes pédagogiques et les familles [50]. Selon la revue de Ospina *et al.* [49], l'application du programme TEACCH a permis des améliorations significatives chez les enfants avec TSA, notamment dans le fonctionnement cognitif, les comportements socio-adaptatifs et la communication. Néanmoins, plus récemment, Ho *et al.* rapportent certaines limites récurrentes dans ce corpus de littérature. La limite majeure porte sur le manque de concordance entre les buts explicités, les contenus/aptitudes enseignés et les mesures effectuées [29]. Par exemple, sur les 17 études recensées qui portaient sur la réduction de l'anxiété, aucune n'a mesuré les capacités cognitives ou les comportements des participants visant l'autorégulation des émotions. En conséquence, inférer les liens entre les progrès comportementaux observés et les éventuelles améliorations neurocognitives associées demeure impossible. Cette critique se retrouve sous sa forme inversée dans les études adoptant une approche neuropsychologique où les programmes de remédiation cognitive, par exemple un entraînement intensif à la reconnaissance d'émotions faciales, sont évalués comme concluants sur des épreuves évaluant les mécanismes entraînés sans pour autant apporter la preuve de leur efficacité sur des activités plus intégrées, sondées par exemple avec des questionnaires évaluant la réponse sociale (*e.g.* Social Responsiveness Scale-SRS, [12]) [51]. Une autre limite des interventions cognitivo-comportementales est qu'elles reposent sur un travail et des évaluations faites par un thérapeute dans un environnement protégé (*i.e.* le cabinet). Ainsi, le transfert des apprentissages thérapeutiques en environnements ordinaires n'est que très rarement, ou partiellement, renseigné [29, 49]. Dès lors, des données objectives sont manquantes pour statuer de la pertinence de ces interventions pour améliorer les capacités adaptatives et le fonctionnement sociocognitif dans la vie quotidienne des enfants avec TSA. Autrement dit, aucune preuve n'est réellement apportée en termes de réduction de la situation de handicap des enfants.

Les applications numériques pour les TSA

Depuis 2010, les tablettes numériques sont de plus en plus visibles dans le paysage scolaire. Elles permettent de rythmer différemment les cours, offrent la possibilité de travailler individuellement ou collectivement et proposent une grande variété d'activités. L'éducation nationale conduit actuellement plusieurs études pour tester l'efficacité de tels outils dans l'enseignement primaire et secondaire [44]. Dans le secteur de la santé, la portabilité de tablettes offrent de nouvelles perspectives de rééducation, d'assistance et d'évaluation en milieu ordinaire jusque là impossibles sans la présence d'un soignant ou aidant formé.

Le nombre d'applications à vocation d'aide ou d'entraînement pour tout type de déficience grandit sur l'Apple Store (IOs) et le Google Play Store (Android), magasins numériques d'applications. Il existerait, aujourd'hui, plus de 300 applications pour les personnes avec TSA dont la majorité n'a malheureusement fait l'objet d'aucune validation scientifique quant à leur efficacité compensatoire ou thérapeutique [51, 53]. L'appétence des enfants avec TSA pour ce type de supports (pour revue : [60]) a sans doute été incitatrice à cette expansion du marché.

Pour autant, les chercheurs investiguent depuis plus de 10 ans les apports des nouvelles technologies dans les interventions pour adresser les difficultés rencontrées par les enfants avec TSA (pour revue : [21]). Ces technologies prennent la forme de logiciels d'entraînement à des tâches déficitaires ou d'applications de support/d'aide à la réalisation d'activités implémentées sur des systèmes mobiles.

Récemment, Ploog et al. ont proposé une classification des applications de remédiation cognitive selon le domaine déficitaire ciblé [51]. Selon cette classification, 4 grandes familles d'applications sont distinguables: i) celles adressant le langage (*e.g.* [7]), ii) les aptitudes sociales (*e.g.* [47]), iii) la reconnaissance d'émotions (*e.g.* [59]), et iiiii) la Théorie de l'Esprit (ToM) (*e.g.* [61]). Dans la famille des applications pour la remédiation des processus de ToM s'illustre le logiciel *Mind Reading*, tant par le nombre d'exercices proposés autour de l'identification des émotions ou de la ToM que par la validation expérimentale dont il a fait l'objet [20]. En effet, les auteurs rapportent des bénéfices sur les processus entraînés dans le cadre d'études répondant aux standards expérimentaux (nombre de participants, mesures standardisées, *etc.*) pour une validation scientifique. Cependant, il demeure inconnu si ces bénéfices s'expriment en situations naturelles. Pour les autres familles d'applications, les standards expérimentaux sont rarement atteints et le transfert des apprentissages en situations réelles n'est généralement pas observés, lorsqu'il est évalué (pour revue, [51]).

A côté de ces applications de remédiation cognitive, un grand nombre de technologies portent sur l'assistance *in situ*, c'est-à-dire lors de la réalisation des tâches qui posent problème pour les enfants avec TSA (pour revue : [41]). Ces technologies compensatoires reposent majoritairement sur les programmes d'activités, qui divisent les

tâches-problèmes en séquences de sous-étapes illustrées par une consigne et une image [40]. Leur efficacité pour soutenir les activités extra-scolaires (*e.g.* hygiène des mains, gestion du temps d'attente lors de visites médicales, *etc.*) des enfants a été démontrée à travers de nombreuses études portant sur ces activités. Pour les auteurs, cette efficacité serait le résultat d'une aide compensatoire aux difficultés exécutives associées aux TSA (*e.g.* [5, 41] mais aussi à l'anxiété exacerbée chez les enfants TSA (*i.e.* caractère explicite et structure invariante des contenus des applications, [27])). Cependant, aussi enthousiasmantes soient-elles, ces études regroupaient peu de participants, et le plus souvent se réalisaient en environnement protégé (*e.g.* classe spécialisée, institutions spécialisées) et visaient plus à démontrer leur utilisabilité auprès du jeune public avec TSA qu'à en asseoir leur efficacité compensatoire (pour revue, [24]). Ainsi, au total, bien que les programmes d'activités sur outils numériques aient fait l'objet d'une validation expérimentale partielle dans les milieux spécialisés, leurs bénéfices sur l'assistance de tâches en environnement de vie quotidienne reste à être démontrée.

Concernant les milieux scolaires ordinaires, peu d'outils sur support numérique ont été développés pour assister l'inclusion. Par exemple, Escobedo *et al.* [14] proposent MOSOCO, un outil basé sur smartphone pour pratiquer les compétences sociales durant les récréations, en utilisant une approche basée sur la réalité augmentée. Le système vSked [28], une application de création d'emplois du temps illustrés, à destination des enfants avec TSA a été conçue sur la base d'interviews (parents d'enfants TSA, professeurs, thérapeutes, éducateurs et neuroscientifiques) et d'observations dans trois classes spécialisées. Ou encore, un questionnaire de tâches, implémenté sur un smartphone, a été utilisé par des jeunes adultes avec TSA étudiant à l'université [18]. Enfin, l'application ICan, une version numérisée et paramétrable du PECS, a été testée en classes spécialisées auprès des professeurs accueillant des élèves avec TSA afin d'évaluer son utilisabilité [11]. Ces premières études étayaient la pertinence d'introduire en milieux scolaires ces outils auprès du jeune public avec TSA et cela est en plein accord avec le rapport de 2012 de l'UNESCO qui préconise des rénovations pédagogiques et notamment celle de l'usage des nouvelles technologies comme support d'accompagnement des élèves en situation de handicap scolaire. Néanmoins, dans une perspective rééducative, ces études n'offrent pas la preuve de leur efficacité compensatoire en termes de soutien /aide à la réalisation d'activités socio-adaptatives à l'école.

But de l'Etude « Collège+ »

Dans ce contexte, et pour répondre aux limites des interventions existantes, tant sur le plan de la rigueur expérimentale que sur l'environnement adressé (*i.e.* environnement ordinaire), nous avons développé un package d'applications mobiles pour soutenir l'inclusion scolaire d'enfants avec TSA. Ce package, nommé *Collège+*, comporte à la fois des applications d'assistance (compensatoires) et de remédiation cognitive, orientées sur

l'entraînement des processus de ToM. Il a fait l'objet d'une intervention de 3 mois et d'une validation expérimentale en classe ordinaire ainsi qu'au domicile avec un recrutement de 50 participants. Les bénéfices en termes de comportements socio-adaptatifs au collège (échelle de Handicap scolaire, EQCA-VS), d'aptitudes sociales (Echelle SRS) et de fonctionnement sociocognitif (évaluation neuropsychologiques en lien avec les mécanismes TOM) ont été évalués auprès de collégiens en situation de primo-inclusion en classe ordinaire.

Méthode

Dans le but de mesurer les bénéfices liés à l'utilisation conjointe d'applications compensatoires et de remédiation ciblant la cognition sociale, trois groupes de collégiens ont été recrutés. Deux de ces groupes sont composés d'élèves avec TSA : un groupe équipé des applications (TSA équipés), l'autre non (TSA non équipés). Le troisième, recruté dans les mêmes classes spécialisées, est composé d'élèves avec DI non-spécifiques (DI équipé). La comparaison TSA équipés vs. non-équipés permet d'évaluer l'effet de l'intervention chez les enfants avec TSA et la comparaison « cross-syndrome » (Seltzer, Abbeduto, Krauss, Greenberg, & Swe, 2004) permet d'évaluer les effets de l'intervention spécifiques aux enfants avec TSA.

Participants

Notre étude s'est déroulée dans des classes spécialisées au sein d'établissements d'enseignement secondaire ordinaires. Un total de 50 élèves, dont l'âge varie de 12.0 ans à 17.3 ans ont été recrutés. Deux participants équipés ont changé d'orientation pédagogique avant la fin de notre intervention de trois mois, nous amenant à les retirer de notre échantillon. Finalement, 29 participants sont des élèves avec TSA et 19 avec DI [Tableau 1]. Les élèves avec TSA sont séparés en deux groupes : 14 élèves équipés et 15 élèves contrôles non-équipés. Les trois groupes ont été appariés sur l'âge chronologique et le fonctionnement cognitif (grâce à une estimation du QI réalisée avec la WISC-IV abrégée [23]).

Les différences potentielles entre les trois groupes ont été testées avec une analyse de variance (ANOVA) à un facteur [Tableau I. Caractéristiques des participants

]. Des neuro-pédiatres du Centre Ressource Autisme d'Aquitaine ont examiné tous les participants, et les diagnostics de TSA ont été réalisés en respect des critères du DSM-IV (American Psychiatric Association, 2000) grâce à l'échelle « Autism Diagnostic Interview-Revised » [38].

Comme recommandé par la convention d'Helsinki, les consentements éclairés des parents et des participants eux-mêmes ont été récoltés avant l'étude. De plus, le Comité d'Éthique de l'Inria ainsi que le Conseil de Protection des Personnes affiliés à notre université ont approuvé le protocole présenté ci-après.

Description des applications

Les applications *Collège+* sont implémentées sur tablette tactile. Cette plateforme permet de riches supports visuels et visuels et permet à l'application d'être utilisée dans n'importe quel environnement. Grâce à un travail collaboratif collaboratif avec les parties prenantes sur le terrain (familles, équipes éducatives, thérapeutes), deux types d'applications ont été co-construites: 1) *des applications compensatoires* au nombre de trois, destinées à être utilisées utilisées en environnement scolaire ordinaire, et 2) *des applications de remédiation* au nombre de 3, destinées à être

être utilisées quotidiennement au domicile]



Figure 1. Écran d'accueil du package Collège+]. L'ensemble des contenus de ces applications adresse spécifiquement le milieu scolaire et est personnalisé à chaque élève.

Applications compensatoires : Aide à la planification–exécution d'activités en milieu scolaire

Pour répondre notamment aux difficultés exécutives de planification et d'exécution de tâches nouvelles que rencontre l'élève avec TSA, les deux premières applications visent à acquérir des routines scolaires et des routines de communications verbales en classe. Ces activités ont été identifiées et validées après entretien avec les professeurs et l'ensemble de l'équipe pédagogique impliquée dans ce projet. Notons que pour ces deux applications, autant de prompts d'activités que nécessaires peuvent être générés. Pour les routines scolaires, les activités ciblées sont : Se rendre devant la classe, l'entrée en classe, la sortie du matériel scolaire, la prise des devoirs, et la sortie de classe. La deuxième application porte les activités de communication contextualisées à la classe. Deux situations de communication (initiation et réception) et deux types d'interlocuteurs (enseignant et camarade) ont été distingués, créant ainsi 4 scénarii d'interaction. Pour chaque scénario, des séquences

différentes sont proposées en fonction du but de la communication (*e.g.* faire répéter, demander de l'aide, faire un commentaire). Ces deux applications présentent la même interface : une liste des séquences disponibles est affichée sur le premier écran, deux flèches permettent d'avancer ou reculer à travers la séquence d'étapes. Une barre de progression, ainsi qu'une miniature des étapes précédente et suivante, facilitent le repérage au sein de la séquence. Chaque étape est décrite sous la forme d'un texte et d'une image pour renforcer la compréhension de la tâche [Figure 2. Exemple d'interface de prompteur d'activité]. Enfin, un message de renforcement positif est affiché à la fin de chaque séquence.

La troisième application propose une assistance à la régulation émotionnelle. Après avoir identifié son émotion grâce à des émoticônes, et quantifié son intensité grâce à un thermomètre interactif à 4 niveaux, l'application présente des supports idiosyncratiques apaisants récoltés auprès des familles, en concertation avec l'élève. Chaque degré d'intensité est associé à un type de médium : consignes de relaxation, images personnelles et vidéos personnelle de co-régulation.

Applications de remédiation socio-cognitive

Basées sur les principes dits des « jeux sérieux », les applications construites sont à difficulté croissante et portent sur des processus cognitifs liés à la ToM. Le passage d'un niveau à l'autre est conditionné par le taux de bonnes réponses du participant (>80%).

Deux applications proposent des exercices d'identification des émotions faciales : l'une sur du matériel statique (*i.e.* photographies), l'autre sur du matériel dynamique (*i.e.* vidéos). Concernant le matériel statique, des photographies des expressions faciales des personnels de l'établissement fréquenté par chaque participant ont été incluses à ces applications (enseignant spécialisé, surveillants, auxiliaires de vie scolaire, personnels techniques, *etc.*). Le matériel dynamique repose sur des vidéos de dessin animé simpliste pour les premiers niveaux comportant un seul personnage et uniquement les émotions de base (*i.e.* joie, peur, colère, tristesse). Des vidéos de dessins animés complexes, avec textures, émotions enrichies et interactions entre personnages composent les niveaux suivants. Il est à noter que ces vidéos sont ralenties dans les premiers niveaux afin de permettre à l'élève de capter au mieux les expressions des personnages. Ce ralentissement repose sur les travaux démontrant les bénéfices d'une exposition ralentie aux stimuli faciaux à valence émotionnelle [19, 62].

La troisième application [Figure 3. Application de remédiation du focus attentionnel] propose un entraînement à l'orientation attentionnelle, compétence participant à une bonne détection des intentions de communication d'autrui [33] et qui est déficitaire chez les enfants TSA [10]. Une photographie de visage est présentée à l'élève, puis un symbole est affiché de manière furtive au niveau des yeux. Il est enfin demandé à l'élève de sélectionner

le symbole apparu précédemment au sein d'une liste de symboles. Le premier niveau de cette application est composé de photographies de visages ; le deuxième est composé de photographies de scènes d'interaction complexes en environnement scolaire. Dans ce deuxième cas, le symbole s'affiche sur le visage de la personne pertinente dans la scène de classe (l'énoncé de l'exercice par le professeur, la discussion avec un camarade pendant la récréation, *etc.*).

Une fonctionnalité de suivi des performances a également été implémentée. Ainsi, tout aidant intervenant auprès de l'élève peut suivre l'utilisation des applications, ainsi que les progrès de l'élève au quotidien.

Procédure

Avant notre intervention, des réunions ont été menées avec les enseignants des classes ordinaires, les enseignants spécialisés, les auxiliaires de vie scolaire, les parents et les enfants. Le but était de présenter globalement notre procédure [Figure 4. Procédure de l'expérimentation expliquer l'importance d'utiliser d'adhérer à notre intervention sur outil numérique, et répondre à leurs questions. Nous avons également donné une démonstration de notre outil, en expliquant son fonctionnement. Dans un deuxième temps, nous avons de nouveau rencontré les familles pour créer/identifier les contenus idiosyncratiques afin de personnaliser les applications. Il a été demandé aux familles « une dizaine de photos et une vidéo courte qui apaise leur enfant. ». En général, une conversation s'engageait spontanément entre parents et enfant. Les photos sélectionnées faisaient pour la plupart référence à l'enfant, typiquement en vacances ou dans un environnement protégé (*e.g.* le domicile). Les vidéos ont pour la plupart été enregistrées spécifiquement pour notre étude. Elles présentent l'enfant s'adonnant à l'un de ses hobbies.

Tests pré-intervention et post-intervention

Pour créer une ligne de base d'observation (pré-intervention), l'enseignant spécialisé de chaque participant a rempli un formulaire d'informations démographiques ainsi que les échelles d'adaptation du comportement en vie scolaire (EQCA-VS, [45]) et d'aptitudes sociale (SRS, [12]) sur la base de leurs observations et de leurs connaissances des participants. Les participants ont quant à eux complété le WISC-IV abrégé [23] ainsi que des tests neuropsychologiques liés aux mécanismes de ToM: fluence émotionnelle [22], conscience émotionnelle (LEAS-C, [63]), mémoire des visages immédiate (subtest NEPSY, [35]) et identification des émotions faciales (Ekman test, [13]). Les participants étaient ensuite observés durant leur inclusion en classe ordinaire (Français, Mathématiques, Histoire, Géographie, ou Biologie) durant deux semaines. Dans le contexte de notre intervention, chaque participant a été inclus dans une nouvelle matière, dans laquelle des situations nouvelles pouvaient se produire. Il s'agissait d'un cours d'une heure à raison d'une fois par semaine sur une période de

trois mois. Une auxiliaire de vie scolaire formée a accompagné chaque élève dans son inclusion et était préalablement entraînée à l'usage de nos applications pour jouer le rôle de support social à son utilisation auprès de l'élève.

Toutes les mesures post-intervention ont été récoltées dans les deux semaines suivant la fin des trois mois d'intervention. Tous les entretiens se sont déroulés au collège ou au domicile. Ils adressaient l'adaptation des comportements à la vie scolaire (EQCA), les aptitudes sociales (SRS) via l'interview des professeurs, et le fonctionnement sociocognitif (fluence émotionnelle, LEAS-C, subtest NEPSY, Eckman test). Les retours d'expérience de l'ensemble des parties prenantes ont été recueillis, ainsi que leur suggestion pour améliorer ce type d'intervention.

Mesures

Deux types de mesure ont été récoltés afin de rendre compte des bénéfices liés à l'utilisation de nos applications. En effet, des mesures subjectives (réponses des professeurs à des questionnaires) ont été récoltées pour évaluer l'impact de l'intervention sur les comportements socio-adaptatifs et les aptitudes sociales à l'école. Et, des mesures objectives issues de l'évaluation neuropsychologique de chaque enfant renseignent le fonctionnement sociocognitif pré- et post-intervention.

Comportements sociaux-adaptatifs

Pour mesurer les bénéfices en termes de comportements sociaux-adaptatifs, deux échelles ont été utilisées. L'enseignant de chaque classe spécialisée a complété les versions françaises des questionnaires Échelle des Comportements Adaptatifs-Version Scolaire (EQCA-VS, [45]) et Social Responsiveness Scale (SRS, [12]). Ces échelles sont particulièrement adaptées au milieu scolaire de par leur nature quantitative et leur dépendance aux observations des professeurs en environnement naturel.

L'EQCA-VS est une échelle mesurant les comportements sociaux-adaptatifs regroupés en 5 catégories : Communication (17 items), Socialisation (17 items), Autonomie (16 items), Habiletés Scolaires (25 items) et Loisirs (11 items). Chaque item désigne un comportement observable en environnement scolaire. La cotation est opérée comme suit : « 0 » si le comportement n'est pas observé ; « 1 » si le comportement est réalisé mais de façon partielle, avec l'aide ou sur sollicitation d'un aidant ; « 2 » si le comportement est réalisé en complète autonomie. Deux versions du questionnaire sont disponibles : une s'adresse aux parents et une aux enseignants. Cette dernière a été retenue pour notre étude.

Comportements sociaux-adaptatifs

La SRS est une échelle qui mesure les limitations dans la réponse sociale. Un algorithme permet d'extraire des indicateurs concernant la conscience sociale (8 items), le traitement de l'information sociale (cognition, 12 items), les capacités de communication sociale réciproque (22 items), la motivation à la participation sociale (11 items) ainsi que les traits autistiques (e.g. stéréotypies, 12 items) peuvent être calculés. Elle comporte 65 items, faisant référence à un comportement social, côté de « 1 », « Pas vrai », à « 4 », « Presque toujours vrai ». Il est à noter que cette échelle mesure les *limitations* de la réponse sociale. En conséquence, un score de SRS important correspond à une réponse sociale déficitaire, tandis qu'un score faible correspond à une adaptation de la réponse sociale.

Fonctionnement sociocognitif

Une batterie de 4 tests neuropsychologiques évaluant les processus liés à la ToM [3] a été utilisée afin d'évaluer le fonctionnement sociocognitif pré- et post-intervention des participants.

Mémoire des visages immédiate (Subtest NEPSY, [35]). Ce test comprend une série de 16 photographies de visages d'enfants normés non-émotionnellement connotés. Chaque photographie est présentée durant 5 secondes. Ensuite, chaque visage est de nouveau présenté à la personne évaluée, accompagné de deux autres visages inconnus. La consigne est la suivante : « Regarde ces trois photos. Tu as déjà vu un de ces enfants tout à l'heure. Montre moi celui que tu as vu tout à l'heure ». L'individu doit alors pointer le visage en question. Ainsi, un score maximum de 16 peut être obtenu.

Identification des émotions faciales (Ekman test, [13]). Ce test comporte 30 photographies normées de visages exprimant une des six émotions suivantes : joie, colère, peur, tristesse, surprise et dégoût. Chaque photographie est présentée pendant 5 secondes, puis il est demandé à la personne évaluée de désigner une des six émotions. Un entraînement présentant une occurrence de chaque émotion est effectué au préalable. Un score maximum de 30 peut être obtenu.

Fluence Emotionnelle [22]. Ce test mesure la capacité d'un individu à exprimer ses propres états émotionnels en mesurant l'accès à son lexique d'émotions. Pour ce faire, il est demandé à la personne de produire tous les mots désignant une émotion aussi vite que possible (en 2 minutes). Le score est le nombre de mots produit désignant correctement un état émotionnel.

Conscience émotionnelle, version française (LEAS-C, [63]). Ce test comprend 12 scénarii interpersonnels en environnement de vie quotidienne (une majorité en milieu scolaire). Chaque scénario, décrit brièvement, implique deux personnages. Il est demandé à la personne évaluée de décrire ses états émotionnels face à la situation décrite, ainsi que les états émotionnels de l'autre personnage. Cette distinction permet de dégager deux

sous-scores à la LEAS-C : la conscience émotionnelle de soi et celle d'autrui. Chaque scénario est sensé évoquer une des 4 émotions de base (*i.e.* joie, tristesse, colère, peur). Chacune est représentée 3 fois dans le test. La complexité de la réponse, évaluée en termes de nombre de mots et de richesse des formulations, est rapportée sur 5 niveaux, notés de 1 à 5. Les niveaux 1 et 2 concernent les réponses peu évocatrices d'un état émotionnel, ou n'indiquant pas spécifiquement une émotion (*e.g.* « J'aurais mal. »). Le niveau 3 concerne la formulation directe des émotions de base (*e.g.* « Je me sentirais triste. »). Le niveau 4 concerne les réponses dont la conscience émotionnelle est plus complexe (*e.g.* « Je me sentirais heureux mais peut-être un peu excité aussi. »). Enfin le niveau 5 implique une considération des états vis-à-vis de l'autre personnage (*e.g.* « Je me sentirais triste mais un peu heureux pour mon ami. »). Toute absence de réponse est notée 0, de même que les réponses inappropriées (*e.g.* « Je sentirais qu'elle l'a fait exprès. »). Les 12 scénarii ont été séparés en deux set de six scénarii, chacun couvrant les 4 émotions. Lorsqu'un set est présenté avant l'intervention, l'autre est utilisé après l'intervention, et vice-versa. Chaque scénario étant coté de 0 à 5, le score maximal pour chacun des sets de 6 scénarii est 30 dans notre étude.

Afin de pouvoir comparer les effets de l'intervention sur l'ensemble des tests neuropsychologiques, tous les scores bruts ont été transformés en scores standard (z-scores).

Plan et traitements statistiques

Toutes les mesures dépendantes étaient numériques. Pour mesurer l'efficacité de notre intervention, trois MANOVA mixtes ont été réalisées avec deux facteurs intra-individuels et un facteur interindividuel. Pour chacune d'elles, le premier facteur intra-individuel était le Temps, il comportait deux modalités (pré- et post-intervention). Le facteur interindividuel était le Groupe, il comportait trois modalités (TSA équipés, TSA non-équipés et DI équipés). Enfin, le deuxième facteur intra-individuel correspond à l'habileté à l'étude : aptitudes à la vie scolaire (type de dimension à l'échelle EQCA-VS à 5 modalités: Communication, Socialisation, Autonomie, Habiletés scolaires, Loisirs), composantes de réponse sociale (type de dimension à la SRS à 5 modalités: Conscience, Cognition, Communication, Stéréotypie, Motivation) ou fonctionnement sociocognitif (type de mesure à 4 modalités : fluence, conscience émotionnelle, mémoire des visages immédiate, identification des émotions).

Si un effet d'interaction entre les trois facteurs (Temps * Groupe * mesure d'habileté) est rapporté, alors des analyses partielles (comparaisons sur le facteur Temps avec le test t de Student) pour chaque groupe de participants étaient conduites pour capturer les bénéfices de l'intervention sur chacune des mesures de l'habileté.

Si un effet d'interaction entre deux facteurs (Temps * Groupe) est rapporté, alors des MANOVA partielles pour

chaque groupe de participants étaient réalisées pour capturer l'effet différentiel du facteur Temps chez les trois groupes sur l'ensemble des mesures d'une habileté.

Le logiciel SPSS-19 a été utilisé pour les analyses statistiques.

Résultats

Dans un souci de clarté et de concision, les moyennes et les écarts-types, sur chaque mesure des trois grands domaines d'habiletés, sont présentés en Annexe [Tableau 2]. Pour les mêmes raisons, nous présentons et discutons uniquement les résultats majeurs de notre étude. L'ensemble des effets obtenus grâce aux traitements statistiques est également rapporté en Annexe de l'article [Tableaux 3, 4, 5 et 6].

Comportements socio-adaptatifs en milieu scolaire (échelle EQCA-VS) [Figure 5. Scores obtenus à chaque dimension de l'échelle EQCA-VS pour chaque groupe (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention Collège+.]

La MANOVA a révélé un effet de triple interaction significatif Temps * EQCA-VS * Groupe [$F(8,180)=3.20$; $p<.001$; $\eta^2=.066$], indiquant des résultats différents dans le temps selon les groupes et les sous-domaines de l'EQCA. Ce résultat nous permet de conduire des analyses complémentaires. Ici, nous utilisons donc une ANOVA à un facteur intra-individuel Temps à deux modalités (pré- et post-intervention) et un facteur interindividuel Groupe à une modalité sur chaque sous-domaine de l'EQCA-VS, pour chacun des trois groupes.

Comparaisons

Communication. Les comparaisons n'ont révélé aucun effet significatif pour chacun des trois groupes.

Socialisation. Le test a révélé un effet Temps pour le groupe des TSA équipés [$t(13)=-2.35$; $p=.035$]. Aucun effet significatif n'est obtenu pour les deux autres groupes.

Autonomie. Les comparaisons n'ont révélé aucun effet significatif pour chacun des trois groupes.

Habilités Scolaires. Le test a révélé un effet Temps pour le groupe des TSA équipés [$t(13)=-3.11$; $p=.008$].

Aucun effet significatif n'est obtenu pour les deux autres groupes.

Loisirs. Le test a révélé un effet Temps pour le groupe des TSA équipés [$t(13)=-2.18$; $p=.049$]. Aucun effet significatif n'est observé pour les deux autres groupes.

Ainsi, seul le groupe TSA équipés présente des performances augmentées en post-évaluation comparés aux deux autres groupes, et ce, sur les dimensions Socialisation, Habiletés scolaires et Loisirs.

Adaptation de la réponse sociale en milieu scolaire (échelle SRS) [Figure 6. Scores obtenus à chaque dimension de l'échelle SRS pour groupe de participants (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention Collège+.]

La MANOVA a révélé deux effets significatifs d'interaction à deux facteurs : Temps * Groupe [F(2,45)=3.63 ; $p=.034$; $\eta^2=.139$] et Temps * SRS [F(4,180)=6.26 ; $p<.001$; $\eta^2=.122$]. Ces deux résultats sont complétés par des MANOVA partielles par groupe.

MANOVA partielles

Quel que soit le groupe considéré, les MANOVA partielles ne révèlent pas d'effets significatifs du facteur Temps [TSA équipés : $p>.150$; DI équipés : $p>.08$; TSA non-équipés : $p>.09$]. En revanche, ces analyses révèlent pour le groupe TSA équipés ou TSA non-équipés un effet significatif de l'interaction Temps * SRS (respectivement, F(4,52)=2.82, $p=.034$, $\eta^2=.178$; F(4,56)=3.56, $p=.012$, $\eta^2=.203$). Des comparaisons *a posteriori* (t de Student) ont révélé un effet du Temps pour les TSA équipés [t(13)=2.19 ; $p=.047$] ainsi que pour les TSA non-équipés [t(14)= 2.99; $p=.010$] sur la dimension Motivation. De plus, un effet significatif du Temps est observé uniquement pour les TSA équipés [t(13)=2.46 ; $p=.029$] sur la dimension stéréotypie.

Ainsi, le groupe de DI ne présente aucunes améliorations significatives avec le temps sur chacune des dimensions de la SRS. À la différence, sur la dimension Stéréotypie, les TSA équipés présentent des performances augmentées en post-évaluation comparées aux deux autres groupes. En revanche, sur la dimension Motivation, les groupes TSA non-équipés et TSA équipés présentent tous deux une augmentation post-intervention de leur score.

Fonctionnement sociocognitif (tests neuropsychologiques ToM) [Figure 7. Scores obtenus à chaque test sociocognitif pour chaque groupe de participants (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention Collège+.]

La MANOVA portant sur les scores standard de ces tests a révélé un effet d'interaction simple Temps * Groupe [F(2,45)=3.78 ; $p=.030$; $\eta^2=.144$]. Les MANOVA partielles révèlent un effet Temps pour le groupe des TSA équipés [F(1,13)=30.87 ; $p<.001$; $\eta^2=.704$] ainsi que pour le groupe DI équipés [F(1,18)=10.52 ; $p=.005$; $\eta^2=.369$]. En revanche, aucun effet significatif n'est observé pour le groupe des TSA non-équipés.

Au total, ces résultats indiquent que les TSA non-équipés ne présentent pas d'améliorations significatives au cours du temps. En revanche, les deux autres groupes équipés présentent des améliorations significatives dont la taille de l'effet est plus prononcée chez les TSA équipés comparé aux DI équipés.

Discussion

À notre connaissance, aucune étude expérimentale n'a déployé et validé une technologie à la fois d'assistance et de remédiation à l'inclusion scolaire des enfants avec TSA en environnement ordinaire. Nous allons maintenant discuter les résultats précédents, qui présentent notamment des améliorations en termes d'adaptation du comportement en vie scolaire, de réponse sociale et du fonctionnement sociocognitif des enfants avec TSA qui étaient équipés des applications *Collège+*.

Collège+ : une intervention efficace pour les enfants avec TSA en environnement scolaire ordinaire.

Les résultats de l'étude en environnement scolaire ordinaire suggèrent que les bénéfices obtenus en termes d'adaptation des comportements des enfants avec TSA sont liés à l'utilisation des applications *Collège+* au sein même de cet environnement. En effet, au terme des trois mois d'intervention, seuls les enfants avec TSA équipés de *Collège+* ont amélioré de manière significative leurs comportements comparés au groupe des TSA non-équipés sur le plan de la socialisation, des habiletés scolaires ainsi que des loisirs mesurés par l'échelle EQCA-VS. Ce résultat est en accord avec les résultats d'une étude préliminaire qui présente des améliorations dans la conduite de routines de classe et de routines communicationnelles en classe ordinaire auprès de 10 enfants avec TSA [15]. Aussi, l'observation de bénéfices élargis (socialisation, habiletés scolaires et loisirs, 3 dimensions sur les 5 à l'étude) indique qu'une intervention globale alliant des aides compensatoires in situ et des entraînements ciblant la cognition sociale et le fonctionnement exécutif réduit efficacement la situation de handicap scolaire des élèves TSA. Pour autant, il faut noter que les difficultés liées à la communication et à l'autonomie n'ont pas été significativement modifiées par l'intervention *Collège+*. Plusieurs explications pourraient être avancées pour rendre compte de cette absence d'effet. D'abord, la durée courte de l'intervention (*i.e.* 3 mois) pourrait ne pas être suffisante pour obtenir des effets sur ces deux dimensions. Puis, le répertoire d'assistance et de remédiation porté par *Collège+* ne couvre pas tous les besoins en communication et autonomie à la vie scolaire. Par exemple, pour les applications de remédiation, des scripts sociaux [47] ou encore des scripts de résolution de situation problème [57] ciblant le milieu scolaire pourraient permettre d'entraîner plus en largeur les aptitudes de communication et d'autonomie.

Par ailleurs, les bénéfices de l'utilisation de *Collège+* ne sont pas rapportés pour les enfants avec DI. Ce résultat suggère une efficacité de *Collège+* spécifique aux enfants avec TSA sur le plan de l'assistance des comportements en environnement scolaire ordinaire. Il complète les résultats mitigés obtenus par Fage *et al.* sur la pertinence des prompts d'activités pour soutenir des enfants avec DI en classe ordinaire, notamment sur le plan des routines communicationnelles [16].

Sur le plan de la réponse sociale, deux résultats ont été obtenus dans notre étude (échelle SRS). Premièrement, sur le plan de la Motivation à la participation sociale, les deux groupes d'enfants avec TSA (*i.e.* équipés et non-équipés) ont amélioré de façon significative leurs comportements à la fin des trois mois d'inclusion en classe ordinaire. Ce résultat va dans le sens de la littérature, qui met l'accent sur les bénéfices de l'inclusion en environnement ordinaire en termes de participation sociale des enfants avec TSA [30]. En revanche, de tels bénéfices ne sont pas observés dans notre groupe d'enfants avec DI. Deuxièmement, sur le plan des Stéréotypies comportementales, seuls les enfants avec TSA qui étaient équipés des applications *Collège+* ont présenté une réduction significative de ces comportements à la fin de notre intervention. Ce résultat pourrait être liée à l'utilisation de l'application de régulation émotionnelle qui offre l'ubiquité des corégulations parentales aux élèves TSA, en sachant que ces dernières sont reconnues comme particulièrement efficaces pour contenir les états anxieux des enfants TSA [25]. Cette réduction des stéréotypies peut être également rapproché de l'idée selon laquelle le contenu structuré et prédictible des applications numériques réduit la teneur anxiogène des milieux ordinaire pour les enfants TSA [27]. Par contre, nous n'obtenons pas de diminution significative sur les dimensions Communication, Cognition et Conscience. Les mêmes raisons évoquées plus haut pourraient en être l'explication : durée de l'intervention et spectre d'action des applications compensatoires et remédiationnelles. Notons aussi, que l'absence d'amélioration sur les différentes dimensions de la réponse sociale pour les élèves avec DI va dans le sens de la littérature, compte tenu du fait que de tels comportements, généralement associés aux TSA, sont beaucoup plus rares chez les enfants avec DI [6].

Concernant le fonctionnement sociocognitif, notre étude révèle également des bénéfices pour les participants équipés des applications *Collège+*. En effet, à la fin de l'intervention, les groupes avec TSA et avec DI ont vu leurs performances améliorées de façon significative sur les indices de ToM incluant la mémoire des visages, l'identification des émotions faciales, le lexique émotionnel et la conscience émotionnelle de soi et autrui. Les enfants avec TSA n'ayant pas suivi l'entraînement *Collège+* ont quant à eux vu leurs performances inchangées statistiquement. Plus précisément, l'effet de l'entraînement aux processus de ToM était plus puissant pour les enfants avec TSA ($\eta^2=.704$) que pour les enfants avec DI ($\eta^2=.369$).

Une approche systémique pour des bénéfices globaux

Les bénéfices des approches systémiques pour la prise en charge des enfants avec TSA a été mise en avant à travers de nombreuses études [49]. Notre intervention a démontré que de telles approches peuvent également être adaptées aux environnements de vie quotidienne (*e.g.* l'environnement scolaire) grâce aux possibilités offertes par les supports technologiques. Comme proposé dans les interventions telles que Lovaas ou TEACCH,

Collège+ a impliqué une collaboration étroite entre les familles et les équipes pédagogiques afin de proposer des contenus personnalisés à chaque enfant [39, 50].

De plus, notre étude expérimentale a eu un résultat global positif sur les établissements scolaires participants sur le plan de l'inclusion. Notre intervention a permis à certains enfants, identifiés auparavant comme « non-adaptés à une inclusion en classe ordinaire » par les équipes pédagogiques, de bénéficier de cette inclusion avec parfois une adaptation de leurs comportements et un gain d'autonomie spectaculaire au sein de la classe. Cette situation a résulté en l'augmentation de leur temps d'inclusion et la participation à d'autres cours en classe ordinaire pour certains participants.

Limites et perspectives

Concernant la durée d'expérimentation, trois mois d'inclusion à raison de 1h/semaine pour valider une intervention basée sur une technologie représente un temps très court. Aussi les bénéfices enregistrés, tant sur le plan des comportements que du fonctionnement cognitif, suggèrent que la solution *Collège+* est pertinente pour favoriser l'inclusion des enfants avec TSA. Un suivi longitudinal, à 6 mois et à 9 mois par exemple, permettrait de consolider ces résultats et d'évaluer les effets pérennes des assistances en classe (*i.e.* maintien de l'adaptation des comportements dans le temps) ainsi que des améliorations sur le fonctionnement sociocognitif des enfants équipés (sur les processus de ToM).

Pour explorer plus avant les pistes ouvertes par notre approche, une direction intéressante serait d'ajouter des contenus par la création de nouvelles routines, pour couvrir autant de tâches que possibles dans l'environnement scolaire. Aussi, un enrichissement des contenus des applications de réhabilitation pourrait permettre d'accroître les bénéfices en termes de fonctionnement sociocognitif.

Conclusion

Cette étude présente une intervention basée sur un ensemble d'applications numériques, *Collège+*, pour favoriser l'inclusion des enfants avec TSA en environnement scolaire ordinaire. Ces applications de nature compensatoire et remédiationnelle pour la cognition sociale ont été utilisées durant 3 mois par 33 enfants (14 enfants avec TSA et 19 enfants avec DI) de classes spécialisées pendant leur primo-inclusion en classe ordinaire au collège. 15 enfants avec TSA, non-équipés des applications, participaient également à l'étude en tant que groupe témoin ; le groupe d'enfants avec DI a permis de vérifier dans quelle mesure les bénéfices observés étaient spécifiques à la population cible (les TSA) ou communs avec une autre population (les DI).

Les enfants avec TSA équipés des applications ont présenté des améliorations sur trois domaines des comportements socio-adaptatifs (la socialisation, les habiletés scolaires et les loisirs), deux domaines de la réponse sociale (la motivation et les stéréotypes) et sur un ensemble de quatre tests neuropsychologiques évaluant les processus de ToM. Les enfants avec DI équipés des applications ont également vu leurs performances augmentées sur ces tests à la fin des trois mois d'intervention.

Grâce à une approche globale, basée à la fois sur une assistance *in situ* et un entraînement des processus sociocognitifs qui sous-tendent la cognition sociale, l'intervention de trois mois basée sur les applications *Collège+* a permis aux participants avec TSA d'être plus inclus dans les classes ordinaires pour leur permettre une participation sociale. L'ensemble de ces résultats est prometteur et supporte l'intérêt d'intégrer les outils numériques dans les interventions thérapeutiques et compensatoires ciblant la cognition sociale auprès d'enfants avec TSA.

Bibliographie

1. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-IV-TR®. 1000 Wilson Boulevard, Suite 1825, Arlington: American Psychiatric Pub; 2000.
2. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-V. 1000 Wilson Boulevard, Suite 1825, Arlington: American Psychiatric Pub; 2013.
3. Baron-Cohen S, Leslie AM, Frith U. Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*. 1985;21(1):37–46.
4. Baron-Cohen S. Theory of mind and autism: A review. *International review of research in mental retardation: Autism*. 2001;23:169–84.
5. Ben-Avie M, Newton D, Reichow B. Using Handheld Applications to Improve the Transitions of Students with Autism Spectrum Disorders. In IGI Global; 2014. p. 105–24.
6. Benson BA, Fuchs C. Anger-arousing situations and coping responses of aggressive adults with intellectual disability. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*. 1999;24(3):207–14.
7. Bernard-Opitz V, Sriram N, Sapuan S. Enhancing vocal imitations in children with autism using the IBM speech viewer. *Autism*. 1999;3(2):131–47.
8. Carr D, Felce J. Brief report: Increase in production of spoken words in some children with autism after PECS teaching to phase III. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2007;37(4):780–7.
9. Charman T, Baron-Cohen S, Swettenham J, Baird G, Cox A, Drew A. Testing joint attention, imitation, and play as infancy precursors to language and theory of mind. *Cognitive development*. 2000;15(4):481–98.

10. Charman T. Editorial Preface. *Journal of autism and developmental disorders*. 2004;34(4):365–6.
11. Chien M-E, Jheng C-M, Lin N-M, Tang H-H, Tael P, Tseng W-S, et al. iCAN: A tablet-based pedagogical system for improving communication skills of children with autism. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2015;73:79–90.
12. Constantino JN, Davis SA, Todd RD, Schindler MK, Gross MM, Brophy SL, et al. Validation of a brief quantitative measure of autistic traits: comparison of the social responsiveness scale with the autism diagnostic interview-revised. *Journal of autism and developmental disorders*. 2003;33(4):427–33.
13. Eckman P. Universal and cultural differences in facial expression of emotion. In: *Nebraska symposium on motivation*. University of Nebraska Press Lincoln; 1972. p. 207–84.
14. Escobedo L, Nguyen DH, Boyd L, Hirano S, Rangel A, Garcia-Rosas D, et al. MOSOCO: a mobile assistive tool to support children with autism practicing social skills in real-life situations. In: *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM; 2012. p. 2589–98.
15. Fage C, Pommereau L, Consel C, Balland É, Sauzéon H. Tablet-based activity schedule for children with autism in mainstream environment. In: *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*. ACM; 2014. p. 145–52.
16. Fage C, Pommereau L, Consel C, Balland É, Sauzéon H. Tablet-based activity schedule in mainstream environment for children with autism and children with ID. *Transactions on Accessible Computing*. 2015;
17. Fuentes J, Bakare M, Munir K, Aguayo P, Gaddour N, Öner Ö, et al. Troubles du Spectre Autistique. In: *Manuel de la IACAPAP pour la Santé Mentale de l'Enfant et de l'Adolescent*. International Association for Child and Adolescent Psychiatry and Allied Professions; 2012.
18. Gentry T, Wallace J, Kvarfordt C, Lynch KB. Personal digital assistants as cognitive aids for high school students with autism: results of a community-based trial. *Journal of Vocational Rehabilitation*. 2010;32(2):101–7.
19. Gepner B, Deruelle C, Grynfeldt S. Motion and emotion: A novel approach to the study of face processing by young autistic children. *Journal of autism and developmental disorders*. 2001;31(1):37–45.
20. Golan O, Baron-Cohen S. Systemizing empathy: Teaching adults with Asperger syndrome or high-functioning autism to recognize complex emotions using interactive multimedia. *Development and psychopathology*. 2006;18(02):591–617.
21. Goldsmith TR, LeBlanc LA. Use of technology in interventions for children with autism. *Journal of Early and Intensive Behavior Intervention*. 2004;1(2):166.

22. Greenberg MT, Kusche CA, Cook ET, Quamma JP. Promoting emotional competence in school-aged children: The effects of the PATHS curriculum. *Development and psychopathology*. 1995;7(01):117–36.
23. Grégoire J. L'évaluation clinique de l'intelligence de l'enfant: Théorie et pratique du WISC-III. Editions Mardaga; 2000.
24. Grynspan O, Weiss PLT, Perez-Diaz F, Gal E. Innovative technology-based interventions for autism spectrum disorders: a meta-analysis. *Autism*. 2014;18(4):346–61.
25. Gulsrud AC, Jahromi LB, Kasari C. The co-regulation of emotions between mothers and their children with autism. *Journal of autism and developmental disorders*. 2010;40(2):227–37.
26. Haute Autorité de Santé. Autisme et autres troubles envahissants du développement. État des connaissances hors mécanismes physiopathologiques, psychopathologiques et recherche fondamentale. Mars. 2010;
27. Hayes GR, Hirano S, Marcu G, Monibi M, Nguyen DH, Yeganyan M. Interactive visual supports for children with autism. *Personal and ubiquitous computing*. 2010;14(7):663–80.
28. Hirano SH, Yeganyan MT, Marcu G, Nguyen DH, Boyd LA, Hayes GR. vSked: evaluation of a system to support classroom activities for children with autism. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM; 2010. p. 1633–42.
29. Ho BP, Stephenson J, Carter M. Cognitive-behavioural approach for children with autism spectrum disorder: A literature review. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*. 2015;40(2):213–29.
30. Hunt P, McDonnell J. *Inclusive education*. Guilford Publications New York; 2007. 269–291 p.
31. Jackson R. Inclusion or segregation for children with an intellectual impairment: What does the research say. *Queensland Parents for People with a Disability*. 2008;1–29.
32. Jahromi LB, Bryce CI, Swanson J. The importance of self-regulation for the school and peer engagement of children with high-functioning autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2013;7(2):235–46.
33. Kampe KK, Frith CD, Frith U. “Hey John”: signals conveying communicative intention toward the self activate brain regions associated with “mentalizing,” regardless of modality. *The Journal of neuroscience*. 2003;23(12):5258–63.
34. Karkhaneh M, Clark B, Ospina MB, Seida JC, Smith V, Hartling L. Social Stories™ to improve social skills in children with autism spectrum disorder: a systematic review. *Autism*. 2010;1362361310373057.
35. Korkman M. NEPSY-An adaptation of Luria's investigation for young children. *The Clinical Neuropsychologist*. 1988;2(4):375–92.

36. Leaf JB, Leaf R, McEachin J, Taubman M, Ala'i-Rosales S, Ross RK, et al. Applied Behavior Analysis is a Science and, Therefore, Progressive. *Journal of autism and developmental disorders*. 2015;1–12.
37. Liss M, Harel B, Fein D, Allen D, Dunn M, Feinstein C, et al. Predictors and correlates of adaptive functioning in children with developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders*. 2001;31(2):219–30.
38. Lord C, Rutter M, Le Couteur A. Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders*. 1994;24(5):659–85.
39. Lovaas OI. Behavioral treatment and normal educational and intellectual functioning in young autistic children. *Journal of consulting and clinical psychology*. 1987;55(1):3.
40. McClannahan LE, Krantz PJ. *Activity Schedules For Children With Autism: Teaching Independent Behavior*. Woodbine House; 1999.
41. McCurdy EE, Cole CL. Use of a Peer Support Intervention for Promoting Academic Engagement of Students with Autism in General Education Settings. *Journal of autism and developmental disorders*. 2013;44(4):1–11.
42. Mechling LC. 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*. 2007;42(3):252–69.
43. Ministère de l'Éducation Nationale. *Scolariser les élèves autistes*. Futuroscope, FRA: Direction générale de l'enseignement scolaire; 2009.
44. Ministère de l'Éducation Nationale. *Troisième Plan Autisme*. Ministère de l'Éducation Nationale; 2012.
45. Ministère de l'Éducation Nationale. *Tablettes tactiles : retours d'expérimentations et potentialités pédagogiques* [Internet]. 2015 [cited 2015 Jun 18]. Available from: <http://eduscol.education.fr/cid71927/tablettes-tactiles-retours-d-experimentations-et-potentialites-pedagogiques.html#haut>
46. Morin D, Maurice P. Élaboration de la version scolaire de l'Échelle Québécoise de Comportements Adaptatifs (ÉQCA-VS). *Revue francophone de la déficience intellectuelle*. 2001;
47. Nikopoulos CK, Keenan M. Using video modeling to teach complex social sequences to children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2007;37(4):678–93.

48. Organisation Mondiale de la Santé. Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. Paris: CTNERHI. 2002;
49. Ospina MB, Krebs Seida J, Clark B, Karkhaneh M, Hartling L, Tjosvold L, et al. Behavioural and developmental interventions for autism spectrum disorder: a clinical systematic review. *PloS one*. 2008;3(11):e3755.
50. Panerai S, Ferrante L, Zingale M. Benefits of the Treatment and Education of Autistic and Communication Handicapped Children (TEACCH) programme as compared with a non-specific approach. *Journal of intellectual disability research*. 2002;46(4):318–27.
51. Ploog BO, Scharf A, Nelson D, Brooks PJ. Use of computer-assisted technologies (CAT) to enhance social, communicative, and language development in children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*. 2013;43(2):301–22.
52. Prado C. Le coût économique et social de l'autisme. *Droit, Déontologie & Soins*. 2013;13(1):46–50.
53. Ramdoss S, Lang R, Mulloy A, Franco J, O'Reilly M, Didden R, et al. Use of computer-based interventions to teach communication skills to children with autism spectrum disorders: A systematic review. *Journal of Behavioral Education*. 2011;20(1):55–76.
54. Reichow B. Overview of meta-analyses on early intensive behavioral intervention for young children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*. 2012;42(4):512–20.
55. Rogé B. *Autisme, comprendre et agir-3ème édition-Santé, éducation, insertion: Santé, éducation, insertion*. Dunod; 2015.
56. Sansosti FJ, Powell-Smith KA. Using computer-presented social stories and video models to increase the social communication skills of children with high-functioning autism spectrum disorders. *Journal of Positive Behavior Interventions*. 2008;10(3):162–78.
57. Seltzer MM, Abbeduto L, Krauss MW, Greenberg J, Swe A. Comparison groups in autism family research: Down syndrome, fragile X syndrome, and schizophrenia. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2004;34(1):41–8.
58. Silver M, Oakes P. Evaluation of a new computer intervention to teach people with autism or Asperger syndrome to recognize and predict emotions in others. *Autism*. 2001;5(3):299–316.
59. Stephenson J, Limbrick L. A review of the use of touch-screen mobile devices by people with developmental disabilities. *Journal of autism and developmental disorders*. 2013;1–15.

60. Swettenham J. Can children with autism be taught to understand false belief using computers? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 1996;37(2):157–65.
61. Tardif C, Lainé F, Rodriguez M, Gepner B. Slowing down presentation of facial movements and vocal sounds enhances facial expression recognition and induces facial–vocal imitation in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2007;37(8):1469–84.
62. Veirman E, Brouwers SA, Fontaine JR. The assessment of emotional awareness in children: Validation of the Levels of Emotional Awareness Scale for Children. *European Journal of Psychological Assessment*. 2011;27(4):265.
63. Wechsler D. Wechsler intelligence scale for children–Fourth Edition (WISC-IV). San Antonio, TX: The Psychological Corporation. 2003;
64. Yeargin-Allsopp M, Boyle C, Brown K, Trevathan E. Neurodevelopmental disabilities in infancy and childhood. In: Capute A, Accardo P, editors. Paul H. Brooks; 2008.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement le Ministère de l'Éducation Nationale ainsi que la Fondation Orange pour avoir financé ce projet et permis cette expérimentation. De plus, nous remercions chaleureusement l'ensemble des participants, leurs familles et les équipes pédagogiques des établissements scolaires pour leur participation active et leur énergie communicative.



Figure 1. Écran d'accueil du package Collège+

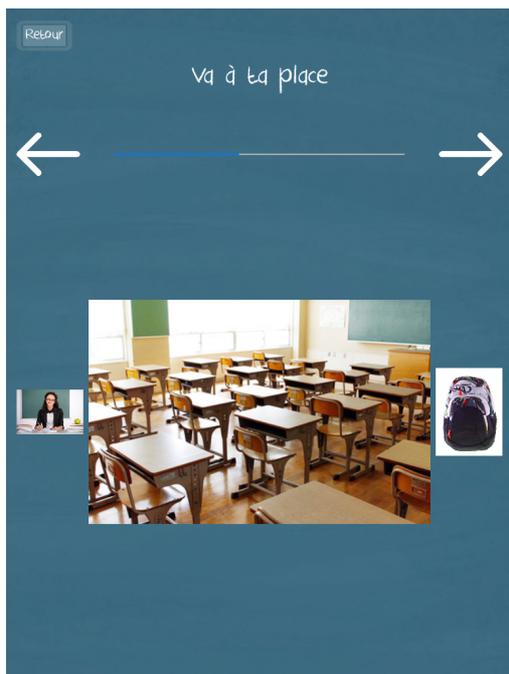


Figure 2. Exemple d'interface de prompteur d'activité

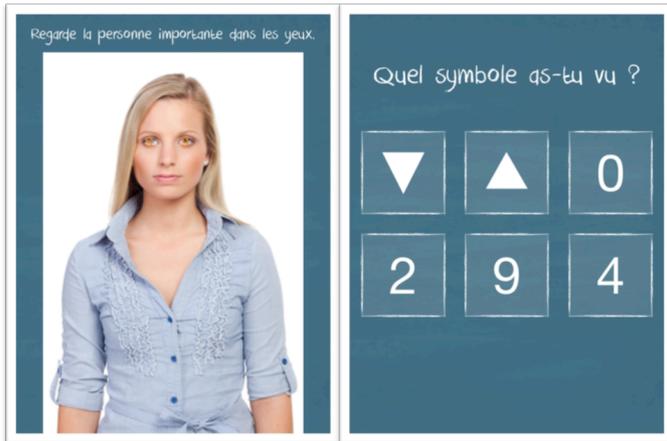


Figure 3. Application de remédiation du focus attentionnel

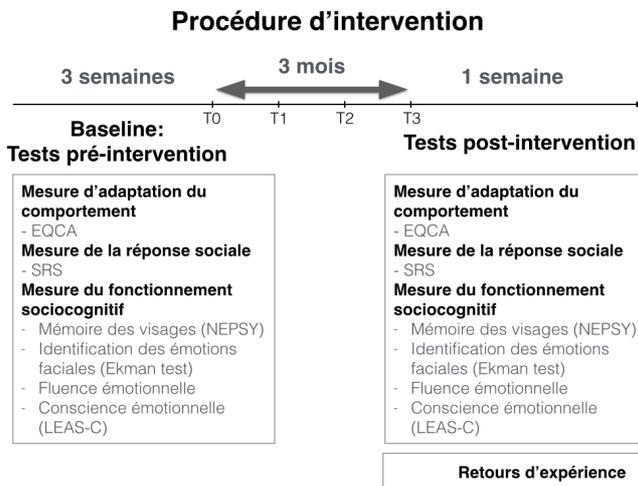


Figure 4. Procédure de l'expérimentation

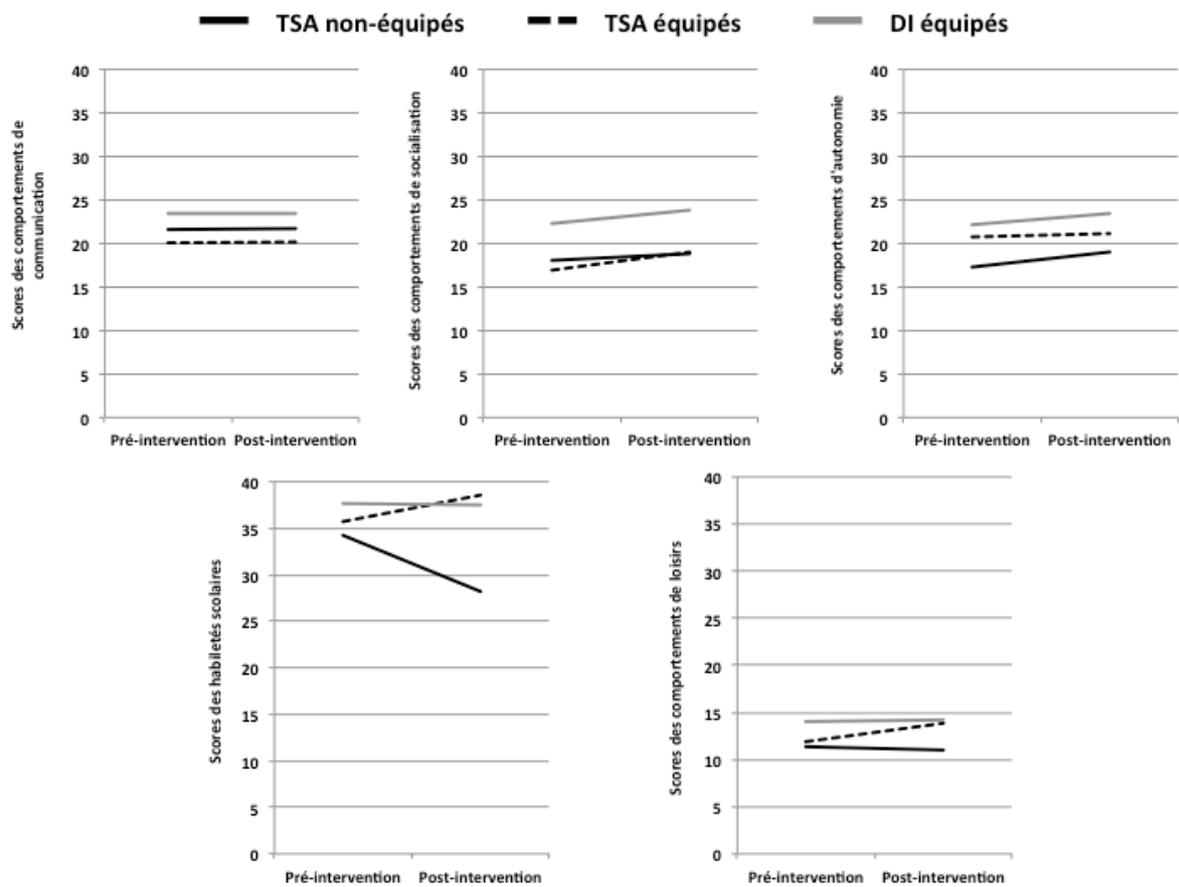


Figure 5. Scores obtenus à chaque dimension de l'échelle EQCA-VS pour chaque groupe (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention *Collège+*.

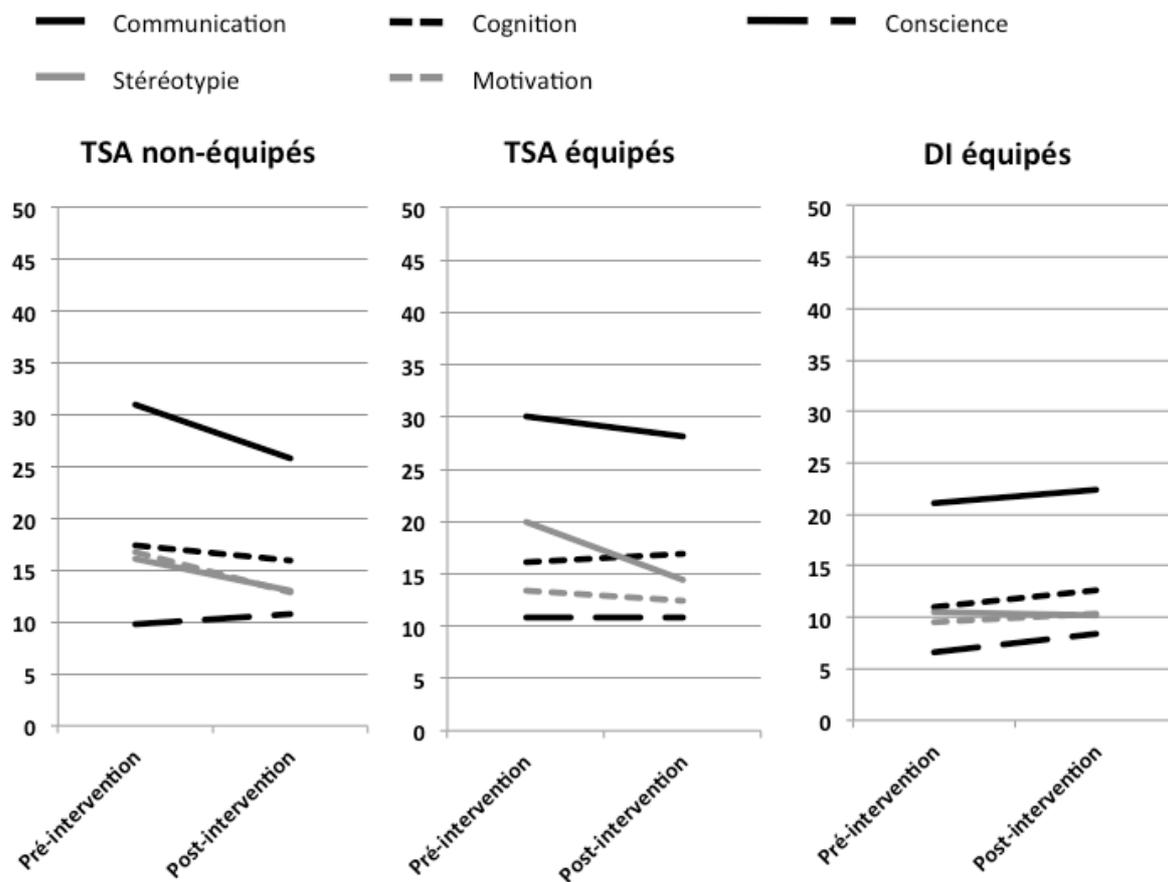


Figure 6. Scores obtenus à chaque dimension de l'échelle SRS pour groupe de participants (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention *Collège+*.

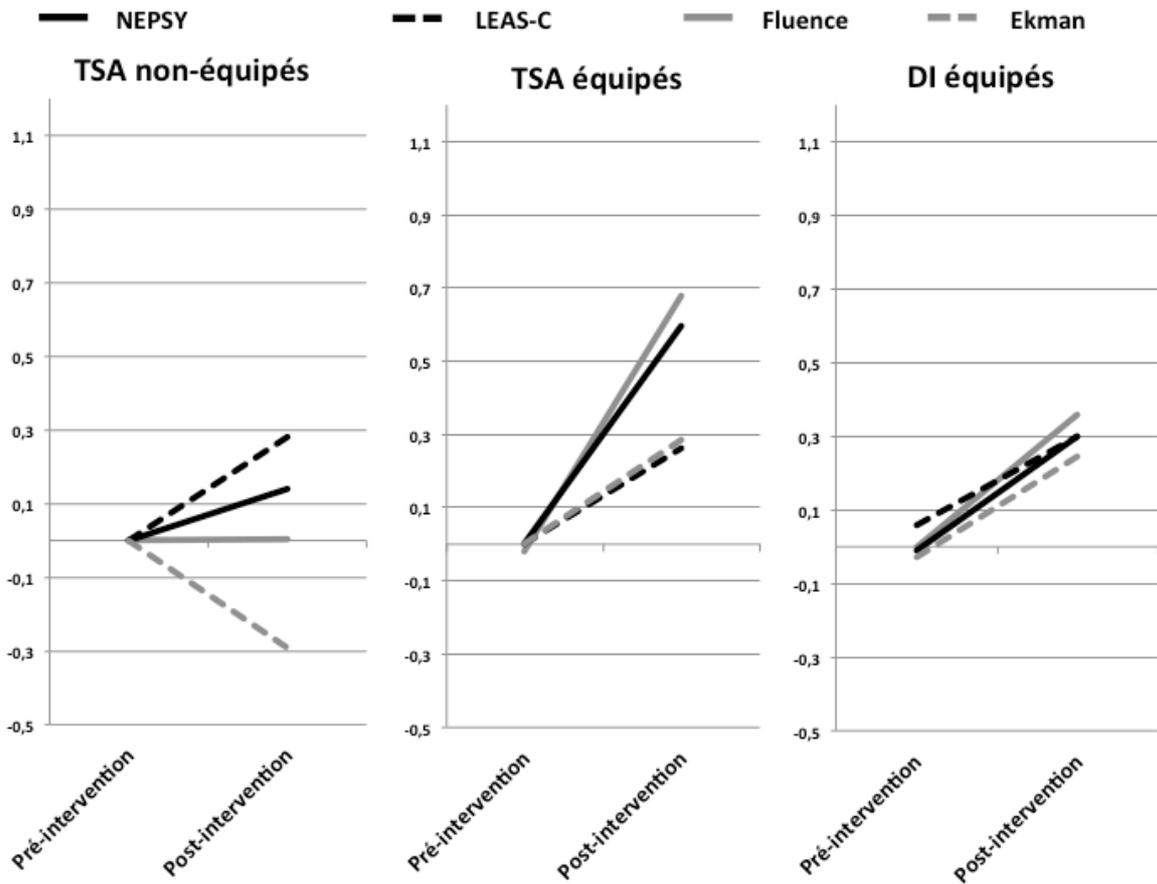


Figure 7. Scores obtenus à chaque test sociocognitif pour chaque groupe de participants (TSA équipés vs. TSA non-équipés vs. DI équipés) en pré- et post-intervention *Collège+*.

	TSA équipés	DI équipés	TSA non-équipés	p
Age (ET)	14.26 (.26)	14.23 (.29)	14.16 (.43)	.977
QI (ET)	69.07 (8.19)	60.53 (4.50)	71.13 (8.51)	.495

Tableau I. Caractéristiques des participants

Habilitété mesurée	Sous-domaine	Temps	Groupe TSA non-équipés	Groupe TSA équipés	Groupe DI équipés	
Adaptation Scolaire	Communication	Pré-intervention	M=21.60 σ =9.44	M=20.07 σ =10.86	M=23.84 σ =9.08	
		Post-intervention	M=21.80 σ =7.47	M=20.14 σ =10.73	M=23.84 σ =9.08	
	Socialisation	Pré-intervention	M=18.00 σ =8.85	M=16.93 σ =10.22	M=23.21 σ =9.47	
		Post-intervention	M=18.73 σ =7.53	M=19.00 σ =11.24	M=24.68 σ =9.72	
	Autonomie	Pré-intervention	M=17.20 σ =7.78	M=20.71 σ =7.49	M=22.84 σ =8.61	
		Post-intervention	M=19.00 σ =5.96	M=21.07 σ =9.60	M=24.05 σ =7.90	
	Habilités Scolaires	Pré-intervention	M=34.20 σ =14.40	M=35.71 σ =8.82	M=38.05 σ =11.16	
		Post-intervention	M=28.20 σ =12.98	M=38.64 σ =10.32	M=37.89 σ =10.79	
	Loisirs	Pré-intervention	M=11.40 σ =6.19	M=11.86 σ =5.45	M=14.47 σ =6.70	
		Post-intervention	M=11.00 σ =3.82	M=13.79 σ =6.75	M=14.68 σ =6.66	
	Réponse Sociale	Communication	Pré-intervention	M=30.93 σ =13.18	M=30.00 σ =12.84	M=20.05 σ =10.05
			Post-intervention	M=25.73 σ =8.79	M=28.14 σ =12.38	M=21.42 σ =11.15
Cognition		Pré-intervention	M=17.47 σ =8.15	M=16.07 σ =8.65	M=10.00 σ =7.67	
		Post-intervention	M=15.93 σ =5.80	M=16.93 σ =9.19	M=11.74 σ =6.95	
Conscience		Pré-intervention	M=9.80 σ =5.00	M=10.86 σ =5.63	M=5.84 σ =4.18	
		Post-intervention	M=10.80 σ =2.81	M=10.79 σ =5.29	M=7.68 σ =4.18	
Motivation		Pré-intervention	M=16.73 σ =6.47	M=13.43 σ =4.82	M=8.89 σ =5.35	
		Post-intervention	M=12.87 σ =4.24	M=12.43 σ =5.14	M=9.74 σ =5.59	
Stéréotypie		Pré-intervention	M=16.13 σ =6.83	M=19.93 σ =14.04	M=9.53 σ =7.78	
		Post-intervention	M=13.00 σ =7.58	M=14.43 σ =10.11	M=9.16 σ =6.97	
Fonctionnement Sociocognitif		Fluence émotionnelle	Pré-intervention	M=.00 σ =1.00	M=-.01 σ =1.03	M=.01 σ =1.02
			Post-intervention	M=.00 σ =.89	M=.68 σ =1.03	M=.38 σ =.82
		Conscience émotionnelle	Pré-intervention	M=.00 σ =1.00	M=.00 σ =.96	M=-.05 σ =1.00
			Post-intervention	M=.28 σ =.68	M=.26 σ =1.25	M=.28 σ =.86
		Mémoire des visages	Pré-intervention	M=.00 σ =1.00	M=.00 σ =.96	M=-.00 σ =.97
			Post-intervention	M=.14 σ =.87	M=.60 σ =.90	M=.36 σ =.98

Identification des émotions faciales	Pré-intervention	M=.00 σ=1.00	M=.00 σ=.96	M=-.05 σ=1.00
	Post-intervention	M=-.29 σ=.90	M=.28 σ=.82	M=.25 σ=1.03

Tableau II. Récapitulatif des moyennes et écart-types des trois habiletés mesurées.

Habilité Mesurée	MANOVA globales						t de Student si interaction Temps x Mesure x Groupe
	Effet Temps	Effet Mesure	Interaction Temps x Groupe	Interaction Mesure x Groupe	Interaction Temps x Mesure	Interaction Temps x Mesure x Groupe	
Adaptation Scolaire	F(1,45)=.83 p=.369 η²=.018	F(4,180)=152.78 p<.001 η²=.772	F(2,45)=1.70 p=.194 η²=.070	F(8,180)=1.94 p=.056 η²=.079	F(4,180)=3.20 p=.014 η²=.066	F(8,180)=4.34 p<.001 η²=.162	Voir Tab IV
Réponse Sociale	F(1,45)=2.80 p=.101 η²=.059	F(4,180)=104 p<.001 η²=.698	F(2,45)=3.63 p=.034 η²=.139	F(4,180)=1.34 p=.228 η²=.056	F(4,180)=6.26 p<.001 η²=.122	F(8,180)=1.81 p=.078 η²=.074	-
Fonctionnement sociocognitif	F(1,45)=19.06 p<.001 η²=.298	F(3,135)=.68 p=.567 η²=.015	F(2,45)=3.78 p=.030 η²=.144	F(6,135)=.30 p=.935 η²=.013	F(3,135)=1.43 p=.237 η²=.031	F(6,135)=.93 p=.478 η²=.040	-

Tableau III. Récapitulatif des effets des MANOVA globales pour les trois habiletés mesurées.

Sous-domaine EQCA	Groupe TSA non-équipés	Groupe ASD équipés	Groupe ID équipés
Communication	t(14)=-.146 p=.886	t(13)=-1.00 p=.336	t(18)= p=
Socialisation	t(14)=-.416 p=.684	t(13)=-2.354 p=.035	t(18)=-1.527 p=.144
Autonomie	t(14)=-1.304 p=.213	t(13)=-.324 p=.751	t(18)=-1.985 p=.063
Habilités scolaires	t(14)=2.064 p=.058	t(13)=-3.114 p=.008	t(18)=-.232 p=.819
Loisirs	t(14)=.282 p=.782	t(13)=-2.176 p=.049	t(18)=-.809 p=.429

Tableau IV. Récapitulatif des effets de t de Student pour les sous-domaines de la mesure d'adaptation scolaire (EQCA-VS).

Habilité Mesurée	Groupe	MANOVA partielles			t de Student si interaction Temps x Mesure x Groupe
		Effet Temps	Effet Mesure	Interaction Temps x Mesure	
Réponse Sociale (SRS)	TSA non-équipés	F(1,14)=3.20 p=.095 η²=.186	F(4,56)=44.10 p<.001 η²=.759	F(4,56)=3.56 p=.012 η²=.203	Voir Tab VI
	TSA équipés	F(1,13)=2.11 p=.170 η²=.139	F(4,52)=28.06 p<.001 η²=.683	F(4,52)=2.82 p=.034 η²=.178	Voir Tab VI
	DI équipés	F(1,18)=3.30 p=.086 η²=.155	F(4,72)=34.78 p<.001 η²=.659	F(4,72)=1.68 p=.165 η²=.085	-
Fonctionnement sociocognitif (Tests neuro-psychologiques)	TSA non-équipés	F(1,14)=.06 p=.808 η²=.004	F(3,42)=.83 p=.486 η²=.056	F(3,42)=1.77 p=.168 η²=.112	-
	TSA équipés	F(1,13)=30.89 p<.001 η²=.704	F(3,39)=.54 p=.655 η²=.040	F(3,39)=1.35 p=.272 η²=.094	-
	DI équipés	F(1,18)=10.52 p=.005 η²=.369	F(3,54)=.10 p=.959 η²=.006	F(3,54)=.04 p=.989 η²=.002	-

Tableau V. Récapitulatifs des MANOVA partielles pour les deux mesures d'habiletés de réponse sociale et fonctionnement sociocognitif.

Sous-domaine SRS	Groupe TSA non-équipés	Groupe ASD équipés
Communication	t(14)=1.809 p=.092	t(13)=.809 p=.433
Cognition	t(14)=1.06 p=.307	t(13)=-5.545 p=.595
Conscience	t(14)=-.885 p=.391	t(13)=-.072 p=.944
Motivation	t(14)=2.988 p=.010	t(13)=2.188 p=.047
Stéréotypie	t(14)=1.752 p=.102	t(13)=2.463 p=.029

Tableau VI. Récapitulatifs des effets des t de Student pour les sous-domaines de la mesure de réponse sociale (SRS).